

ABSTRACT TESI: I cambiamenti climatici cui stiamo assistendo, con le connesse massicce emissioni di *gas* serra a livello globale in larga parte antropici, rafforzano sempre più la consapevolezza di intervenire rapidamente e tempestivamente al fine di contenere nuove emissioni di carbonio in atmosfera, mitigandone gli effetti. La tesi si propone di indagare le strategie, le azioni e i materiali innovativi nel campo dell'edilizia in grado di assorbire, ridurre e stoccare carbonio dall'atmosfera.

Tale quadro comporta due principali assi di intervento: il primo, *green*, attraverso l'individuazione, il censimento e la catalogazione, mediante schede tematiche, di oltre 100 specie arboree e arbustive presenti nell'*hinterland* romano con riferimento in particolare alla loro capacità di assorbimento e stoccaggio di carbonio; il secondo asse, *grey*, attraverso una dettagliata indagine volta ad analizzare le principali soluzioni adottate a livello mondiale in grado di assorbire carbonio, stoccarlo nel sottosuolo e riutilizzarlo per nuovi output nel settore dell'edilizia.

La realizzazione di schede tematiche dei principali materiali innovativi naturali, riciclabili, riutilizzabili, e in alcuni casi con capacità attive di assorbire carbonio dall'atmosfera, ha permesso di definire nuovi scenari di intervento volti alla riduzione delle emissioni di carbonio nella riqualificazione degli aggregati urbani e periurbani. La tesi ha come interlocutori progettisti, architetti e pianificatori e si propone di costituire una base conoscitiva e di supporto decisionale attraverso un quadro di *best practice* e di azioni applicabili nel campo dell'edilizia.

ABSTRACT THESIS: The climate change we are witnessing, with the related massive emissions of greenhouse gases at global level, largely anthropogenic, increasingly reinforce the awareness to intervene quickly and timely in order to contain new carbon emissions into the atmosphere, mitigating the effects. This thesis aims to investigate the strategies, actions and innovative materials in the field of construction able to absorb, reduce and store carbon from the atmosphere.

This framework involves two main axes of intervention: the first, green, through the identification, census and cataloging, by means of thematic sheets, of over 100 species of trees and shrubs in the Roman hinterland with particular reference to their ability to absorb and store carbon; the second axis, grey, through a detailed investigation aimed at analyzing the main solutions adopted worldwide that can absorb carbon, store it in the subsoil and reuse it for new outputs in the building sector.

The realization of thematic sheets of the main innovative natural materials, recyclable, reusable, and in some cases with active capacity to absorb carbon from the atmosphere, has allowed to define new scenarios of intervention aimed at reducing carbon emissions in the redevelopment of urban and peri-urban aggregates. The thesis has as interlocutors designers, architects and planners and aims to provide a knowledge base and decision support through a framework of best practices and actions applicable in the field of construction.

Architettura e distretti urbani
"Carbon Neutral"

DOTTORANDO
Marco Giampaolletti

Dottorato di Ricerca
Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura

Sapienza Università di Roma | SAPIENZA UNIVERSITY OF ROME | ciclo cycle XXXIV | nov. 2018 - gen. 2022
Scuola di Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura | DOCTORAL SCHOOL IN CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE
Dipartimento di 'Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura' | 'PLANNING, DESIGN, TECHNOLOGY OF ARCHITECTURE' DEPARTMENT



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dottorato di Ricerca PIANIFICAZIONE, DESIGN, TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA
PHD PLANNING, DESIGN, TECHNOLOGY OF ARCHITECTURE

Coordinatore | Director
Prof. Arch. Fabrizio Tucci

Curriculum PROGETTAZIONE TECNOLOGICA AMBIENTALE
Curriculum ENVIRONMENTAL TECHNOLOGICAL DESIGN

Coordinatore Curriculum | Curriculum Chair
Prof. Arch. Luciano Cupelloni

Architettura e distretti urbani "Carbon neutral"

Tecnologie, materiali innovativi, soluzioni "green" e grey" per la sottrazione, conversione e stoccaggio di CO₂ verso gli obiettivi di mitigazione climatica e di decarbonizzazione del 2030-2050

Dottorando | PhD Candidate Marco Giampaolletti
Supervisore | Supervisor Prof. Arch. Fabrizio Tucci
Co-Supervisori | Co-Supervisor Prof. Arch. Maria Beatrice Andreucci
Prof. Arch. Valeria Cecafozzo
Prof. Arch. Domenico D'Olimpio
Dott. Duilio Iamónico

Ciclo | Cycle XXXIV
Novembre 2018 - Gennaio 2022



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

DOTTORATO DI RICERCA

Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura

COORDINATORE

Prof. Arch. Fabrizio Tucci

CURRICULUM

Progettazione Tecnologica Ambientale

COORDINATORE CURRICULUM

Prof. Arch. Luciano Cupelloni

Architettura e distretti urbani “Carbon neutral”

Tecnologie, materiali innovativi, soluzioni “green” e grey” per la sottrazione, conversione e stoccaggio di CO₂ verso gli obiettivi di mitigazione climatica e di decarbonizzazione del 2030-2050

DOTTORANDO

Marco Giampaolotti

SUPERVISORE

Prof. Arch. Fabrizio Tucci

CO-SUPERVISORI

Prof. Arch. Maria Beatrice Andreucci

Prof. Arch. Valeria Cecafozzo

Prof. Arch. Domenico D'Olimpio

Dott. Duilio Iamónico

CICLO XXXIV

Novembre 2018 - Gennaio 2022

Ringraziamenti

Al concludersi di questa intensa esperienza, desidero rivolgere la mia gratitudine a tutte le persone che con i loro consigli, vicinanza e supporto hanno contribuito all'accrescimento delle mie competenze professionali nonché come persona.

In primis desidero ringraziare il mio Supervisor, prof. Fabrizio Tucci, per la sua ferma guida e presenza costante in ogni fase di questo percorso, per avermi indirizzato e formato attraverso importanti ricerche nazionali ed internazionali.

Ringrazio il prof. Luciano Cupelloni, in qualità di Coordinatore del Curriculum di Progettazione Tecnologica Ambientale, per avermi formato attraverso i suoi corsi accademici culminati nella Tesi di Laurea Magistrale e nel Master E.T.D. e per i confronti sempre proficui durante il percorso di Dottorato.

Ringrazio i miei co-supervisor, la prof.ssa Maria Beatrice Andreucci per gli insegnamenti universitari e formativi relativi ai temi della Progettazione Ambientale sempre volti alla mia crescita accademica, la prof.ssa Valeria Cecafofso per la fase di sperimentazione e per avermi sempre messo a disposizione il suo supporto e la sua vicinanza in ogni fase del percorso, condiviso da ricerche nazionali ed internazionali, il prof. Domenico D'Olimpio, per gli ampi consigli e confronti relativi alle soluzioni grey, il dott. Duilio Iamonicò per le sue competenze, i confronti e consigli relativi agli aspetti green.

Ringrazio le ricercatrici Paola e Gaia e i miei colleghi di assistenza alla didattica nonché compagni di viaggio Daniele, Lavinia, Fabrizio, Giada, Federica, Maria Michaela, Violetta per le ricerche svolte insieme e gli innumerevoli spunti e confronti di riflessione. Ringrazio tutti gli studenti e i laureandi che ho avuto modo di conoscere in questi anni dai quali ho appreso sempre nuovi impulsi e continui approfondimenti di ricerca.

Ringrazio infinitamente il mio babbo, a te mamma per il sostegno incondizionato nonostante i tuoi gravi problemi di salute, a mio fratello per il supporto morale e tecnico in ogni fase di questo viaggio.

A Tania, per la sua tenacia, vicinanza e supporto mai venuto meno incitandomi a dare sempre il meglio di me.

“Esistono forme di inquinamento che colpiscono quotidianamente le persone. L'esposizione agli inquinanti atmosferici produce un ampio spettro di effetti sulla salute, in particolare dei più poveri [...].

Il clima è un bene comune, di tutti e per tutti. Esso, a livello globale, è un sistema complesso in relazione con molte condizioni essenziali per la vita umana [...].

L'umanità è chiamata a prendere coscienza della necessità di cambiamenti di stili di vita, di produzione e di consumo, per combattere questo riscaldamento o, almeno, le cause umane che lo producono o lo accentuano”.

Papa Francesco, Lettera Enciclica Laudato SI', 2018

INDICE

INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO DELLA RICERCA

- p. 17 0.1 Considerazioni di Inquadramento
- p. 17 0.1.1 Contenuto della ricerca
- 0.1.2 Individuazione del tema di tesi - “La decarbonizzazione, sfide e obiettivi nel campo edilizio”
- p. 20
- p. 22 0.1.3 Domande e obiettivi della ricerca

PARTE I STRATEGIE, AZIONI E CASI STUDIO SPERIMENTALI VOLTI ALLA DECARBONIZZAZIONE DEGLI URBAN DISTRICT

CAPITOLO 1 Scenario di riferimento: la risposta globale al cambiamento climatico

- p. 27 1.1 La decarbonizzazione del patrimonio edilizio e dello spazio urbano e periurbano
- p. 43 1.2 Obiettivi di Sostenibilità Ambientale
- p. 47 1.3 La *Conference of Parties* (COP)
- p. 51 1.4 Regolamenti e normative adottate nell’Unione Europea
- p. 51 1.4.1 Il sistema di scambio delle quote *ETS UE*
- p. 53 1.4.2 Il programma “*Fit for 55*” e la Revisione del sistema di scambio di quote
- p. 56 1.5 Quadro dei Finanziamenti Europei
- p. 56 1.5.1 *Il Next Generation EU*
- p. 59 1.5.1.1 Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) in Italia
- p. 63 1.5.2 *European Green Deal*
- p. 66 1.5.3 *Horizon Europe*
- p. 68 1.5.3.1 I finanziamenti per le Tecnologie Abilitanti (*KETs*)
- p. 69 1.5.3.2 I finanziamenti per le soluzioni green. Il programma *URBAN GreenUP*
- p. 70 1.5.4 *NER 300*
- p. 71 1.5.5 *Innovation Fund*
- p. 72 1.5.6 *Carbon border adjustment mechanism (CBAM)*
- p. 73 1.6 Programmi Nazionali Europei per l’Energia e il Clima a confronto
- p. 73 1.6.1 Il Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima (PNIEC)
- p. 78 1.6.2 *Klimaschutzprogramm 2030*
- p. 79 1.6.3 *Stratégie française pour l’ènergie et le climat*
- p. 81 1.7 *Bibliografia*
- p. 83 1.8 *Sitografia*

CAPITOLO 2 Analisi di strategie e azioni volte alla decarbonizzazione degli *urban district*: elenco dei casi di studio e metodologia di analisi

- p. 87 2.1 Introduzione alla scelta dei casi studio
- p. 98 2.1.1 *Aspern Seestadt*, Vienna
- p. 103 2.1.2 *Clichy Batignolles*, Parigi
- p. 107 2.1.3 *Le Marine Eco District*, Colombes
- p. 111 2.1.4 *Urban Green Up*, Valladolid
- p. 115 2.1.5 *Urban Green Up*, Smirne
- p. 119 2.1.6 *Urban Green Up*, Valladolid
- p. 123 2.1.7 *ProjectZero*, Sønderborg
- p. 127 2.1.8 *Dietenbach Eco District*
- p. 131 2.1.9 *District La Fleuriaye*, Nantes
- p. 135 2.1.10 *Eikenøtt ecodistrict*, Gland

p. 139	2.1.11 <i>Atlantech Lagord</i> , La Rochelle
p. 142	2.1.12 <i>Brainport Smart District</i>
p. 147	2.1.13 <i>Greencity</i> , Zurich
p. 151	2.1.14 <i>Virtual City of Zero Energy House</i> , Tomiya City
p. 155	2.1.15 <i>Ginko district</i> , Bordeaux
p. 159	2.1.16 <i>Grand Parilly district</i> , Vénissieux
p. 163	2.1.17 <i>Montévrain Eco-District</i>
p. 167	2.1.18 <i>City-Zen</i> , Amsterdam
p. 171	2.1.19 <i>Helsingborg</i> , <i>Oceanhamnen</i> , Malmö
p. 175	2.1.20 <i>Hammarby Sjöstad</i> , Stoccolma
p. 179	2.2 <i>Bibliografia</i>
p. 180	2.3 <i>Sitografia</i>

PARTE II LE SOLUZIONI *GREEN* E *GREY* IN AMBITO URBANO PER LA SOTTRAZIONE, CONVERSIONE E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPITOLO 3 *Topic di indagine. Le soluzioni green in ottica multi-scalare urbana per la sottrazione e conversione di CO₂*

p. 185	3.1 Soluzioni di sottrazione-conversione di CO ₂ di tipo “ <i>green</i> ” - il settore forestale
p. 206	3.2 Il concetto di forestazione e riforestazione <i>urban greening</i>
p. 207	3.2.1 Modelli di crescita forestale. Il <i>software 3PG</i>
p. 209	3.2.2 Benefici ambientali ed economici. Il <i>software i-Tree</i>
p. 214	3.2.3 <i>Partnership</i> tra pubblico e privato. Il <i>programma GAIA</i> e l'applicazione nel comune di Bologna
p. 220	3.3 La capacità di decarbonizzazione del patrimonio arboreo e arbustivo - i processi <i>carbon farming</i>
p. 220	3.3.1 La silvicoltura
p. 225	3.3.2 Sequestro del carbonio nel suolo - i <i>carbon sink</i>
p. 230	3.3.3 <i>Il Biochar</i>
p. 239	3.4 <i>Bibliografia</i>
p. 244	3.5 <i>Sitografia</i>

CAPITOLO 4 *Topic di indagine. Introduzione alla metodologia green*

p. 247	4.1 Materiali e metodi del <i>Topic di indagine</i>
p. 266	4.2 Risultati e conclusioni
p. 268	4.3 <i>Bibliografia</i>
p. 268	4.4 <i>Sitografia</i>

CAPITOLO 5 *Topic di indagine. Le soluzioni grey in ottica multi-scalare urbana per la sottrazione, conversione e stoccaggio di CO₂*

p. 271	5.1 I Materiali Avanzati ed Innovativi in grado di assorbire e ridurre CO ₂
p. 275	5.1.1 Materiali strutturali avanzati
p. 275	5.1.1.1 I cementi
p. 275	5.1.1.2 I cementi fibro rinforzanti (FRC)
p. 276	5.1.1.3 Fibre di acciaio
p. 277	5.1.1.4 Fibre di vetro e Fibre di natura organica
p. 277	5.1.1.5 Fibre di vetro in materiale polimerico

p. 278	5.1.1.6 Cementi <i>smart</i>
p. 278	5.1.1.7 Cementi in fibra di carbonio (FRP)
p. 279	5.1.1.8 Cemento al grafene
p. 281	5.1.1.9 Cemento biodinamico
p. 282	5.1.1.10 Cementi traslucidi e trasparenti
p. 283	5.1.1.11 Cementi fotoluminescenti
p. 285	5.1.1.12 Cementi drenanti
p. 285	5.1.1.13 Cementi <i>self-healing</i>
p. 287	5.1.2 Materiali a proprietà superficiale - Fotocatalitici
p. 287	5.1.2.1 Il principio della fotocatalisi
p. 290	5.1.2.2 Il biossido di titanio
p. 292	5.1.2.3 Il cemento fotocatalitico
p. 293	5.1.2.4 Le pavimentazioni esterne fotocatalitiche
p. 294	5.1.3 Nano rivestimenti per involucri fotocatalitici
p. 294	5.1.3.1 I vetri fotocatalitici
p. 295	5.1.3.2 Le pitture fotocatalitiche
p. 296	5.2 I Materiali Naturali con proprietà <i>embodied carbon</i>
p. 296	5.2.1 Materiali strutturali in legno
p. 297	5.2.2 Gli isolanti naturali
p. 298	5.2.3 Biomattone
p. 299	5.2.4 <i>Natural beton</i>
	5.3 Il recupero dei materiali da costruzione e demolizione per la riduzione di nuove emissioni di CO ₂ in Europa
p. 301	
p. 306	5.3.1 L'edilizia circolare dei materiali edili
p. 308	5.3.2 Produzione di inerti dal trattamento dei RSU
p. 309	5.3.2.1 <i>The Carbon Buster</i>
p. 310	5.4 La cattura della CO ₂
p. 310	5.4.1 Perché catturare la CO ₂
p. 312	5.4.2 Le tipologie di cattura della CO ₂
p. 315	5.4.3 Le tecnologie di cattura della CO ₂ post-combustione
p. 315	5.4.3.1 Adsorbimento liquido
p. 317	5.4.3.2 Adsorbimento solido
p. 318	5.4.3.3 Membrane
p. 319	5.4.3.4 Separazione criogenica
p. 319	5.4.4 Compressione e trasporto della CO ₂
p. 320	5.4.4.1 Trasporto attraverso impianti <i>pipeline</i>
p. 321	5.4.4.2 Trasporto attraverso il settore navale
	5.5 Il processo di stoccaggio di CO ₂ . Il CSS " <i>Carbon Capture and Storage</i> " e il CCU " <i>Carbon Capture and Utilization</i> "
p. 322	
p. 329	5.5.1 Stato globale degli impianti CSS attivi
p. 339	5.5.2 Considerazioni ed analisi sugli impianti CSS operativi e programmati
p. 343	5.5.3 <i>Policy</i> e regolamentazioni
p. 348	5.5.4 Capacità di stoccaggio globali
p. 351	5.5.5 Esempi di impianti CSS attivi e in sviluppo avanzato
p. 353	5.5.6 Panoramica di dettaglio per aree geografiche
p. 353	5.5.6.1 America

p. 355	5.5.6.2 Europa
p. 357	5.5.6.3 Asia & Australia
p. 361	5.5.6.4 Arabia Sudita & UAE
p. 363	5.5.7 Sviluppo in corso e output energetici
p. 363	5.5.7.1 Industria del cemento e dell'acciaio
p. 366	5.5.7.2 Industria del ferro e dell'acciaio
p. 366	5.5.7.3 Idrogeno
p. 369	5.5.7.4 Gas naturale
p. 370	5.5.7.5 Energia elettrica
p. 371	5.5.7.6 La carbonatazione minerale artificiale
p. 372	5.5.7.7 Prospettive future
p. 381	5.5.8 Tecnologie CSS ad energia negativa
p. 381	5.5.8.1 Bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio (BECCS)
p. 382	5.5.8.2 <i>Direct Air Capture</i> (DAC)
p. 384	5.5.8.3 I costi delle tecnologie BECCS e DAC
p. 385	5.5.8.4 Requisiti per le tecnologie BECCS e DAC
p. 386	5.5.9 Progetti scientifico-sperimentali
p. 388	5.5.9.1 Il progetto di ricerca <i>ZECOMIX</i> di ENEA
p. 387	5.5.9.2 Le ricerche scientifiche ENI
p. 388	5.6 <i>Bibliografia</i>
p. 399	5.7 <i>Sitografia</i>

CAPITOLO 6 *Topic di indagine. Introduzione alla metodologia grey*

p. 403	6.1 Materiali e metodi del <i>Topic</i> di indagine
p. 412	6.2 <i>Bibliografia</i>
p. 412	6.3 <i>Sitografia</i>

PARTE III SPERIMENTAZIONE DELLE SOLUZIONI *GREEN* E *GREY* IN AMBITO URBANO

CAPITOLO 7 *Sperimentazione di soluzioni green e grey nel caso studio della riqualificazione del PdZ di S. Basilio (RM)*

p. 417	7.1 Materiali e metodi
p. 420	7.2 Proposta e applicazione di rigenerazione urbana del PdZ di San Basilio secondo soluzioni <i>green</i> e <i>grey</i>
p. 425	7.3 Analisi Stato di fatto e quantificazione delle emissioni di carbonio derivate alla scala di distretto urbano
p. 432	7.4 Misurazione in loco della concentrazione di CO ₂
p. 435	7.5 Scenari di riqualificazione con metodologie <i>green</i> per la sottrazione e conversione di CO ₂
	7.6 Scenari di riqualificazione con metodologie <i>grey</i> per la sottrazione, conversione e
p. 439	stoccaggio di CO ₂
p. 447	7.7 Discussione dei risultati
p. 451	7.8 <i>Bibliografia</i>
p. 452	7.9 <i>Sitografia</i>
p. 455	CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

APPENDICE 1 *Le Schede Botaniche*

p. 463	<i>Abies alba</i>
--------	-------------------

- p. 464 *Acacia dealbata*
p. 465 *Acca sellowiana*
p. 466 *Acer campestre*
p. 467 *Acer negundo*
p. 468 *Acer platanoides*
p. 469 *Acer pseudoplatanus*
p. 470 *Acer rubrum*
p. 471 *Acer saccharinum*
p. 472 *Aesculus hippocastanum*
p. 473 *Ailanthus altissima*
p. 474 *Albizia julibrissin*
p. 475 *Alnus cordata*
p. 476 *Alnus glutinosa*
p. 477 *Arbutus unedo*
p. 478 *Betula pendula*
p. 479 *Broussonetia papyrifera*
p. 480 *Buxus sempervirens*
p. 481 *Carpinus betulus*
p. 482 *Carpinus orientalis*
p. 483 *Castanea sativa*
p. 484 *Catalpa bignonioides*
p. 485 *Cedrus atlantica*
p. 486 *Celtis australis*
p. 487 *Ceratonia siliqua*
p. 488 *Cercis siliquastrum*
p. 489 *Chamaecyparis lawsoniana*
p. 490 *Chamaerops humilis*
p. 491 *Citrus trifoliata*
p. 492 *Citrus x aurantium*
p. 493 *Citrus x limon*
p. 494 *Cordilyne australis*
p. 495 *Cornus mas*
p. 496 *Corylus avellana*
p. 497 *Crataegus monogyna*
p. 498 *Cupressus sempervirens*
p. 499 *Cycas revoluta*
p. 500 *Diospyros kaki*
p. 501 *Eriobotrya japonica*
p. 502 *Eucalyptus camaldulensis*
p. 503 *Fagus sylvatica*
p. 504 *Ficus carica*
p. 505 *Fraxinus angustifolia*
p. 506 *Fraxinus excelsior*
p. 507 *Fraxinus ornus*
p. 508 *Ginkgo biloba*
p. 509 *Gleditsia triacanthos*

- p. 510 *Grevillea robusta*
p. 511 *Hibiscus rosa-sinensis*
p. 512 *Junglas regia*
p. 513 *Juniperus communis*
p. 514 *Koelreuteria paniculata*
p. 515 *Lagestroemia indaca*
p. 516 *Laurus nobilis*
p. 517 *Ligustrum japonicum*
p. 518 *Ligustrum lucidum*
p. 519 *Liquidambar styraciflua*
p. 520 *Liriodendron tulipifera*
p. 521 *Maclura pomifera*
p. 522 *Magnolia grandiflora*
p. 523 *Malus domestica*
p. 524 *Melia azedarach*
p. 525 *Mespilus germanica*
p. 526 *Mespilus japonica*
p. 527 *Morus alba*
p. 528 *Nerium oleander*
p. 529 *Olea europaea*
p. 530 *Ostrya carpinifolia*
p. 531 *Parrotia persica*
p. 532 *Paulownia tomentosa*
p. 533 *Phillyrea angustifolia*
p. 534 *Phoenix canariensis*
p. 535 *Photinia serratifolia*
p. 536 *Picea abies*
p. 537 *Pinus halepensis*
p. 538 *Pinus nigra*
p. 539 *Pinus pinaster*
p. 540 *Pinus pinea*
p. 541 *Pistacia lentiscus*
p. 542 *Pittosporum tobira*
p. 543 *Platanus orientalis*
p. 544 *Platanus hispanica*
p. 545 *Populus canescens*
p. 546 *Populus nigra*
p. 547 *Populus tremula*
p. 548 *Prunus avium*
p. 549 *Prunus cerasifera*
p. 550 *Prunus cerasus*
p. 551 *Prunus laurocerasus*
p. 552 *Prunus spinosa*
p. 553 *Punica granatum*
p. 554 *Pyrus communis*
p. 555 *Quercus cerris*

- p. 556 *Quercus ilex*
- p. 557 *Quercus pubescens*
- p. 558 *Quercus suber*
- p. 559 *Rhamnus alaternus*
- p. 560 *Robinia pseudoacacia*
- p. 561 *Salix alba*
- p. 562 *Sambucus nigra*
- p. 563 *Schinus molle*
- p. 564 *Sequoia sempervirens*
- p. 565 *Sorbus aria*
- p. 566 *Styphonolobium japonicum*
- p. 567 *Tamarix gallica*
- p. 568 *Taxodium distichum*
- p. 569 *Taxus baccata*
- p. 570 *Thuja occidentalis*
- p. 571 *Tilia cordata*
- p. 572 *Tilia platyphyllos*
- p. 573 *Tilia x europaea*
- p. 574 *Ulmus glabra*
- p. 575 *Ulmus minor*
- p. 576 *Viburnum tinus*
- p. 577 *Washingtonia robusta*
- p. 578 *Yucca gloriosa*
- p. 579 *Ziziphus jujuba*

APPENDICE 2 Le Schede dei Materiali Innovativi

- p. 587 *Pitture Fotocatalitiche - "Airlite"*
- p. 588 *Blocchi con componenti naturali - "Biomattone/Natural Beton"*
- p. 589 *Isolanti con proprietà embodied carbon - "Canapa Lithos1000"*
- p. 590 *Blocchi con assorbimento attivo di carbonio - "Carbfix2"*
- p. 591 *Blocchi con assorbimento attivo di carbonio - "Carbon Buster"*
- p. 592 *Blocchi con componenti naturali - "Carrara Block"*
- p. 593 *Blocchi con componenti naturali - "Coccio Blocco"*
- p. 594 *Isolanti con proprietà embodied carbon - "Corkpan"*
- p. 595 *Guaine con componenti naturali - "Derbicolor Olivina"*
- p. 596 *Guaine con componenti naturali - "Derbipure Technology"*
- p. 597 *Isolanti con proprietà negative carbon - "Edilana Mat"*
- p. 598 *Calcestruzzo ad assorbimento di inquinanti - "I.Idro Drain"*
- p. 599 *Calcestruzzo semi-trasparente - "I.Light"*
- p. 600 *Blocchi con componenti naturali - "Isotex"*
- p. 601 *Isolanti con proprietà embodied carbon - "Magripol"*
- p. 602 *Isolanti con proprietà embodied carbon - "Nelsolcell"*
- p. 603 *Isolanti con proprietà natural carbon sink - "Pavtherm"*
- p. 604 *Conglomerati a base di materie prime naturali - "Revstone"*
- p. 605 *Film con capacità di assorbimento inquinanti - "The Breath"*
- p. 606 *Calcestruzzo fotocatalitico - "Tx Active"*

Introduzione e inquadramento della ricerca

0.1 Considerazioni di inquadramento

0.1.1 Contenuto della ricerca

La seguente ricerca di tesi dottorato, dal titolo "Architettura e distretti urbani *"Carbon neutral"*". Tecnologie, materiali innovativi, soluzioni *'grey'* e *'green'* per la sottrazione, conversione e stoccaggio di CO₂ verso gli obiettivi di mitigazione climatica e di decarbonizzazione del 2030-2050" ha lo scopo di indagare le strategie, le azioni e i materiali innovativi ad oggi disponibili al fine di assorbire, ridurre e stoccare la CO₂ dall'atmosfera, analizzando tali strategie in casi studio presenti in Europa al fine di verificare le migliori azioni da compiere per rispondere ai cambiamenti climatici in atto.

Il tema, riguardante, in *primis*, la Tecnologia dell'Architettura (settore disciplinare ICAR-12), ma anche interscambi disciplinari come la Chimica Industriale (settore disciplinare CHIM-04) e la Chimica dell'Ambiente e dei Beni culturali (settore disciplinare CHIM-12) è stato approfondito tramite ricerche e pubblicazioni svolte durante il percorso di dottorato.

Suddetta è al centro delle principali questioni mondiali, alla luce dei recenti *report* con risultati sempre più allarmanti e catastrofici se non si adoperano politiche adattive e preventive al fine di invertire tale *trend*.

La ricerca di Tesi, rivolta ad architetti, progettisti, pianificatori e a enti afferenti a questo ambito merceologico, vuole costituire un supporto e un dettagliato quadro metodologico per i suddetti al fine di affrontare decisioni riguardanti *best practise* e azioni da attuare nei distretti urbani e periurbani.

In considerazione del campo di indagine scelto, il presente lavoro propone elementi di originalità, declinando alcuni livelli problematici in un modo riconoscibile come nuovo, possibile versante di indagine in quanto a criteri di valutazione critica e di sviluppi futuri della ricerca.

Le sequenze dell'*iter* metodologico, così come i pesi tra le diverse fasi della ricerca, risultano strutturati secondo i quadri logici più consolidati, fissando chiare *milestone* per le strategie *green* e *grey*

illustrate, validando le stesse attraverso una proposta applicativo-sperimentale finale.

La tesi presenta un quadro di azioni suddivise secondo soluzioni di tipo *grey* e *green* atte a far fronte alla riduzione globale delle emissioni di carbonio rispetto gli accordi intrapresi e ratificati nella COP21 di Parigi con azioni specifiche di maggiori impegni politici nella riduzione delle emissioni di carbonio nell'atmosfera nella COP26 di Glasgow. L'originalità della ricerca è nel prevedere l'uso combinato di soluzioni *green* e *grey* in azione sinergica con l'obiettivo di dimezzare le emissioni di carbonio entro il 2030 e pervenire alla neutralità carbonica entro il 2050.

Il lavoro è suddiviso in tre parti, le quali allo stesso tempo sono fortemente connesse tra loro e consequenziali dal punto di vista logico-metodologico, ma possono, nella volontà, anche essere consultate indipendentemente l'una dall'altra.

La prima parte della ricerca, di tipo istruttorio-analitico, e rappresentata dal Capitolo 0 "Introduzione e inquadramento della Ricerca" e dal Capitolo 1 "Scenari di riferimento: la risposta globale al cambiamenti climatico" è volta alla costruzione di un quadro teorico-scientifico e normativo di riferimento nazionale e internazionale enunciando gli obiettivi globali per la decarbonizzazione degli *urban district* descrivendo i principali strumenti finanziari in atto. L'individuazione di strategie bioclimatiche passive, azioni e *best practise* adottate nei 20 casi studio internazionali selezionati, ha permesso la costituzione di schede tematiche volte a descrivere le risposte adattive dalle amministrazioni locali ai cambiamenti climatici con il fine ultimo di riduzione delle emissioni di carbonio in atmosfera.

La seconda parte della ricerca, descritta nei Capitoli 3, 4, 5 e 6, illustra le soluzioni *green* e *grey* ad oggi disponibili in ambito urbano e periurbano per la sottrazione, conversione e stoccaggio di carbonio. Una fase metodologica, denominata, per l'appunto, Materiali e Metodi, ha descritto, in termini analitici-valutativi, per gli aspetti *green*, la costituzione di un dettagliato *database* il quale ha permesso di analizzare e catalogare oltre 100 specie arboree e arbustive presenti nell'*hinterland* romano secondo la provenienza, la tipologia, l'*habitat*, l'uso e le capacità di mitigazione ambientale, in particolare le capacità di assorbire e stoccare carbonio annualmente, concorrendo fattivamente alla riduzione delle emissioni in ambito urbano e periurbano per ogni singola specie arborea e arbustiva censita (presenti nella sezione Appendice 1), introducendo indici

matematici volti a quantificare scientificamente le capacità di mitigazione ambientale e di assorbimento di carbonio. Per le soluzioni di tipo *grey*, prendendo in considerazione la sistematizzazione della ricerca nei più recenti *report* delle tecnologie e dei processi a livello industriale, disponibili ad oggi per lo stoccaggio della CO₂, come, ad esempio, il *Carbon Capture and Storage – CCS*, il *Carbon Capture and Utilization – CCU*, il *Direct Air Capture – DAC*, nonché programmi sperimentali, e di materiali innovativi con capacità attive di assorbire nella propria struttura molecolare la CO₂, ha permesso la definizione di un quadro completo quantificando le tipologie di tecnologie, le capacità di assorbimento e i futuri *output* di sviluppo, nonché della realizzazione di specifiche schede tematiche per i materiali naturali, innovativi, riciclabili o riutilizzabili in nuovi processi edilizi (presenti nella sezione Appendice 2), con capacità passive o attive nei confronti delle emissioni di carbonio, costituendo un valido strumento conoscitivo per gli attori del settore al fine di adottare scelte più consapevoli e sostenibili.

La terza parte della ricerca descrive, nel Capitolo 7, l'applicazione sperimentale delle soluzioni *green* e *grey* in ambito urbano nel caso studio di riqualificazione del PdZ di S. Basilio, situato nel municipio IV del Comune di Roma Capitale, analizzando lo Stato dei luoghi e proponendo, dopo una fase analitico-valutativa attraverso la quale si è operato il rilevamento in loco delle concentrazioni di CO₂ in atmosfera volte alla realizzazione di mappe di concentrazione georeferenziate (*Heatmaps*), una prima proposta di rigenerazione definita “*standard*” e una seconda definita “*innovativa*”, confrontando e discutendo criticamente i risultati ottenuti con lo Stato di fatto.

L'applicazione di soluzioni *green* e *grey* ai fini della decarbonizzazione nell'area oggetto di ricerca combina quindi da un lato la capacità attiva di assorbire la CO₂ dall'atmosfera durante la fase della sua utilizzazione e dall'altro la capacità passiva di stoccaggio della CO₂ nell'ambiente costruito inteso come *Carbon Sink*. Tali scelte unite al miglioramento dei parametri ambientali e del benessere microclimatico attraverso il rafforzamento del patrimonio arboreo e arbustivo, incrementa la capacità di mitigazione ambientale garantendo ai residenti spazi più vivibili, funzionali e salubri.

0.1.2 Individuazione del tema di tesi - "La decarbonizzazione, sfide e obiettivi nel campo edilizio"

Il primo volume (*WGI*) del Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC presenta un riscontro oggettivo, tangibile e diretto relativamente ai cambiamenti climatici in atto nel pianeta; il rapporto mostra che le emissioni di *gas serra* provenienti dalle attività umane sono responsabili di circa 1,1° C di riscaldamento rispetto al periodo 1850-1900. Mediamente, nei prossimi 20 anni, secondo il rapporto, la temperatura globale dovrebbe raggiungere o superare 1,5 °C di riscaldamento. I recenti cambiamenti climatici, che sono emersi a partire dagli ultimi decenni del secolo scorso, sono diffusi, rapidi, si stanno intensificando e sono senza precedenti se guardiamo alla storia di migliaia di anni.

Le evidenze scientifiche raccolte da questo rapporto rafforzano la consapevolezza che le attività umane sono alla base delle cause dei cambiamenti climatici. L'influenza umana sta rendendo gli eventi climatici estremi, quali ondate di calore, forti piogge e siccità, più frequenti e gravi.

I cambiamenti climatici stanno già interessando tutte le regioni del pianeta, anche se con impatti e modalità diverse. La probabilità di eventi estremi (ondate di calore, precipitazioni intense e fenomeni siccitosi) aumenta con il riscaldamento globale. Il Rapporto chiarisce che questi eventi estremi sono destinati a intensificarsi con l'ulteriore incremento della temperatura del pianeta.

Alcuni dei cambiamenti a cui stiamo assistendo sono irreversibili, tuttavia, altri possono essere rallentati e altri ancora potrebbero essere arrestati o addirittura invertiti limitando il riscaldamento globale. Per contenere l'innalzamento della temperatura media del pianeta entro (1,5 °C rispetto al periodo pre-industriale) è necessario ridurre drasticamente e rapidamente le emissioni di CO₂, metano e altri *gas serra*. Senza riduzioni immediate, rapide e su larga scala, delle emissioni di *gas serra*, limitare il riscaldamento a 1,5 °C rispetto al periodo pre-industriale sarà impossibile.

Da tale rapporto emerge anche che, negli scenari a più alte emissioni, si riduce la proporzione della CO₂ assorbita dalla terra e dall'oceano. Ciò vuol dire che più CO₂ emettiamo in atmosfera, più si limita la capacità di assorbimento naturale, con una contrazione di assorbimento naturale in proporzione al riscaldamento climatico mondiale in atto. Prima della pandemia da *COVID-19*, secondo le stime del *World Green Building Council*¹, gli edifici e il settore dell'edilizia

e delle costruzioni erano responsabili del 39% di tutte le emissioni globali di anidride carbonica. Le emissioni di gestione operativa, come l'energia utilizzata per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione degli edifici pesavano per il 28%, mentre il restante 11% proveniva da emissioni di CO₂ associate a materiali e processi di costruzione. Oggi tale settore, spinto da eventi climatici estremi sempre più frequenti e violenti e da una opinione pubblica più attenta e responsabile, investe e adotta soluzioni e strategie *low carbon* al fine di ridurre i consumi di energia e abbattere le emissioni di CO₂. Di fronte quindi ai cambiamenti climatici, all'aumentare degli impatti da emissioni carboniche, alla crescente crisi energetica europea - accentuata di recente, a causa della crisi geopolitica in atto, dall'incremento dei costi per il reperimento e approvvigionamento di *gas* naturale da cui i paesi membri dipendono per oltre il 42% (EEA, 2021) - risultano necessarie politiche e azioni urgenti nel campo della decarbonizzazione, della *circular economy*, dell'efficienza idrica, dell'uso e valorizzazione del suolo e della biodiversità, del benessere e della salubrità dei luoghi, temi cardini e strategici per rendere gli abitanti delle città maggiormente resilienti e responsabili verso gli impatti derivati dal repentino cambiamento economico, sociale e ambientale.

1. World Green Building Council (2021), Annual Report 2021, Fitzrovia, London.

0.1.3 Domande e obiettivi della ricerca

Fino a poche decine di anni fa i modelli matematici erano i soli a prevedere che il clima del Pianeta stava cambiando, nello scetticismo dei principali governi mondiali e di esperti del mondo scientifico. Oggi i fenomeni climatici sono sempre più estremi, frequenti e devastanti. Molte specie della flora anticipano le fioriture spingendosi sempre più in alta quota a causa dell'incremento della temperatura media globale, la fauna modifica le date delle migrazioni anno dopo anno; tutto ciò dimostra come vi siano in atto mutazioni nel clima del nostro pianeta derivate dalla componente antropica. La comunità scientifica è ormai unanime nell'indicare come le attività umane siano responsabili della crisi climatica in atto, in particolare a causa dell'aumento dei *gas serra* immessi nell'atmosfera. La concentrazione di tali *gas* ha raggiunto livelli *record*: la CO₂ è aumentata del 147%, il metano del 259% e il protossido di azoto del 123% rispetto ai livelli preindustriali (IPCC, 2021). La ricerca si propone al fine di rispondere a una questione-chiave: come si ottiene

Bibliografia:

- EEA (European Environment Agency) (2021), 'Urban sustainability in Europe - opportunities for challenging times'.
- IPCC Secretariat (2021), IPCC Sixth Assessment cycle Synthesis Report, Switzerland.

una reale e consistente decarbonizzazione nell'architettura e nello spazio urbano, con target del 50% al 2030 e azzeramento al 2050? Obiettivo della ricerca è fornire quindi un solido quadro di strumenti e metodologie al fine di ridurre, attraverso soluzioni "green" e "grey", al fine di decarbonizzare, con azioni di sottrazione, conversione e stoccaggio di CO₂ i distretti urbani e periurbani.

La ricerca pone come obiettivo, attraverso la fase sperimentale, l'adozione di azioni, strategie e criteri progettuali mirati alla riduzione delle emissioni di carbonio da attività antropiche, nella progettazione tecnologica ambientale dell'architettura, con particolare riferimento a interventi di riqualificazione di aree urbane, distretti urbani e periurbani. La ricerca vuole risultare uno strumento di indirizzo e supporto per facilitare scelte progettuali e tecnologiche, supportato da un corposo piano di finanziamenti europei, al fine di evitare di compiere scelte poco consapevoli ed inefficienti, vanificando la possibilità di ottenere i necessari risultati progettuali in termini di efficacia, efficienza e qualità.

Gli obiettivi e le prospettive della ricerca, basati sulla messa a punto di metodologie di calcolo e verifica secondo la costituzione di solidi e scientificamente affidabili database, improntati sui caratteri del contesto nazionale e in particolare su quelli delle aree, dei distretti e dei quartieri urbani e periurbani, con future opportunità di affinamento secondo l'incremento delle specie arboree e arbustive censite, ampliando progressivamente il *focus* sull'intero territorio nazionale, si prepongono di fornire alla comunità scientifica e agli attori del processo - quali quelli del settore pubblico e privato auspicabilmente interagenti attivamente, come per l'applicazione sperimentale delle soluzioni *green* e *grey* in ambito urbano nel caso studio di riqualificazione del PdZ di S. Basilio - un curato e dettagliato modello di calcolo dell'assorbimento di carbonio realmente conseguibile, volto a favorire, nei processi di riqualificazione di spazi aperti, specie autoctone e soprattutto resilienti.

PARTE I

Strategie, azioni e casi studio
sperimentali volti alla
decarbonizzazione degli
urban district

ABSTRACT (INGLESE)

Today the construction sector is the largest emitter of carbon into the atmosphere derived from high energy consumption, emissions of climate-altering gases and mineral resources. This favors an increase in carbon concentrations in the atmosphere, reaching, year after year, new records, causing biophysical imbalances that generate the current climate change. The goal of decarbonizing the sectors that emit the most climate-changing gases by 2050, presents a series of strategies with the precise objective of completely abandoning fossil energy sources by increasing the inherent technologies in order to favor renewable resources with targeted proposals for each sector and to introduce integrated forms of carbon capture and storage such as Carbon Capture and Storage (CCS) and Carbon Capture and Utilization (CCU). This chapter aims to discuss the current reference scenario and the responses that can be offered today to combat climate change. Specifically, the first part analyzes the latest available reports able to certify the emissions of greenhouse gases for each sector most affected, proposing scenarios of intervention aimed at decarbonization of the same. A second part analyzes the objectives set by the European community and implemented by individual states, in order to contain greenhouse gas emissions, highlighting the results achieved in the major world climate conferences (COP) held. A third part describes the regulations and standards currently in place to limit carbon emissions such as the European Emissions Trading Scheme (ETS) and the current revisions of the program itself in the light of the energy crisis accentuated, inter alia, by the COVID-19 pandemic. A fourth part describes a detailed overview of European green and grey funding, aimed at relaunching the economies of each European country through a complete decarbonisation of the sectors responsible for high carbon emissions into the atmosphere, proposing a comparison between the national programs of Italy (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima - PNIEC), Germany (Klimaschutzprogramm 2030) and France (Stratégie française pour l'énergie et le climat).

CAPITOLO 1 Scenario di riferimento: la risposta globale al cambiamento climatico

ABSTRACT

Il settore edile risulta ad oggi il maggior emettitore di carbonio in atmosfera derivate da elevati consumi energetici, da emissioni di inquinanti atmosferici e di risorse minerarie. Ciò favorisce un incremento delle concentrazioni di carbonio in atmosfera, raggiungendo, anno dopo anno, nuovi *record*, determinando squilibri biofisici che generano gli attuali cambiamenti climatici. L'obiettivo, al 2050, di decarbonizzare i settori maggiormente emettitori di *gas* climalteranti, presenta una serie di strategie con il preciso obiettivo di abbandonare completamente le fonti energetiche fossili incrementando le tecnologie inerenti al fine di favorire le risorse rinnovabili con mirate proposte per ogni singolo settore e di introdurre forme integrate di cattura e stoccaggio di carbonio come, ad esempio, il *Carbon Capture and Storage (CCS)* e il *Carbon Capture and Utilization (CCU)*. Il presente capitolo si prepone di ragionare sullo scenario di riferimento attuale e sulle risposte oggi in grado di offrire per contrastare i cambiamenti climatici. Nello specifico la prima parte analizza gli ultimi *report* disponibili in grado di certificare le emissioni di *gas* climalteranti per ogni settore maggiormente interessato, proponendo scenari di intervento volti alla decarbonizzazione degli stessi. Una seconda parte analizza gli obiettivi posti dalla comunità europea e recepiti dai singoli stati, al fine di contenere le emissioni di *gas* climalteranti, evidenziando i risultati raggiunti nelle principali conferenze mondiali sul clima (*COP*) svolte. Una terza parte descrive i regolamenti e le norme ad oggi presenti in grado di limitare le emissioni di carbonio come il sistema di scambio europeo delle quote di emissione (*ETS*) e le attuali revisioni del programma stesso alla luce della crisi energetica accentuata, tra l'altro, dalla pandemia da *COVID-19*. Una quarta parte descrive un dettagliato quadro dei finanziamenti europei *green* e *grey*, volti con il preciso obiettivo di rilanciare le economie di ogni singolo stato europeo attraverso una completa decarbonizzazione dei settori responsabili di emissioni elevate di carbonio in atmosfera, proponendo un confronto tra i programmi nazionali di Italia (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima – PNIEC), Germania (*Klimaschutzprogramm 2030*) e Francia (*Stratégie française pour l'énergie et le climat*).

1.1 La decarbonizzazione del patrimonio edilizio e dello spazio urbano e periurbano

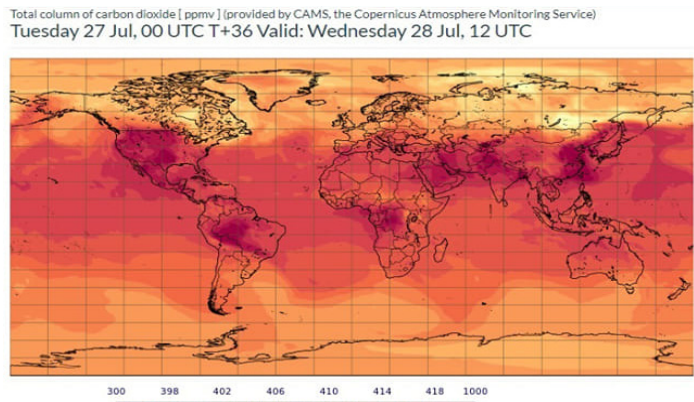
La ricerca di tesi è volta a sistematizzare un quadro di riferimento in merito ad analisi di processo, strumenti e materiali in grado di assorbire e stoccare carbonio dall'atmosfera in ambienti urbani e periurbani con modalità *grey* e *green* perseguendo l'obiettivo di dimezzare le emissioni di carbonio entro il 2030 e pervenire alla neutralità carbonica entro il 2050. Il settore edile è responsabile di circa il 40% dei consumi energetici, del 36% delle emissioni di *gas* climalteranti, di oltre il 50% del consumo di risorse minerarie e del 38% dei rifiuti prodotti nell'Unione Europea (World Green Council, 2021). L'estrazione e la trasformazione di materiali da costruzione contribuiscono, anche in modo significativo, ad impatti ambientali quali l'acidificazione, la tossicità, l'uso del suolo, l'impoverimento dello strato di ozono, etc. Il recente Piano di Azione Europeo definito *Green Deal* sottolinea il ruolo chiave del settore edile nel percorso verso un'economia circolare e il raggiungimento della neutralità climatica nel 2050. Lo strumento della Commissione Europea definito *Renovation Wave* mira a raddoppiare il tasso di *retrofit* energetico, oggi fisso all'1%. Nel dettaglio, tale strategia darà priorità a tre settori:

- decarbonizzazione dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento;
- lotta alla povertà e all'inefficienza energetiche;
- ristrutturazione dell'edilizia pubblica (scuole, ospedali e uffici).

Secondo le stime dei principali enti di ricerca, entro la fine del decennio potrebbero essere ristrutturati oltre 35 milioni di edifici; oltre ai vantaggi ecologici, la riqualificazione energetica creerebbe posti di lavoro locali e stimolerebbe nuovi investimenti in tali settori strategici. Un recente rapporto della IEA (*International Energy Agency*) ha rilevato che la ristrutturazione edilizia offre una tra le più grandi leve occupazionali: 12-18 posti di lavoro locali per ogni milione di investimenti, con un potenziale per oltre 160.000 nuovi posti di lavoro nel settore delle costruzioni presenti nell'Unione Europea entro il 2030. Gli impatti riconducibili al settore edile possono essere classificati in impatti incorporati e impatti connessi alla

fase di gestione. I primi sono riconducibili essenzialmente alle fasi di estrazione e trasformazione delle materie prime (di cui in Europa, nel 2020, il consumo totale di materie prime è pari a 13 miliardi pro capite annuo), alla produzione dei materiali, componenti e tecnologie, alla costruzione, alla manutenzione e allo smaltimento finale dell'organismo edilizio. I secondi, inerenti alla fase operativa, sono relativi al consumo di energia durante la fase d'uso dell'edificio, ad esempio riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, etc. e al consumo di altre risorse, come ad esempio il consumo idrico (IEA, 2020). Gli ultimi dati rilasciati da *Copernicus Climate Change Service* mostrano come a livello globale il 2020 sia stato l'anno più caldo mai registrato, contemporaneamente le concentrazioni di CO₂ continuano ad aumentare con un tasso di 2.3 ppm/annuo nel 2020 raggiungendo, nel mese di Maggio 2021, secondo i sensori di mo-

Figura 1 - Copernicus Atmosphere Monitoring Service - May 2021.
Fonte: <https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>



nitoraggio dei laboratori del *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) a *Mauna Loa* (*Hawaii*), un valore pari a 419,13 ppm, il più alto degli ultimi 60 anni. Per l'Europa si tratta dell'anno più caldo con una media di temperatura di 0.4 °C al di sopra del 2019 e il Sesto rapporto IPCC sui cambiamenti climatici conferma le conseguenze dei cambiamenti climatici; le emissioni di *gas serra* antropiche hanno portato la concentrazione di CO₂ a essere la più alta degli ultimi due milioni di anni, ciò ha portato la temperatura ad aumentare, negli ultimi 50 anni, a un ritmo mai visto almeno negli ultimi 2000 anni, come conseguenza, la fusione dei ghiacci e la dilatazione termica delle acque degli oceani hanno causato un aumento del livello dei mari a una velocità mai avutasi negli ultimi 3000 anni (IPCC, 2021).

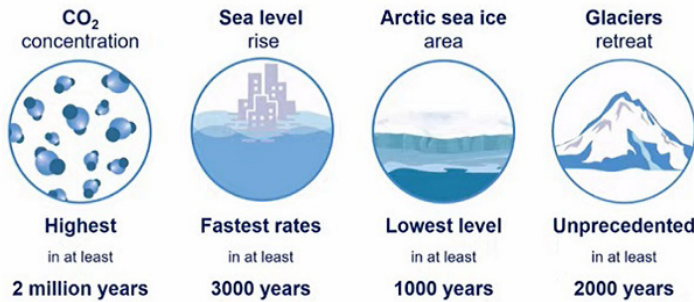


Figura 2 - I principali effetti riscontrati nell'ultimo Report IPCC – Climate Change 2021, The Physical Science Basis.

Fonte: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Pres-Release_en.pdf?fbclid=IwAR1wb3Dfo9phUOSYvdFJR9q10etOnizkCoNEysWb-aun7yMX6ovrCbZY8p8

La componente antropica è la causa principale del ritiro dei ghiacciai dagli anni '90', della diminuzione del ghiaccio marino artico e dell'acidificazione degli oceani. La temperatura media globale ha già raggiunto un aumento di 1.1°C dall'era preindustriale e ciò complica i piani politici mondiali al fine di limitarne l'aumento a 1.5°C, raggiunto e superato a questo ritmo, probabilmente già nel prossimo ventennio. Con tale aumento termico di riscaldamento globale, le ondate di calore diverrebbero più frequenti e intense, le stagioni calde sarebbero molto più lunghe e quelle fredde più brevi, nello scenario peggiore, con un riscaldamento globale di 2°C, il caldo raggiungerebbe livelli difficilmente sopportabili per il corpo umano con effetti devastanti sulla salute e sull'agricoltura, sulle precipitazioni, sugli incendi, sull'acidificazione degli oceani, sul continuo aumento di fenomeni meteorologici estremi. (IPCC, 2021)

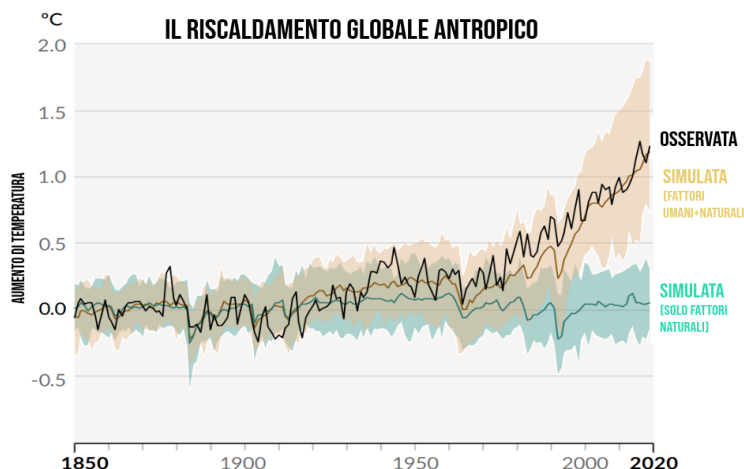


Figura 3 - Evoluzione del riscaldamento globale antropico nello scenario 1 (solo con fattori naturali) e 2 (fattori antropici e naturali), rielaborazione grafica.

Al fine di limitare e combattere tale *trend* che sembra attualmente irreversibile, un importante obiettivo posto dalla Unione Europea è il percorso intrapreso nella approvazione della prima Legge Europea sul Clima ; tutti i paesi dell’UE dovranno raggiungere l’azzeramento delle emissioni nette di *gas* a effetto serra, principalmente attraverso la riduzione delle emissioni, l’investimento nelle tecnologie verdi e la protezione dell’ambiente naturale. Obiettivi prefissati saranno la definizione di un percorso a lungo termine per realizzare l’obiettivo dell’impatto climatico zero entro il 2050 attraverso tutte le politiche, in modo equo dal punto di vista sociale ed efficiente sotto il profilo dei costi, un sistema di monitoraggio dei progressi e, se necessario, intraprendendo ulteriori azioni, offrire prevedibilità agli investitori e agli attori economici che operano nel settore e garantire che la transizione verso la neutralità climatica sia irreversibile. Alla luce delle considerazioni sopra enunciate risulta ormai indispensabile la necessita di investimenti nello studio di materiali e strategie che possano contribuire alla riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera, al fine di mitigare gli effetti climatici estremi già oggi tangibili in ogni parte del mondo. Le molteplici applicazioni e metodologie di cattura dell’anidride carbonica e riutilizzo della stessa per altre forme, la ricerca di specie vegetazionali con alte capacità di mitigazione ambientale che presentano alti parametri di stoccaggio di CO₂ e di materiali per l’edilizia con proprietà disinquinanti studiati ed enunciati nella presente tesi possono rappresentare uno strumento scientifico volto al raggiungimento di tale obiettivo.

L’accordo di Parigi, sottoscritto da oltre 200 paesi e negoziato nella-COP21, pone l’obiettivo di mantenere il riscaldamento globale al di sotto dei 2°C e perseguire ogni sforzo per limitare l’aumento a 1,5°C raggiungendo un equilibrio tra le emissioni antropogeniche e gli assorbimenti da parte dei pozzi di *gas* a effetto serra nella seconda metà di questo secolo. L’accordo prevede che tutti gli stati coinvolti presentino un Contributo Determinato a livello Nazionale (*Nationally Determined Contribution, NDC*) il quale identifichi l’impegno di ciascuno alla riduzione di emissioni, al raggiungimento degli obiettivi di contenimento delle temperature prefissate e a quelli di neutralità carbonica al 2050 (IPCC, 2021). Gli stati membri dell’UE hanno presentato congiuntamente il proprio NDC ponendo l’obiettivo delle riduzioni di emissioni di CO₂ del 40% entro il 2030, rispetto i valori indicativi del 1990. Al fine di raggiungere tali obiettivi dichiarati, sono stati adottati una serie di

provvedimenti rientranti nel “Quadro 2030 per il clima e l’energia”, sintetizzando gli obiettivi chiave posti dell’Unione Europea:

- Riduzione del 40% delle emissioni di *gas serra* (rispetto i valori del 1990);
- Raggiungimento del 32% di rinnovabili entro il 2030;
- Riduzione dei consumi di energia primaria del 32,5%.

L’obiettivo della riduzione del 40% dei *gas serra* è attuato mediante il sistema di scambio di quote di emissione dell’UE, il regolamento sulla condivisione degli sforzi con gli obiettivi di riduzione delle emissioni degli Stati membri, il regolamento sull’uso del suolo e della silvicoltura. In tal modo tutti i settori contribuiranno al conseguimento dell’obiettivo del 40% riducendo le emissioni ed aumentando gli assorbimenti (European Commission, 2014). I Piani Nazionali Integrati per l’Energia e il Clima presentati dagli Stati Membri ai sensi del Regolamento (UE) 2018/1999 sulla *Governance* dell’Unione dell’Energia identificano le politiche e le misure dei singoli Paesi ai fini del raggiungimento degli obiettivi europei; nel gennaio 2020 anche l’Italia ha presentato il proprio PNIEC. Successivamente il quadro programmatico europeo è stato recentemente rafforzato con l’approvazione della proposta della Commissione Europea sulla prima Legge Europea sul clima, trasformando in legge gli obiettivi del recente *Green Deal* Europeo; ciò significa che tutti i paesi dell’UE dovranno azzerare le emissioni nette di *gas serra* entro il 2050 mediante riduzioni delle emissioni, investimento nelle *Green Technologies* e nella protezione dell’ambiente naturale. La decarbonizzazione del settore dell’edilizia e dei suoi derivati annessi richiede una radicale trasformazione del sistema energetico nella modalità di spostamento, produzione, abitare; ciò è caratterizzato da molteplici fattori che rendono difficile un’unica evoluzione collettiva in un orizzonte temporale di medio-lungo termine. Sulle basi delle diverse analisi di scenario presenti per raggiungere, nel nostro paese, la neutralità climatica e carbonica al 2050, cioè un saldo netto pari a zero tra emissioni e assorbimenti di *gas ad effetto serra*, integrati da forme di stoccaggio di CO₂ e successivo riutilizzo, definite nella presente ricerca di tesi, soluzioni *grey*, quali, ad esempio, il *Carbon Capture and Storage (CCS)* e il *Carbon Capture and Utilization (CCU)*. Il quadro nazionale entro il cui si muoverà il sistema economico ed energetico nazionale nei prossimi trent’anni sarà condizionato principalmente da variabili demografiche, pro-

1. Negli ultimi anni si è ridotto anche il numero di componenti medi per famiglia, per cui fino al 2017 sono stati aggiornati i dati secondo la statistica ufficiale. Per la futura evoluzione del numero di famiglie, si presume che la tendenza alla riduzione delle dimensioni delle famiglie osservata continui, raggiungendo una media di 2,2 abitanti per famiglia nel 2050.

2. Le variabili demografiche storiche sono tratte dai dati più recenti ISTAT, mentre l'evoluzione delle variabili demografiche è legato alle proiezioni Eurostat (EUROSTAT, 2021).

3. Per le proiezioni di crescita del PIL si fa riferimento alle ipotesi alla base del Central Scenario POTEnCIA del JRC.

4. Le proiezioni di prezzo delle commodity energetiche sui mercati internazionali dello scenario di riferimento EU 2016 sono il risultato di simulazioni effettuate col modello di equilibrio parziale del sistema energetico globale PROMETHEUS.

Tabella 1 - Evoluzione della popolazione italiana in numero di famiglie al 2050. Rielaborazione su dati JRC - CE.

Tabella 2 - Tasso di crescita medio annuo del PIL in Italia.

Rielaborazione su dati JRC - CE. Tabella 3 - Evoluzione del costo di fonti energetiche fossili con proiezione al 2050.

Rielaborazione su dati EU Reference Scenario 2016.

Tabella 4 - Evoluzione del sistema di scambio di quote di emissioni di carbonio, con proiezione al 2050.

Rielaborazione su dati EU Reference Scenario 2016.

duttive e dei prezzi dei combustibili fossili, tali definiranno il quantitativo di CO₂ emessa nell'atmosfera a cui fare riferimento. Sistemachelapopolazioneitalianapossascendereal2050sottolaquota dei 60 milioni di abitanti, le famiglie¹, a seguito della contrazione dei numeri di componenti per nucleo, registrerebbe un lieve aumento²; questi parametri sono di indirizzo prioritario in quanto regolano la richiesta di domanda di servizio energetico per il settore residenziale.

	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2040	2050
Popolazione	60,8	60,7	60,6	60,5	60,3	60,2	59,8	58,8
N. Famiglie	25,9	25,8	26,0	26,2	26,4	26,5	26,5	26,6

Si stima inoltre una crescita del PIL nazionale³, nel periodo di riferimento di proiezione 2018-2050, con un tasso medio annuo dello 0,7%;

Tasso crescita medio annuo (%)	18-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
PIL	1.05	0.69	0.38	0.29	0.43	0.85	1.20

I prezzi internazionali dei principali combustibili fossili sono stimati al rialzo⁴, così come il sistema di quotazione della CO₂ collegata al sistema EU-ETS, con un aumento al 2050, superiore ai 90€/ton (European Commission, 2016).

International Fuel Prices (10€/boe12)	2000	2005	2010	2015	2016	2020	2025	2030	2050
Oil	35,9	46,5	59,9	43,3	36,9	75,0	85,1	93,8	108,4
Gas	25,1	31,1	37,8	36,7	23,4	48,3	52,2	56,8	65,0
Coal	9,9	13,2	16,0	10,9	11,6	14,3	17,1	20,5	24,1

	2017	2020	2025	2030	2040	2050
ETS (€/t CO ₂)	7	15,5	23,3	34,7	51,7	91,0

Verso uno scenario di decarbonizzazione

A partire dai dati sopracitati sono state identificate due *milestones* di lungo termine, la prima di "riferimento-intermedio", ove politiche energetiche ed ambientali sono state introdotte nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 (PNIEC), la seconda, definita al 2050, con l'obiettivo di chiudere il *gap* emissivo presente nello scenario di riferimento intermedio. Lo scenario al 2050 presenta una serie di strategie con l'intento abbandonare le fonti energetiche fossili e incrementare la disponibilità di alcune opzioni tecnologiche in grado di incrementare le risorse energetiche rinnovabili sul territorio nazionale; in particolare sono state proposte

delle ipotesi di utilizzo di fonti energetiche per diversi settori:

- un utilizzo dei combustibili fossili solo per alcune produzioni industriali (carbone per acciaio e petrolio per il petrolchimico), con il settore siderurgico basato esclusivamente su idrogeno proveniente da FER e da riutilizzo di CO₂ stoccata nel sottosuolo mediante tecnologie CCS/CCU, con l'utilizzo del gas per sostituire i prodotti petroliferi nel settore della produzione del cemento;
- incremento del potenziale di fotovoltaico con riduzione progressiva della quota di gas.

Tale scenario di decarbonizzazione può essere quindi così sintetizzato in tre macro-punti:

- riduzione spinta della domanda di energia connessa in particolare ad un calo dei consumi per la mobilità privata e nel settore civile, incentivando la mobilità pubblica e quella di tipo "dolce";
- un cambio radicale nel *mix* energetico a favore di una introduzione sempre più massiva delle rinnovabili, insieme ad una profonda elettrificazione degli usi finali e impiego di combustibili alternativi (idrogeno);
- incremento degli assorbimenti di CO₂, eventualmente integrato da forme di cattura e stoccaggio di CO₂. (CCS/CUS) (Ministero Sviluppo Economico, 2020).

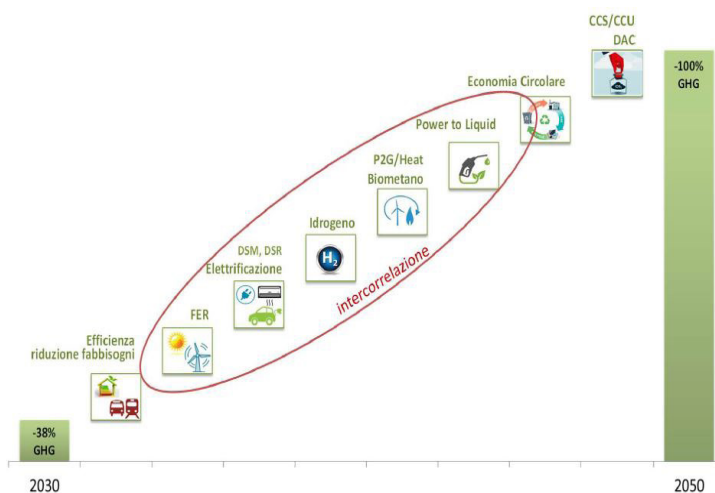


Figura 4 - Intercorrelazione degli output energetici rinnovabili al fine di raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione al 2050.

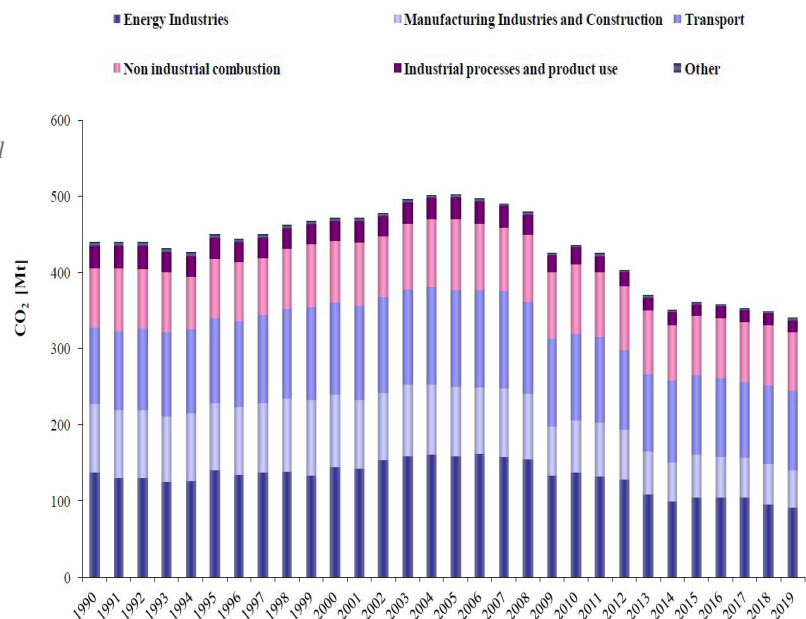
Fonte: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13

National Inventory Report 2021 - Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019

Il Sistema Nazionale per l'Inventario Italiano dei Gas Serra è stato istituito dal Decreto Legislativo 51 del 7 marzo 2008 e confermato dal decreto legislativo 30 del 13 marzo 2013. Sulla base dell'ultimo Inventario Nazionale delle emissioni elaborato e pubblicato da ISPRA, tra il 1990 e il 2019 le emissioni di gas serra si sono ridotte del 19,4%, precisamente da 519 a 418 Mton CO_{2eq}. La quota dei diversi settori per emissioni complessive rimane invariata nel periodo analizzato, in particolare per l'anno 2019 la maggior parte delle emissioni totali di gas serra sono da attribuire al settore energetico, pari all'80,5% seguito dal settore dei processi industriali e utilizzo dei prodotti e dell'agricoltura. Considerando le emissioni totali il solo settore energetico LULUCF (*Land use, land-use change, and forestry*) rappresenta il 73,2% dei processi in grado di assorbire tali emissioni, seguiti da uni processi industriali, dall'agricoltura e dai rifiuti. Le emissioni di CO₂ sono diminuite, nel periodo analizzato, del 22,7%, da 440 a 340 milioni di tonnellate; i settori ove provengono le emissioni più rilevanti solo le industrie energetiche (26,9%), trasporti (30,7%), industrie e manifatturiero (22,6%) (ISPRA, 2021).

Figura 5 - Emissioni nazionali di CO₂ per settore dal 1990 al 2019 (Mt).

Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>



A livello di macrosettori il ventennio 2030-2050 si registra un calo marcato maggiore negli usi energetici rispetto quelli non energetici, con una decisa flessione per le industrie energetiche, con annessa crescita di fonti rinnovabili e dell'uso del *gas* naturale sostituendo i combustibili con più alte concentrazioni di petrolio (petrolchimici), nei settori residenziali e commerciali (grazie a un profondo *retrofitting* energetico degli edifici pubblici e privati) e nel settore dei rifiuti. Una riduzione, seppur minore rispetto i settori prima citati, si verifica in quello dei trasporti, primo per emissioni assolute di *gas* serra nell'atmosfera.

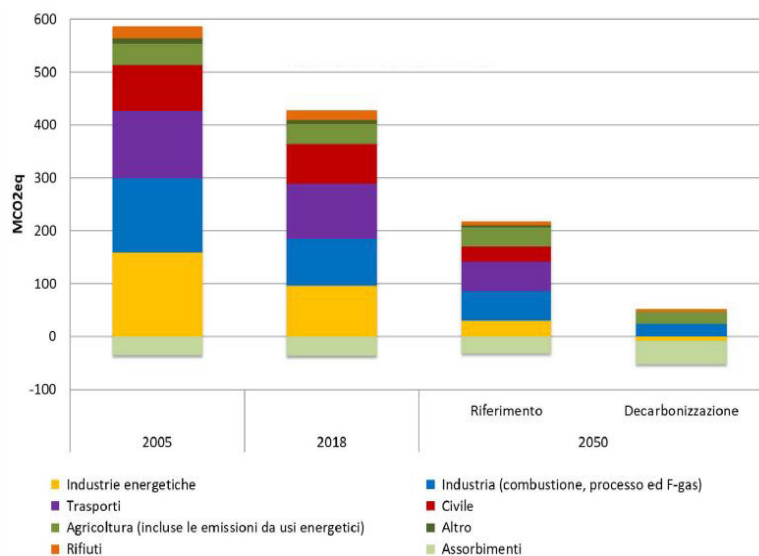


Figura 6 - Emissioni totali e assorbimenti di GHG al 2050.
Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>

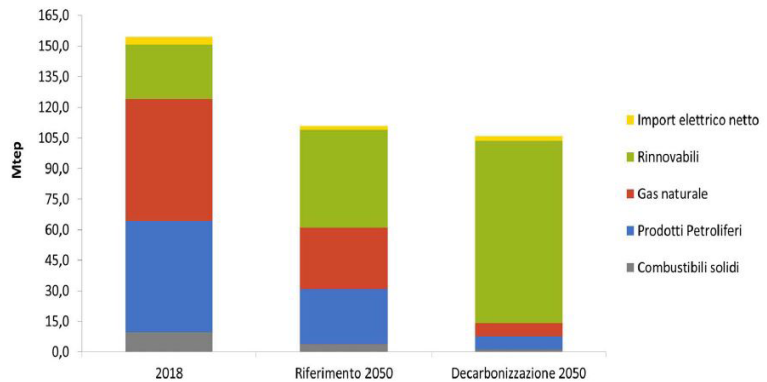
Principali strategie di decarbonizzazione per il settore Elettrico

Le attuali strategie poste in campo ai fini della decarbonizzazione al 2050 di tale settore inducono a considerare il fotovoltaico e l'eolico le migliori opzioni per incrementare la produzione energetica da rinnovabili; tuttavia permangono problemi riguardo la sostenibilità di tali scelte in quanto determinano un consumo di suolo molto elevato per ospitare gli impianti, quest'ultimi poi soggetti a una verifica di impatto ambientale. Per incrementare l'offerta, le future linee di azione verteranno sulla massimizzazione delle fonti rinnovabili in mare e la valorizzazione dell'energia geotermica nonché sulla implementazione delle meto-

Figura 7 - Confronto tra lo stato attuale (2020) e gli Scenari di riferimento e di decarbonizzazione. In questa figura lo scenario di decarbonizzazione è rappresentato da valori medi.

Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>⁵

5. In questa figura lo scenario di decarbonizzazione è rappresentato da valori medi.



dologie di assorbimento, cattura e stoccaggio delle emissioni di CO₂ (CCS – Carbon Capture and Storage) nel sottosuolo. Nelle strategie poste in campo al fine di decarbonizzare i settori maggiormente responsabili delle emissioni globali di gas serra possono essere desunti gli assi principali; la produzione di energia elettrica ha il potenziale di annullare le proprie emissioni, incentivando alla riduzione anche i settori dei trasporti e del residenziale nonché dei comparti produttivi industriali secondari. Per chiudere il delta rimanente scoperto dalle politiche di riduzione sopra citate, fondamentale importanza viene data alla capacità di assorbimento dal comparto energetico LULUCF, alle soluzioni definite “grey”, quali forme di assorbimento, stoccaggio della CO₂ applicate a grandi poli industriali (siderurgico e cementerie) e al settore energetico, quest’ultimo con forme di negative emissions se la cattura è applicata a impianti alimentati da fonti bio (biometano, biomasse solide)(ISPRA, 2021).

Tabella 6 - Produzione energetica e relative emissioni di Co2. Rielaborazione su dati ISPRA.

	1990	1995	2000	2005	2010	2016	2017	2018	2019
Produzione elettrica lorda, TWh	216,9	241,5	276,6	303,7	302,1	283,0	289,8	295,8	289,7
CO ₂ emessa, Mt	126,2	133,2	139,2	144,0	120,4	93,4	92,5	93,0	85,4
g CO ₂ /kWh (produzione lorda termoelettrica)	708	681	634	571	522	488	466	445	444
g CO ₂ /kWh (produzione lorda totale)	592	561	516	485	403	332	321	316	296
g CO ₂ /kWh (produzione lorda totale)	-	-	-	487	405	334	324	319	299

Tecnologia	Descrizione
Centrali Elettriche con cattura post-combustione	<p>L'unità di separazione della CO₂, basata in genere sull'utilizzo di solventi basici in colonne di assorbimento chimico e rigenerazione termica, è aggiunta in uscita alla linea di trattamento fumi senza modificare il processo di combustione e la configurazione della centrale: la soluzione è quindi adatta al retrofit di centrali elettriche esistenti, compatibilmente con le esigenze di spazio che richiede.</p> <p>L'aggiunta della sezione di cattura comporta un calo significativo del rendimento delle centrali (fino a circa 7-10 punti %): ciò è dovuto ai consumi energetici del processo di cattura e ai consumi elettrici per la compressione della CO₂ catturata. Durante la cattura non viene intercettata la totalità della CO₂ presente nei fumi: tipicamente il target è attorno al 90%, anche se è possibile arrivare al 99% a fronte di maggiori costi.</p>
Centrali elettriche con cattura in oxy-combustione	<p>Utilizzando ossigeno come comburente, i fumi sono costituiti fondamentalmente da CO₂ e vapore acqueo: la cattura della CO₂ risulta così molto facilitata (il vapore acqueo viene separato tramite semplice condensazione, raffreddando i fumi). Oltre il 98% della CO₂ presente nei fumi può essere catturata.</p> <p>A monte della combustione, deve essere aggiunto un impianto di cattura dell'ossigeno dall'aria che consuma elettricità. Ne consegue un calo del rendimento di centrale (da 4 a 10 punti %) rispetto le centrali tradizionali.</p>

*Tabella 7 - Principali tecnologie CCS per il settore energetico.
Rielaborazione su dati PoliMI*

Principali strategie di decarbonizzazione per il settore Industriale

La decarbonizzazione del settore Industriale necessita di un cambio di passo radicale nella concezione di combustibile energetico utilizzato e nei sistemi di innovazione ed efficientamento della fase di produzione integrando sistemi di cattura della CO₂ negli impianti stessi; soluzioni possono ricercarsi nel cambio dei *mix* di combustibili da fonti energetiche rinnovabili, come, ad esempio, l'elettrificazione del settore della produzione di acciaio nel suo ciclo integrale sostituendo l'altoforno con un processo di riduzione diretta dei minerali ferrosi (*DRI - direct reduced iron*) in cui è possibile utilizzare metano e idrogeno come agenti riducenti utilizzando infine forni elettrici alimentati da fonti energetiche rinnovabili (ISPRA, 2021).

Tabella 8 - Principali tecnologie CCS per il settore industriale. Rielaborazione su dati PolIMI

Tecnologia	Descrizione
Cattura della CO ₂ nell'industria (CSS)	<p>Con la cattura post-combustione è possibile catturare sia le emissioni da combustione che quelle di processo senza modificare gli impianti industriali esistenti.</p> <p>Se l'impianto utilizza un combustibile a zero emissioni (es. biomasse, biometano, metano sintetico), applicando le tecnologie CCS si ottengono emissioni negative (opzione particolarmente interessante per i cementifici che ben si prestano al fuel switch verso la biomassa solida).</p> <p>Può essere applicata anche alla produzione di acciaio primario tramite a DRI – CH₄</p> <p>La necessità di penetrazione della CCS è legata alla capacità del sistema di compensare le emissioni incompressibili e dalla disponibilità di trasporto e stoccaggio della CO₂</p>

Principali strategie di decarbonizzazione per il settore Trasporti

Il settore dei trasporti è attualmente responsabile del 30% del totale nazionale delle emissioni di gas serra (circa 104 Mton CO_{2eq} nel 2019, con un andamento negli ultimi trent'anni simile a quello dell'industria:

- crescente tra il 1990 e il 2007 e decrescente successivamente in conseguenza soprattutto della crisi economica e della diffusione di mezzi caratterizzati da emissioni di CO₂ e consumi energetici ridotti.

In termini assoluti, le emissioni sono oggi quelle che erano nel 1990; la decarbonizzazione di tale settore è un obiettivo che richiede misure di ampio genere, in primis, una riduzione del fabbisogno di mobilità con consumo energetico, incentivazione della mobilità collettiva (dolce) con vettori esclusivamente a energie rinnovabili (elettricità ed idrogeno). La decarbonizzazione dei trasporti pesanti (su strada, navali, aereo) verte sulla necessità di disporre di una adeguata rete di rifornimento per le motrici elettriche attraverso mezzi a batteria, elettrificazione dei tratti autostradali con cavo sospeso a pantografo e elettrificazione con produzione di energia da *e-fuel cell* a idrogeno, il cambio nelle tecnologie di carburante come il *biodiesel*, il *gas* naturale e il metanolo sintetico e il *kerosene* sintetico per l'aviazione (ISPRA, 2021).

Tabella 9 - Settore Trasporti - Evoluzione storica emissioni di gas serra in Mton CO_{2eq}. Rielaborazione su dati ISPRA.

	1990	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Trasporti	102,2	128,5	129,7	129,6	122,6	117,1	115,5	114,5	106,8	104,1	108,9	106,2	104,8	100,9	104,3



Figura 8 - Highways con pantografo.

Fonte: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2021/Seven-more-Scania-trucks-to-be-delivered-as-German-e-road-expands.html>

Principali strategie di decarbonizzazione per il settore Civile

Il settore civile rappresenta circa il 20% delle emissioni nazionali di *gas serra*, per un totale nel 2019 di 81,3 Mton CO_{2eq}, di queste, circa il 60% provenienti dal residenziale, il 30% dai servizi e il restante 10% dall'agricoltura. Lo scenario di decarbonizzazione di tale settore verte principalmente su tre assi strategici:

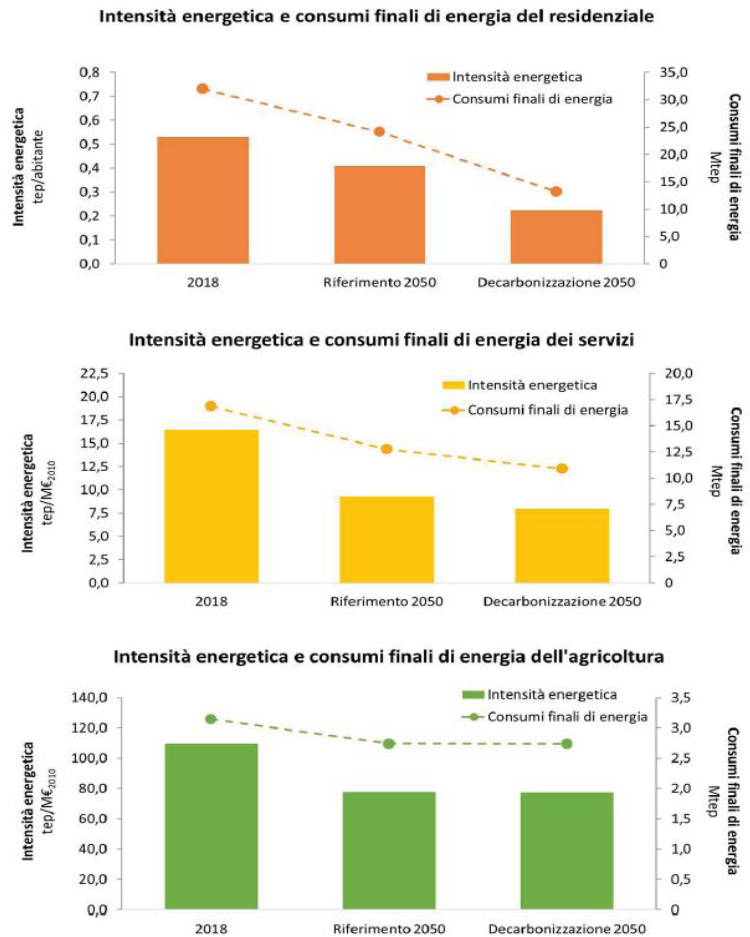
- efficienza energetica: riduzione della domanda di energia nel comparto residenziale;
- elettrificazione dei consumi: copertura per oltre il 65% dei consumi energetici, da fonti rinnovabili;
- *switch* verso combustibili alternativi come idrogeno, *fuel* sintetici e bioenergie: combustibili che si prestano all'impiego per il riscaldamento di edifici residenziali.

Efficienza energetica

La prima azione per la neutralità carbonica continua ad essere la riduzione di domanda di energia mediante efficientamento energetico del settore residenziale; le misure previste nel PNIEC (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima) possono contrarre la domanda fino al 25% dimezzando di fatto la richiesta di energia rispetto la domanda attuale (ISPRA, 2021).

Dalla rassegna del parco immobiliare italiano contenuto nella Strategia per la Riquilificazione Energetica del Parco Immobiliare Nazionale (STREPIN), emerge che oltre la metà degli edifici residenziali è

Figura 9 - Consumi energetici per settore residenziale, dei servizi e dell'agricoltura verso gli obiettivi di decarbonizzazione al 2050.
Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>



stata costruita prima degli anni '70, mentre la percentuale scende a 22% per gli edifici ad uso ufficio. Gli edifici a destinazione d'uso residenziale risultano pari a 12,4 milioni. Oltre il 65% di tale parco edilizio ha più di 45 anni, ovvero è precedente alla legge n. 373 del 1976⁶, prima legge sul contenimento energetico; di questi edifici oltre il 25% registra consumi annuali da un minimo di 160 kWh/m² anno ad oltre 220 kWh/m² per cui le possibilità di intervento di efficienza energetica risultano significative (STREPIN, 2020). Oggi vi è una considerevole attenzione riguardo l'efficientamento dell'involucro edilizio pubblico e privato, lo sono i notevoli investimenti e sistemi di ristrutturazione edilizia, come, ad esempio, il Bonus 110%, non-

6. Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.

ché di un rigoroso apparato normativo europeo relativo alle nuove costruzioni, tra tutti la Direttiva nZEB (*nearly Zero Energy Building*), entrata operativamente in vigore nei primi mesi del 2021. Tuttavia, al 2050, meno del 40% delle abitazioni saranno riconducibili alla categoria delle nuove costruzioni, mentre la restante quota sarà ancora costituita da costruzioni antecedenti il 2011. Per il settore residenziale, nel periodo 2030-2050, la STREPIN stima necessario uno sforzo aggiuntivo di riduzione dei consumi di energia finale rispetto al tasso di riqualificazione del PNIEC relativo alla decarbonizzazione del settore residenziale (STREPIN, 2020). Strategie di efficientamento energetico potranno essere agevolate da azioni strategiche funzionali al raggiungimento dei suddetti obiettivi; il rafforzamento delle politiche relative agli spazi urbani e periurbani, il contenimento delle isole di calore con una riduzione dell'irraggiamento incidente tali superfici, portando a una complessiva riduzione energetica e fornendo al tempo stesso importanti servizi eco sistemici e rispondendo in modo adattivo ai cambiamenti climatici.

Elettrificazione dei consumi

La seconda strategia risiede nella elettrificazione dei consumi energetici provenienti da fonti energetiche rinnovabili, superando il 65% dei consumi finali del settore civile. Il settore maggiormente interessato da tale strategia risulta essere quello del riscaldamento, oggi alimentato esclusivamente da prodotti di derivazione petrolchimico e dal *gas* naturale, e del raffrescamento degli edifici. Lo scenario di decarbonizzazione prevede che i generatori di calore alimentati da combustibili fossili vengano sostituiti da pompe di calore abbinati a strategie di bioclimatica attraverso l'introduzione di dispositivi tecnologici passivi in grado di soddisfare il *microcomfort* ambientale per riscaldamento e raffrescamento. Inoltre, nel settore residenziale, oltre al riscaldamento, il vettore elettrico dovrebbe sostituire il *gas* naturale in quasi tutti i sistemi di cottura. L'elettrificazione raggiunge anche il settore agricolo, dove al 2050 verranno introdotti, in modo sperimentale, piccoli macchinari agricoli a trazione elettrica (STREPIN, 2020).

Switch verso combustibili alternativi come idrogeno, *fuel* sintetici e bioenergie

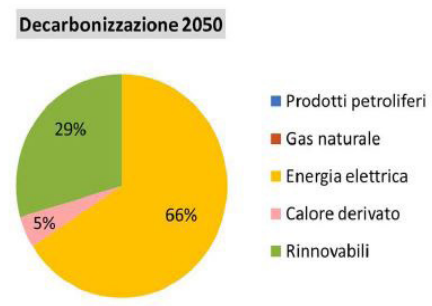
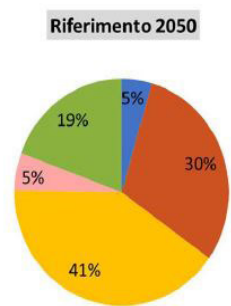
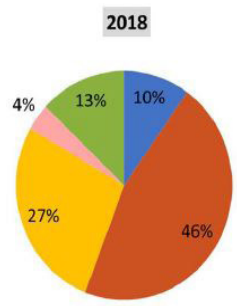
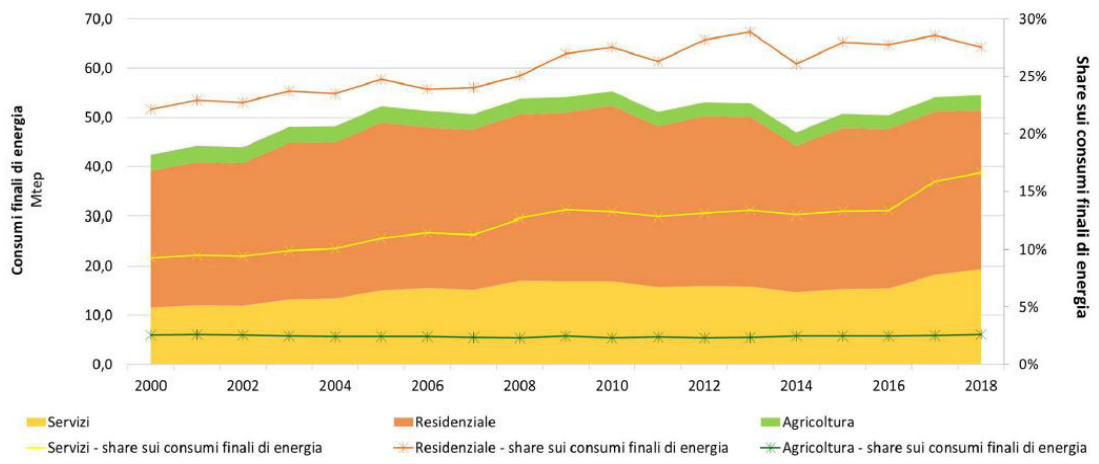
Il terzo asse strategico, che definisce insieme ai precedenti gli obiettivi per la neutralità carbonica nel settore civile, risiede nell'uso di combustibili provenienti da fonti rinnovabili. Fonti or-

Di seguito:

Figura 10 - Evoluzione dei consumi finali di energia per fonte, anni 2000-2018.
 Fonte: EUROSTAT 2018

Figura 11 - Evoluzione dei consumi finali per fonte, in Mtep.
 Fonte: RSE 2018

mai tradizionali come il solare termico, le biomasse e l'uso di calore proveniente da una sola fonte (teleriscaldamento) potranno essere affiancate da biometano, *e-fuel* e idrogeno pulito, quest'ultimo proveniente dal riutilizzo della CO₂ precedentemente assorbita e stoccata nel sottosuolo. Questi combustibili si prestano infatti all'impiego nel riscaldamento di edifici (ad esempio, in aree molto fredde, dove le pompe di calore possono peraltro rivelare limiti tecnici e di efficienza) ma anche di serre agricole, laddove l'introduzione del vettore elettrico possa incontrare barriere di tipo tecnico ed economico oppure nella movimentazione dei macchinari agricoli (in particolare, *e-fuels*) (STREPIN, 2020).



1.2 Obiettivi di sostenibilità ambientale

Agenda 2030

L'Agenda 2030 è un programma d'azione realizzato dalle Nazioni Unite e approvato dall'Assemblea Generale dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) nel 2015, con l'obiettivo di garantire uno sviluppo sostenibile a parità di risorse, metodi e mezzi per il raggiungimento. L'Agenda è composta da 17 obiettivi (*Sustainable Development Goals, SDGs*), all'interno di un programma di 169 *target* da raggiungere in ambito ambientale, sociale ed economico entro il 2030. Tutti i paesi sono chiamati a impegnarsi per definire una propria strategia di sviluppo che consenta loro di raggiungere gli obiettivi fissati. Ciascuna nazione viene infatti valutata annualmente in sede ONU attraverso l'attività dell'*High-level Political Forum (HLPF)*, che ha il compito di valutare i progressi, i risultati e le sfide, e viene inoltre valutata dalle opinioni pubbliche nazionali e internazionali. Ogni quattro anni si svolge, inoltre, un dibattito sull'attuazione dell'Agenda 2030 in sede di Assemblea Generale dell'ONU, alla presenza di Capi di Stato e di Governo, l'ultimo in ordine cronologico è avvenuto nel settembre 2019 (Agenzia per la coesione territoriale, 2015).



Figura 12 - Raffigurazione schematica dei 17 obiettivi dell'Agenda 2030.

Fonte: <https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-svilupposostenibile/>

Gli obiettivi di questa tesi rientrano in alcuni degli obiettivi posti dall'Agenda 2030 in quanto la ricerca di soluzioni *green e grey* per la cattura, assorbimento e stoccaggio di CO₂ dall'atmosfera possono essere un utile e performante mezzo per il raggiungimento degli obiettivi preposti.

Consultando il testo dell'Agenda si può notare che molti degli obiettivi contenuti riguardano indirettamente le emissioni di anidride carbonica e dei *gas serra*; in particolare l'obiettivo numero 3, “Salute e benessere” risulta strettamente collegato alla qualità dell'aria, e l'obiettivo numero 7, “Energia pulita e accessibile” è legato alle emissioni di CO₂ dove proprio nel settore della produzione energetica risulta legata alla combustione di combustibili fossili producendo notevoli quantità di anidride carbonica che deve essere oggetto di cattura dall'atmosfera e riutilizzo per generare altri materiali o *output* energetici.

L'obiettivo direttamente collegato all'argomentazione di tali tesi viene esposta nell'obiettivo numero 13, “Lotta contro il cambiamento climatico”, in quanto la prima causa del cambiamento climatico è riconducibile all'effetto serra e alle relative emissioni di anidride carbonica e per tale le possibili soluzioni *grey e green* possono contribuire a tale missione (UNFCCC, 2015).

Earth Overshoot Day

L'*Earth Overshoot Day* segna la data in cui la domanda dell'umanità di risorse e servizi ecologici in un dato anno supera ciò che la Terra può rigenerare in quell'anno; questo *deficit* viene mantenuto negli anni utilizzando le scorte di risorse ecologiche degli anni successivi e accumulando rifiuti, principalmente anidride carbonica nell'atmosfera. L'*Earth Overshoot Day* è ospitato e calcolato dal *Global Footprint Network*, un'organizzazione di ricerca internazionale che fornisce ai decisori un menu di strumenti per aiutare l'economia umana a operare entro i limiti ecologici della Terra.

Per determinare la data per ogni anno, il *Global Footprint Network*⁷ calcola il numero di giorni di quell'anno in cui la biocapacità della Terra è sufficiente per fornire l'impronta ecologica dell'umanità. Il resto dell'anno corrisponde all'*overshoot* globale. L'*Earth Overshoot Day* viene quindi calcolato dividendo la biocapacità del pianeta (la quantità di risorse ecologiche che la Terra è in grado di generare quell'anno), per l'Impronta ecologica dell'umanità (la domanda dell'umanità per quell'anno) e moltiplicando per 365, il numero di giorni in un anno:

7. Global Footprint Network, fondato nel 2003, sviluppa e promuove strumenti per promuovere la sostenibilità, tra cui l'impronta ecologica e la biocapacità, che misurano la quantità di risorse che usiamo e quante ne abbiamo a disposizione; questi strumenti mirano a portare i limiti ecologici al centro del processo decisionale.

*(Biocapacità della Terra / Impronta ecologica dell'umanità) x 365 =
Giorno del superamento della Terra*



Figura 13 - Overshoot Days 2021, date ultime a livello mondiale in cui la biocapacità della Terra ha consumato tutte le risorse.
Fonte: <https://www.footprintnetwork.org/>

Nel 2021, il giorno in cui la Terra esaurisce le risorse naturali previste per tutto il 2021, è caduto il 29 luglio, rispetto al 22 agosto del 2020, posticipato a causa della pandemia da COVID-19. Nel 1970, ad esempio, la giornata era caduta il 29 dicembre. E dunque il Pianeta, come sta accadendo appunto negli ultimi decenni, da giorno successivo a tale data andrà in credito sulle risorse dell'anno successivo dimostrando il sovrasfruttamento delle risorse per compensare la domanda sempre crescente. Il calcolo per l'impronta di carbonio si è basato sui dati sulle emissioni di CO₂ dell'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA) e sui



Figura 14 - Effetti del Overshoot Day 2021.
Fonte: <https://www.footprintnetwork.org/>

dati sul sequestro del carbonio oceanico del *Global Carbon Project*. L'effetto della deforestazione e del degrado dell'Amazzonia sulla biocapacità forestale globale è stato stimato con valutazioni pubblicate sulle riviste scientifiche *Nature* e *Reuters* (IEA, 2020).

L'impatto della CO₂ sul patrimonio edilizio e sugli spazi urbani e periurbani

Dagli inizi del 1800 ad oggi, con un *focus* maggiore sugli ultimi 50 anni, le emissioni di CO₂ connesse alle attività umane sono progressivamente aumentate, accumulando grandi quantitativi in atmosfera, accentuando l'effetto serra e quindi il riscaldamento climatico. A causa delle forti restrizioni mondiali per la pandemia da *COVID-19* tutt'ora in atto, le emissioni mondiali di CO₂ nel 2020 sono diminuite del 5,8% rispetto l'anno precedente, una riduzione percentuale più alta dalla seconda guerra mondiale, con una riduzione di oltre 2 miliardi di tonnellate di CO₂ in un solo anno. La seconda parte del 2020, con il maggior allentamento delle restrizioni, si è assistito a una ripresa delle emissioni globali, trainate soprattutto dai settori industriali ed energetici della Cina; si tratta del c.d. “effetto *rebound*”, le crisi economiche causano una riduzione di emissioni e, in corrispondenza di una ripresa, le emissioni subiscono di colpo un netto rialzo (denominato “effetto rimbalzo”), tornando a crescere anche più di prima. Secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA,2020), le emissioni per usi energetici nel 2020 si sono ridotte complessivamente di 31,5 Gt CO₂, raggiungendo valori di dieci anni fa; la maggior parte della contrazione (-1,2 Gt CO₂) si deve al calo della domanda di prodotti petroliferi connessi al calo della mobilità, del trasporto su strada e del traffico aereo, il secondo maggior contributo lo si deve alla riduzione di emissioni (-0,6 Gt CO₂) dovute al minor uso di carbone per generare energia elettrica e il terzo contributo derivante da una riduzione di domanda per il *gas* naturale (-0,2 Gt CO₂). Il 2021 è stato un anno chiave per la transizione ecologica e la decarbonizzazione dei settori più inquinanti, obiettivi posti al fine di mitigare i sempre più frequenti cambiamenti climatici; nei mesi conclusivi si sono svolti una serie di eventi globali: la Conferenza delle Parti (*COP*) delle tre Convenzioni di Rio sui cambiamenti climatici, la biodiversità e la desertificazione (UNFCCC COP26, CBD COP 15 e UNCCD COP 15), il lancio del Decennio delle Nazioni Unite sul ripristino dell'ecosistema, il Summit delle Nazioni Unite sui sistemi alimentari e la conferenza delle Nazioni Unite sugli oceani.

1.3 Conference of Parties (COP)

Il *COP (Conference of Parties)* è l'organo decisionale supremo della Convenzione *United Nation Climate Change*, tutti gli Stati membri che la costituiscono sono rappresentati alla *COP*, durante la quale si esamina l'attuazione della Convenzione e di qualsiasi altro strumento giuridico, prendendo le necessarie decisioni per promuovere l'effettiva attuazione della Convenzione, comprese le disposizioni istituzionali e amministrative. Un compito fondamentale della *COP* è la revisione delle comunicazioni nazionali e degli inventari delle emissioni presentati dalle Parti; sulla base di queste informazioni, valuta gli effetti delle misure adottate dalle Parti e i progressi compiuti nel raggiungimento dell'obiettivo finale della Convenzione. La *COP* si riunisce ogni anno, salvo diversa decisione delle Parti, la prima riunione si è tenuta a Berlino, in Germania, nel marzo 1995 (UNFCCC, 2021).

Tra i più significativi summit internazionali sul clima si ricordano (UNFCCC, 2021):

1) *Rio de Janeiro (1992) – COP 1*

Si tiene la prima Conferenza delle parti della Convenzione Onu sul *climate change* (UNFCCC), il primo trattato ambientale internazionale che si occupa del riscaldamento globale, ponendo come obiettivo "la stabilizzazione delle concentrazioni dei *gas serra* in atmosfera ad un livello abbastanza basso per prevenire interferenze antropogeniche dannose per il sistema climatico". Questo accordo accende negli anni 90' la discussione su come limitare le emissioni di *gas ad effetto serra*, proponendo protocolli e indirizzi di natura politica, definendo sin da subito una netta divisione tra paesi industrializzati, maggiori responsabili delle emissioni nel corso degli anni, e i paesi in via di sviluppo, più esposti ai cambiamenti climatici.

2) *Kyoto (1997) – COP 3*

Viene adottato il primo documento internazionale (Protocollo di *Kyoto*) che impone l'obbligo di riduzione o limitazione delle emis-

sioni di *gas* serra nei paesi maggiormente industrializzati, con la possibilità di introdurre un sistema di scambio di quote di emissioni. Il protocollo entrato in vigore nel 2005, prevede che la riduzione globale media delle emissioni deve essere pari al 5% entro il periodo 2008-2012, rispetto ai livelli che si sono registrati del 1990. Tuttavia, gli Stati Uniti non lo hanno mai ratificato, il Canada si è ritirato, mentre India, Cina e altri Paesi in via di sviluppo sono stati esonerati dall'obbligo di ridurre le emissioni di anidride carbonica in quanto non annoverati tra gli emettitori di *gas* serra nel periodo di industrializzazione.

3) *Bali (2007) – COP 13*

Prende vita un piano di azione finalizzato al raggiungimento di un accordo mondiale basato su tre meccanismi principali, l'*Emissions Trading*, il *Clean Development Mechanism* e la *Joint Implementation*, comprendendo un aumento degli obblighi di riduzione della CO₂ dei paesi industrializzati e l'inclusione delle economie emergenti di Paesi come Cina, India e Brasile, fino a quel momento senza vincoli poiché considerati in via di sviluppo. Nel "*Bali Action Plan*", il documento conclusivo della COP, la parti stabiliscono, anche a seguito delle maggiori certezze degli effetti antropici sul sistema clima (derivate dal 4° rapporto dell'*IPCC*), di accelerare le trattative per arrivare, entro il 2009, alla definizione di impegni vincolanti globali.

4) *Cancun (2010) – COP 16*

A seguito dei fallimenti di intese nella COP14 di *Poznan* (2008) e della COP15 di Copenaghen (2009), quest'ultima con un indirizzo nel quale si rileva l'esigenza di evitare il superamento della soglia dei 2°C nell'aumento delle temperature medie del pianeta, la COP di *Cancun* determina l'approvazione di una serie di misure volte alla mitigazione dei cambiamenti climatici con l'istituzione di un Fondo Verde per il Clima, anche se assente di un quadro normativo per la distribuzione delle quote economiche e della loro gestione. I paesi firmatari stabiliscono il taglio delle emissioni di *gas* serra dal 20% al 40% entro il 2020 istituendo tre organismi, il *Technology Executive Committee* con il compito di stabilire le strategie per il trasferimento delle tecnologie, il *Climate Technology Centre* con il compito di organizzare le attività e il *Climate Technology Centre and Network* con lo scopo di attuare gli interventi.

5) Parigi (2015) – COP 21

La ventunesima Conferenza delle Parti di Parigi in cui partecipano 196 stati membri dell'UNFCCC, ratificano, dopo i nulla di fatto nelle COP19 di Varsavia e COP20 di Lima, il primo importante accordo globale e condiviso diplomaticamente. Tuttavia il *Paris Agreement* lascia troppe concessioni, è un accordo non vincolante e si basa sul principio della responsabilità comune ma differenziata. L'obiettivo inderogabile risulta essere quello di mantenere la temperatura ben al di sotto dei 2°C, con uno scenario raccomandato al contenimento entro i 1,5 °C. Nelle disposizioni chiavi si stanziavano oltre 100 miliardi dal 2020 al 2025 per raggiungere la neutralità climatica e carbonica a seguito dell'azzeramento dell'uso di fonti energetiche di provenienza fossile. L'UE ha formalmente ratificato l'accordo il 5 ottobre 2016, consentendo in tal modo la sua entrata in vigore il 4 novembre 2016.

6) Bonn (2017) – COP 23

A Bonn si è tenuta la ventitreesima conferenza annuale delle Nazioni Unite con la partecipazione di 194 paesi, con l'assemblea presieduta dalle Isole Fiji.

Tra i principali risultati della Cop 23 si registra l'avvio del "*Talanoa Dialogue*", che ha lo scopo di valorizzare gli sforzi collettivi delle parti verso gli obiettivi di mitigazione indicati dall'Accordo di Parigi, e una ulteriore definizione del *set* di regole da usare per attuare l'Accordo di Parigi. La Conferenza ha anche consentito di continuare la discussione sull'attuazione degli accordi sul clima nel periodo precedente al 2020 (anno di riferimento dell'Accordo di Parigi).

Alla ratifica dell'accordo aderiscono Cina ed India mentre gli Stati Uniti, sotto la presidenza Trump, si svincolano dagli Accordi di Parigi.

7) Pre vertice G20 Napoli (2021)

Nei giorni 22 e 23 Luglio 2021, presso la città di Napoli, si è svolto il G20 denominato "G20 Ambiente, Clima ed Energia", incontro propedeutico, in quanto Italia *partner* collaborativo, alla COP26 di Glasgow, con l'obiettivo di conciliare la tutela dell'ambiente con il processo e il benessere sociale, ponendo la transizione ecologica al centro dell'agenda politica, con spirito propositivo per affrontare le crisi globali nel pieno della pandemia da COVID-19. I temi centrali del *summit* sono stati il contrasto al cambiamento climatico, l'accelerazione della transizione ecologica, le azioni necessarie per rendere i flussi finanziari coerenti con gli obiettivi dell'accordo di Parigi,

una ripresa economica sostenibile ed inclusiva grazie alle opportunità offerte in campo energetico da soluzioni tecnologiche innovative, l’implementazione delle città intelligenti, resilienti e sostenibili. Al termine è stato raggiunto un accordo in un documento finale relativo al tema Clima ed Energia, mentre non è stato raggiunto un accordo sul tema Ambiente per l’opposizione dell’India, quale paese emergente, sui temi riguardanti l’obiettivo di rimanere sotto gli 1,5°C di riscaldamento globale al 2030 e raggiungere la neutralità carbonica dei settori energetici entro il 2025.

8) *Glasgow (2020-2021) – COP 26*

La ventiseiesima Conferenza Mondiale sul Clima delle Nazioni Unite si è svolta per la prima volta nel Regno Unito, in collaborazione con l’Italia, dal 31 ottobre al 12 novembre 2021, posticipata di un anno a seguito della pandemia da *COVID-19* che ha colpito il mondo intero. La Conferenza si è posta come obiettivo l’intento di proseguire gli obiettivi prefissati e in parte non raggiunti nel pre-vertice del G20 Ambiente svolto a Napoli nel mese di Luglio 2021. Quest’ultima Conferenza è stata fortemente influenzata dalla decisiva pressione di studenti e giovani della comunità civile mobilitati nelle strade di ogni parte del mondo. Risultati positivi si sintetizzano nel mantenimento del contenimento di 1,5 C° con obiettivo di tutti i paesi a ridurre i consumi energetici al 2030 presentandone i risultati nel mese di Novembre 2022 per la ventisettesima Conferenza Mondiale sul Clima in programma in Egitto. Sono stati inoltre ratificati gli impegni che l’UE (riduzione entro il 2030 del 55% delle emissioni rispetto i valori del 1990) e gli Stati Uniti (riduzione entro il 2030 del 50% delle emissioni rispetto i valori del 2005), rientrati nell’Accordo di Parigi nei primi mesi del 2021, perseguono volontariamente al fine di ridurre le emissioni climalteranti. Si sottolinea inoltre la sostituzione all’ultimo minuto dell’impegno a “intensificare gli sforzi verso la riduzione”, e non più “verso l’eliminazione”, del carbone senza sistemi di cattura dell’anidride carbonica. Oltre a tali impegni raggiunti, è da considerare significativa la decisione di bloccare la deforestazione entro il 2030 e di ridurre del 30% le perdite di metano, dall’estrazione ai gasdotti, dannose per il clima.

1.4 Regolamenti e normative adottate nell'Unione Europea

1.4.1 Il sistema di scambio delle quote ETS UE

È il primo mercato mondiale di CO₂ e rappresenta uno strumento fondamentale per contrastare i cambiamenti climatici e per ridurre in maniera efficiente le emissioni di gas serra. Il sistema dello scambio delle quote di emissione è attivo in tutti i paesi dell'UE, inclusa Islanda, Liechtenstein e la Norvegia, interessa circa il 40% delle emissioni complessive di gas serra dell'UE e limita le emissioni di oltre 10000 impianti nel settore energetico e dell'industria manifatturiera. Il sistema *ETS UE (European Union Emissions Trading Scheme)* opera secondo il principio della limitazione e scambio delle emissioni, fissando un tetto⁸ alla quantità di alcuni gas serra che possono essere emessi dagli impianti; nel tempo tale tetto si riduce, indicando il settore alla riduzione progressiva delle emissioni totali. Dentro tale *range* gli impianti acquistano o ricevono quote di emissione, le quali, essendo limitate nel numero totale, garantiscono un pari valore. Alla fine di ogni anno gli impianti devono restituire un numero di quote sufficienti a coprire interamente le emissioni per non incorrere in pesanti multe. Riducendo le emissioni gli impianti possono mantenere le quote inutilizzate per coprire i fabbisogni futuri oppure venderle ad alcuni impianti che necessitano di ulteriori quote per compensare le emissioni prodotte (European Commission, 2021). L'*ETS UE* riguarda i seguenti settori e presta particolare attenzione alle emissioni delle quali è possibile effettuare misurazioni, relazioni e verifiche con un elevato grado di precisione:

- Anidride carbonica (CO₂) derivante da produzione di energia elettrica e di calore, settori industriali ad alta intensità energetica, comprese raffinerie di petrolio, acciaierie e produzione di ferro, metalli, alluminio, cemento, calce, vetro, ceramica, pasta di legno, carta, cartone, acidi e prodotti chimici organici su larga scala, aviazione commerciale all'interno dello Spazio economico europeo;
- Ossido di azoto (N₂O) derivante dalla produzione di acido nitrico, adipico e gliossilico e gliossale;
- Perfluorocarburi (PFC) derivanti dalla produzione di alluminio.

8. Il volume complessivo di gas serra che possono essere emessi da centrali elettriche, stabilimenti industriali e settore dell'aviazione coperti dal sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (EU ETS) è limitato da un "limite" al numero di quote di emissione. All'interno del limite, le aziende ricevono o acquistano quote di emissione, che possono scambiare secondo necessità. Il tetto diminuisce ogni anno, garantendo che le emissioni totali diminuiscano.

9. Nella fase 3 dell'EU ETS (2013-2020), il limite massimo per gli impianti fissi è diminuito ogni anno di un fattore di riduzione lineare dell'1,74%. Il tetto per il 2013 è stato fissato sulla base della quantità media totale di quote emesse annualmente nel periodo 2008-2012. Nella fase 4 dell'EU ETS (2021-2030), il tetto alle emissioni continua a diminuire ogni anno con un fattore di riduzione lineare annuo aumentato del 2,2%. Il massimale a livello di Unione per il 2021 degli impianti fissi è fissato a 1.571.583.007 quote. La riduzione annua corrispondente al fattore di riduzione lineare è di 43.003.515 quote.

Il sistema operando per fasi di scambio è giunto alla quarta fase di scambio (2021-2030); in questa fase temporale il quadro *ETS* è stato oggetto di varie revisioni per mantenere l'allineamento del sistema agli obiettivi generali della politica climatica dell'UE. Il quadro legislativo dell'EU *ETS* per la fase 4 è stato rivisto nel 2018 per garantire riduzioni delle emissioni dell'UE per il 2030 (-40% rispetto ai livelli del 1990) e nell'ambito del contributo dell'UE all'Accordo di Parigi⁹. Il sistema *ETS* EU si è rivelato un progetto efficiente e attualmente, tenendo presente che il quantitativo delle quote in circolazione è fissato a livello europeo in base agli obiettivi stabiliti, risulta già possibile vedere i primi risultati: nel 2020 si è registrato un -20% di emissioni rispetto al 1990 e, nel 2030, nel quadro del sistema modificato, l'intento è quello di ridurle del 40% rispetto al 2005. Per attuare ciò dal 2021 si è passati a un fattore annuo del -2,2%, con una riduzione prevista di circa 55 milioni di quote l'anno. La gestione della Direttiva *ETS* in Italia è affidata al GSE (Gestore dei servizi energetici), organo interministeriale con funzione di Autorità nazionale che fornisce supporto tecnico alla regolazione internazionale ed europea di riferimento e nel suo recepimento nazionale. Il Ministero dell'Ambiente, Tutela del Territorio e del Mare presiede tale organo mentre la vicepresidenza è riservata al Ministero dello Sviluppo Economico. Il GSE è il responsabile del collocamento delle quote di emissione italiane sulla piattaforma comune europea ed esprime un membro nazionale nel *Joint Procurement Steering Committee (JPSC)*: si tratta di un Comitato costituito dagli stati membri e responsabile delle procedure di gara e della gestione dei rapporti contrattuali con la piattaforma comune. Il meccanismo di assegnazione delle quote di emissione avviene, dal 2013, tramite aste; queste sono utilizzate per collocare il 50% delle *European Union Allowances (EUA)*, per adempiere agli obblighi di compensazione delle emissioni di tutti gli operatori *ETS*, e il 15% delle *European Union Allowances Aviation (EUA A)*, utilizzabili solo dagli operatori aerei. Annualmente, i quantitativi delle quote da collocare sono resi pubblici dal gestore della piattaforma, previa consultazione della Commissione e, una volta quantificate le quote da collocare gratuitamente, attraverso la pubblicazione di calendari d'asta: entro il 30 settembre per la piattaforma comune ed entro il 30 ottobre per le piattaforme nazionali. Dal rapporto GSE sulle aste di quote europee di emissione (II trimestre 2020) emerge che il prezzo medio delle quote è stato influenzato dalla crisi internazionale legata al *COVID*, segnando una riduzione del 17% rispetto allo stesso periodo dello

scorso anno sebbene, a partire dalla metà di maggio, l'andamento delle quotazioni sia stato rialzista. Infatti, i prezzi delle quote nel primo quadrimestre del 2021 hanno raggiunto 56€/ton, toccando, nel mese di Novembre, periodo in cui si è svolta la COP26, 65€/ton, con la previsione di raggiungere e superare 100€/ton nel 2030 a seguito del rafforzamento, da parte dell'UE, del mercato ETS, riducendo drasticamente i permessi di emissioni annuali (European Commission, 2021) (GSE, 2020).

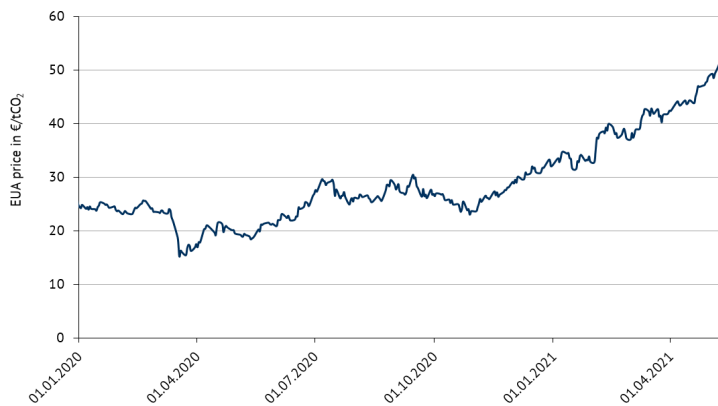


Figura 15 - Andamento prezzi del mercato ETS nel primo semestre 2021 sul mercato primario nel 2020. Rielaborazione GSE su dati EEX ed ICE.

1.4.2 Il programma “Fit for 55” e la Revisione del sistema di scambio di quote

Il presente pacchetto legislativo presentato dalla Commissione Europea nel mese di Luglio 2021 contiene 13 proposte legislative sull'energia e sul clima con l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra del 55% entro il 2030 come previsto nell'accordo sulla neutralità climatica e carbonica al 2050¹⁰. La transizione energetica impostata dalla Comunità Europea prevede in alcuni casi una revisione di alcune direttive (tassazione dell'energia, infrastrutture per i combustibili alternativi), di nuove strategie (nuovo fondo sociale per l'azione e per il clima, nuovi regolamenti per i combustibili per aviazione e trasporti marittimi), concentrando le maggiori novità nei seguenti settori (European Commission, 2021):

Efficienza energetica (RED II): Per il settore dell'Edilizia in particolare si pone un nuovo *target* comunitario del 49% di fonti rinnovabili nei consumi edilizi entro il 2020; per il settore Biomassa ove si concentrano le novità più importanti di suddetta direttiva si pone di

10. Obiettivo di riduzione delle emissioni al 2030 dal 40% al 55% rispetto al 1990, anno di riferimento delle emissioni.

eliminare gradualmente, con alcune eccezioni, il sostegno alla produzione elettrica da biomasse a partire dal 2026; vengono esentate le centrali che applicheranno sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂ (CCS/CUS) o realizzate in regioni selezionate per la "giusta transizione" (territori la cui economia è legata alle fossili e che hanno intrapreso un percorso di conversione).

Energie Rinnovabili (EED): Per il raggiungimento della neutralità climatica l'Unione Europea pone l'obiettivo di ridurre le emissioni climalteranti del 55% con una riduzione dell'energia comunitaria di almeno il 9% entro il 2030 rispetto i valori del 2020; ciò equivale a un taglio del 39% sui consumi di energia primaria e del 36% su quelli finali. Nel dettaglio gli Stati membri saranno tenuti a realizzare nuovi risparmi sul consumo finale di energia di almeno l'1,5% ogni anno dal 2024 al 2030, rispetto all'attuale 0,8%.

Nuova strategia forestale (*New EU Forest Strategy Fit For 55*)

È la nuova strategia comunitaria per proteggere le foreste europee mirando a contribuire al complessivo percorso di decarbonizzazione dell'UE tutelando la biodiversità europea. La strategia nello specifico mira a proteggere le foreste primarie e antiche, a ripristinare quelle degradate e a garantire che siano gestite in modo sostenibile e un programma di riforestazione con la previsione di piantumare tre miliardi di nuove specie arboree entro il 2030.

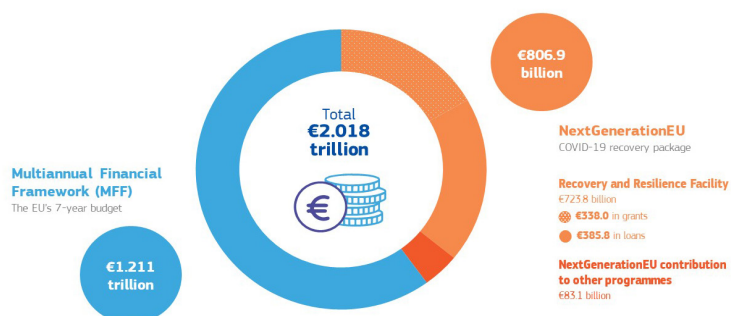
Uno degli elementi cardini del programma risulta essere quello della proposta di profonda revisione del sistema ETS. Il mercato europeo del carbonio verrebbe ampliato ad altri settori (marittimo) e dotato di un sistema parallelo di scambio delle quote di emissioni riservato ai trasporti su strada e ai sistemi di riscaldamento degli edifici. L'attuale sistema ETS abbatte le emissioni dei settori coinvolti del 61% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2005, con fattore di riduzione lineare al 4,2% e un taglio del tetto di una tantum pari a 117 mln di € di permessi. Il "nuovo" ETS avrà un obiettivo di taglio emissioni del 43% al 2030 sui livelli del 2005, sarà in vigore dal 2025 e avrà un tetto solo per il 2026. Tale revisione se da un lato è incentrata a fornire una forte accelerazione alla transizione energetica e alla decarbonizzazione, dall'altra rischia di generare un impatto socio-economico derivato dai costi della transizione stessa e di aumentare la povertà energetica tra le fasce più deboli della popolazione. Per tali rischi l'UE prevede di istituire un fondo sociale per attutire l'impatto della transizione energetica sulle fa-

miglie europee meno abbienti, circa 30 milioni di cittadini pari al 7% della popolazione europea. Attualmente tale proposta è al vaglio del Parlamento Europeo al fine di ottimizzare ulteriormente la strategia negli aspetti di forestazione e riforestazione, obbligando gli stati membri a piantumare specie autoctone ad alta mitigazione ambientale, preservando la biodiversità già presente nel luogo ove vengono operati tali interventi; i negoziati politici proseguiranno fino alla fine del 2022, per entrare in vigore nel primo trimestre del 2023 (European Commission, 2021).

1.5 Quadro dei Finanziamenti Europei

Il bilancio a lungo termine dell'UE 2021-2027, insieme allo strumento *NextGenerationEU* per la ripresa, ammonta a 2.018 trilioni di euro; questa risposta, senza precedenti in termini di risorse economiche impiegate, contribuirà alla ripresa economica e sociale causata dalla pandemia da *COVID-19* ed incentiverà la transizione energetica, climatica e carbonica.

Figura 16 - Ripartizione dei finanziamenti europei a lungo termine divisi tra il Multiannual Financial Framework e il Next Generation EU.
Fonte: https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_it



1.5.1 Il Next Generation EU

È uno strumento di recupero temporaneo di oltre 800 miliardi di euro per aiutare la ripresa a seguito dei danni economici e sociali derivati dalla pandemia da *COVID-19* tutt'ora in corso. Il programma cardine dello strumento è il *Recovery and Resilience Facility* (RRF), con una dotazione di 672,5 miliardi di euro in prestiti e sovvenzioni per sostenere le riforme e gli investimenti intrapresi dagli stati membri con l'obiettivo di mitigare gli effetti della pandemia, rendere le economie e le società europee più sostenibili, resilienti e pronte per la sfida della transizione verde e digitale. La prima parte dei fondi impiegati è destinata a due strategie a favore dell'energia pulita quale l'integrazione di un sistema energetico innovativo e l'impiego dell'idrogeno. La prima strategia prevede, nello specifico, di creare nuovi collegamenti intersettoriali e di sfruttare i progressi tecnologici, cambiando il modello attuale in cui ogni settore costituisce un compartimento stagno di consumo energetico con catene del valo-

re, norme, infrastrutture, pianificazioni e operazioni proprie. Ciò si traduce nella necessità di integrare il sistema energetico, pianificarlo e gestirlo nel suo insieme, collegando diversi vettori energetici, infrastrutture e settori di consumo. Un sistema flessibile risulterà più efficiente e ridurrà i costi per la società: l'energia elettrica che alimenta le auto europee potrebbe arrivare dai pannelli solari posti sulle coperture e sugli involucri degli edifici mentre le abitazioni potrebbero essere riscaldate dal calore generato da una fabbrica nelle vicinanze, la quale a sua volta si servirebbe dell'idrogeno pulito prodotto grazie all'energia eolica *off-shore* e ai sistemi di riutilizzo del carbonio assorbito e stoccato in precedenza da tecnologie *Carbon, Capture, Storage and Utilization (CCSU)* (European Commission, 2021). La strategia si basa su tre pilastri portanti:

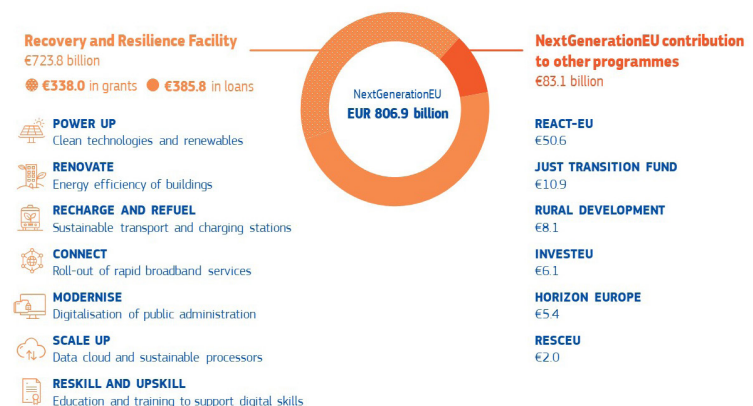
- un sistema energetico più circolare, imperniato sull'efficienza energetica e sull'utilizzo efficace delle fonti di energia locali. Esiste un potenziale di riutilizzo del calore di scarto proveniente da siti industriali, centri o altre fonti, come anche dall'energia prodotta a partire da rifiuti organici o negli impianti di trattamento delle acque reflue. Le azioni di *retrofitting* del settore industriale sarà una parte cardine di tali riforme;
- una maggiore elettrificazione diretta dei settori d'uso finale. Poiché l'energia elettrica vanta la quota più consistente di fonti rinnovabili, obiettivo principale sarà una sua implementazione capillare in ogni settore possibile: ad esempio per le pompe di calore negli edifici, per i veicoli elettrici nei settori dei trasporti o per i forni elettrici in sostituzione di altoforni più energivori e alimentati con fonti energetiche di origine fossile, in determinate industrie;
- l'utilizzo di combustibili puliti nei settori difficili da elettrificare, fra cui l'idrogeno rinnovabile, i biocarburanti e i *biogas* sostenibili.

La Commissione con il programma di aiuti finanziari "*Fit For 55*" ha proposto una nuova classificazione e una revisione del sistema di certificazione per i combustibili rinnovabili e a basse emissioni di carbonio. La strategia elenca ulteriori azioni, tra cui si annoverano la revisione della normativa vigente, il sostegno finanziario, la ricerca e l'introduzione di nuove tecnologie e strumenti digitali. Vengono inoltre proposti orientamenti guida agli stati membri per l'elaborazione di misure fiscali e per la graduale eliminazione dei sussidi ai combustibili fossili. Infine, sono state varate una riforma della governance del mercato, una pianificazione infrastrutturale e una migliore

informazione rivolta ai consumatori (European Commission, 2021). La strategia dell'UE per l'idrogeno, invece, si prefigge l'obiettivo concreto della decarbonizzazione del settore dell'industria, dei trasporti, della produzione di energia elettrica e dell'edilizia attraverso investimenti, regolamentazioni, creazione di un mercato, ricerca e innovazione. Al fine di compensare la variabilità dei flussi delle energie rinnovabili, l'idrogeno si configura come la soluzione più idonea grazie alla possibilità di stoccaggio, purché ci sia un'azione coordinata a livello dell'UE tra settore pubblico e privato. La priorità principale risulta attualmente quella di sviluppare l'idrogeno rinnovabile, prodotto usando principalmente energia eolica e solare, ma nel breve e medio periodo occorrono altre forme di idrogeno a basse emissioni di carbonio per promuovere la creazione di un mercato redditizio e ecosostenibile. Questa transizione graduale richiederà un approccio temporale suddiviso in diverse fasi:

- tra il 2020 e il 2024 è prevista l'installazione di almeno 6 gigawatt di elettrolizzatori nell'UE e la produzione fino a un milione di tonnellate di idrogeno rinnovabile;
 - tra il 2025 e il 2030 l'idrogeno dovrà entrare a pieno titolo nel sistema energetico integrato, con almeno 40 gigawatt di elettrolizzatori e la produzione fino a dieci milioni di tonnellate di idrogeno rinnovabile nell'UE;
 - tra il 2030 e il 2050 le tecnologie basate sull'idrogeno rinnovabile dovrebbero raggiungere la maturità e trovare applicazione su larga scala in tutti i settori difficili da decarbonizzare.
- L'RRF è entrato in vigore il 19 febbraio 2021 e fino al 31 dicembre 2026 finanzierà le riforme e gli investimenti negli Stati membri.

Figura 17 - Next Generation EU, ripartizione dei fondi economici per i vari settori coinvolti.
Fonte: https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_it



Per finanziare lo strumento *NextGenerationEU*, la Commissione Europea, prenderà in prestito dei capitali¹¹ sui mercati a tassi più favorevoli rispetto a molti Stati Membri e ridistribuirà gli importi. Inoltre nuove fonti di reddito saranno previste nei programmi di revisioni previsti nel pacchetto economico “*Fit for 55*”, in particolare dalla Revisione del sistema di scambio di quote di emissione (*ETS*) (European Commission, 2021).

1.5.2 Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza in Italia (PNRR)

Per beneficiare del sostegno dello strumento, gli Stati membri devono presentare alla Commissione europea i propri piani di recupero e resilienza; ciascun piano definisce le riforme e gli investimenti da attuare entro la fine del 2026. Il Piano di Ripresa e Resilienza presentato dall'Italia prevede investimenti a cui sono allocate risorse per 191,5 miliardi di euro finanziati attraverso il Dispositivo per la Ripresa e la Resilienza e per 30,6 miliardi attraverso il fondo complementare istituito con il Decreto Legge n.59 del 6 maggio 2021. A tali risorse si aggiungono quelle rese disponibili dal programma *REACT-EU*¹² che, come previsto dall'UE, saranno impiegate nel triennio 2021-2023 per ulteriori fondi pari a 13 miliardi di euro. Per l'Italia il *NextGenerationEU* rappresenta una opportunità di sviluppo, di investimenti e di riforme, modernizzando la pubblica amministrazione, rafforzando il sistema produttivo intensificando gli sforzi di contrasto alla povertà all'inclusione sociale e alle disuguaglianze. L'Italia risulta la prima beneficiaria in valore assoluto per la ripartizione economica di tale strumento legislativo, fondi da impiegare nel periodo 2021-2026 e dei quali oltre il 25% come sovvenzioni a fondo perduto. Il Piano si sviluppa intorno a tre assi strategici condivisi a livello europeo: digitalizzazione e innovazione, transizione ecologica, inclusione sociale, articolato in 16 componenti e raggruppate in 6 missioni, quali essere digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo, rivoluzione verde e transizione ecologica, infrastrutture per una mobilità sostenibile, istruzione e ricerca, inclusione e coesione, salute. Si rivolge, ai fini della ricerca di tesi, particolare attenzione alla Missione 2 “Rivoluzione verde e transizione ecologica”, volta a rendere sostenibile il sistema economico e sociale attuale e garantirne la competitività e nelle componenti C2 (Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile) e C3 (Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici) (Ministero dell'Economia e delle Finanze, 2021).

11. La Commissione europea emette obbligazioni per finanziare prestiti all'UE e ai paesi terzi nell'ambito di quattro programmi. Ciò include il programma SURE fino a 100 miliardi di euro per sostenere l'occupazione e mantenere le persone al lavoro.

12. REACT-EU acronimo tradotto “assistenza alla ripresa per la coesione e i territori d'Europa”, è un'iniziativa che porta avanti e amplia le misure di risposta alla crisi e per il superamento degli effetti della crisi messe in campo attraverso l'iniziativa di investimento in risposta al coronavirus (CRII) e l'iniziativa di investimento in risposta al coronavirus Plus. Tale iniziativa, dotata complessivamente di 55 miliardi di euro aggiuntivi al quadro economico-finanziario del *NextGenerationEU*, contribuirà a una ripresa economica verde, digitale e resiliente.

Figura 18 - Risorse del PNRR destinate alla Missione 2 per ogni Componente (valori in miliardi di euro).

Fonte: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>



Gli obiettivi globali al 2030 e 2050 sono ambiziosi e puntano a una progressiva e completa decarbonizzazione del sistema (*Net-zero*) e a rafforzare l'adozione di soluzioni di economia circolare al fine di proteggere la natura e la biodiversità. Per rispettare gli accordi di Parigi, le emissioni cumulate non devono superare le 600 GtCO₂ (Figueres et al, 2017). Per raggiungere la progressiva decarbonizzazione di tutti i settori, nella Componente 2 sono stati previsti interventi, investimenti e riforme, al fine di incrementare decisamente l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, tramite soluzioni decentralizzate e *utility scale* (incluse quelle innovative ed *offshore*) e il rafforzamento delle reti (più *smart* e resilienti) al fine di accomodare e sincronizzare le nuove risorse rinnovabili e di flessibilità decentralizzate, per decarbonizzare gli usi finali in tutti gli altri settori, con particolare *focus* su una mobilità più sostenibile e sulla decarbonizzazione di alcuni segmenti industriali, includendo l'avvio dell'adozione di soluzioni basate sull'idrogeno prodotto anche da sistemi nei siti industriali stessi in grado di riutilizzare il carbonio assorbito e stoccato precedentemente nel suolo (*Carbon Capture and Storage*). Inoltre particolare rilievo è dato alle filiere produttive, obiettivo è quello di sviluppare una *leadership* internazionale industriale e di conoscenza nelle principali filiere della transizione, promuovendo lo sviluppo in Italia di *supply chain* competitive nei settori a maggior crescita, che consentano di ridurre la dipendenza da importazioni di tecnologie e rafforzando la ricerca e lo sviluppo nelle aree più innovative (fotovoltaico, idrolizzatori, batterie per il settore dei trasporti e per il settore elettrico, mezzi di trasporto) (Ministero dell'Economia e delle Finanze, 2021).

QUADRO DELLE MISURE E RISORSE (MILIARDI DI EURO):

M2C2 - ENERGIA RINNOVABILE, IDROGENO, RETE E MOBILITA' SOSTENIBILE

23,78
Mld
Totale

Ambiti di intervento/Misure	Totale
1. Incrementare la quota di energia prodotta da fonti di energia rinnovabile	5,90
Investimento 1.1: Sviluppo agro-voltaico	1,10
Investimento 1.2: Promozione rinnovabili per le comunità energetiche e l'auto-consumo	2,20
Investimento 1.3: Promozione impianti innovativi (incluso <i>off-shore</i>)	0,68
Investimento 1.4: Sviluppo biometano	1,92
Riforma 1.1: Semplificazione delle procedure di autorizzazione per gli impianti rinnovabili <i>onshore</i> e <i>offshore</i> , nuovo quadro giuridico per sostenere la produzione da fonti rinnovabili e proroga dei tempi e dell'ammissibilità degli attuali regimi di sostegno	-
Riforma 1.2: Nuova normativa per la promozione della produzione e del consumo di gas rinnovabile	-
2. Potenziale e digitalizzare le infrastrutture di rete	4,11
Investimento 2.1: Rafforzamento <i>smart grid</i>	3,61
Investimento 2.2: Interventi su resilienza climatica delle reti	0,50
3. Promuovere la produzione, la distribuzione e gli usi finali dell'idrogeno	3,19
Investimento 3.1: Produzione in aree industriali dismesse	0,50
Investimento 3.2: Utilizzo dell'idrogeno in settori <i>hard-to-abate</i>	2,00
Investimento 3.3: Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto stradale	0,23
Investimento 3.4: Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto ferroviario	0,30
Investimento 3.5: Ricerca e sviluppo sull'idrogeno	0,16
Riforma 3.1: Semplificazione amministrativa e riduzione degli ostacoli normativi alla diffusione dell'idrogeno	-
Riforma 3.2: Misure volte a promuovere la competitività dell'idrogeno	-
4. Sviluppare un trasporto locale più sostenibile	8,58
Investimento 4.1: Rafforzamento mobilità ciclistica	0,60
Investimento 4.2: Sviluppo trasporto rapido di massa	3,60
Investimento 4.3: Sviluppo infrastrutture di ricarica elettrica	0,74
Investimento 4.4: Rinnovo flotte bus e treni verdi	3,64
Riforma 4.1: Procedure più rapide per la valutazione dei progetti nel settore dei sistemi di trasporto pubblico locale con impianti fissi e nel settore del trasporto rapido di massa	-
5. Sviluppare una <i>leadership</i> internazionale industriale e di ricerca e sviluppo nelle principali filiere della transizione	2,00
Investimento 5.1: Rinnovabili e batterie	1,00
Investimento 5.2: Idrogeno	0,45
Investimento 5.3: Bus elettrici	0,30
Investimento 5.4: Supporto a start-up e venture capital attivi nella transizione ecologica	0,25

Figura 19 - PNRR, dettaglio della ripartizione dei finanziamenti per la Missione 2 - Componente 2.

Fonte: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>

Attraverso la Componente 3 viene rafforzato l'efficientamento energetico incrementando il livello di efficienza degli edifici, principale settore con maggiori emissioni nel nostro Paese in quanto oltre il 60% del patrimonio pubblico (es. scuole, cittadelle giudiziarie), che privato, ha una età superiore ai 45 anni. Infine, si pone attenzione sulla sicurezza del territorio, intesa come la mitigazione dei rischi idrogeologici (con interventi di prevenzione e di ripristino) e strate-

gie di *urban greening*, volte alla salvaguardia delle aree verdi e della biodiversità (es. interventi di forestazione urbana, digitalizzazione dei parchi, rinaturazione di aree umide), l'eliminazione dell'inquinamento delle acque e del terreno, e la disponibilità di risorse idriche (es. infrastrutture idriche primarie, agrosistema irriguo, fognature e depurazione), aspetti fondamentali per la salvaguardia della popolazione (Ministero dell'Economia e delle Finanze, 2021).

Figura 20 - PNRR, dettaglio della ripartizione dei finanziamenti per la Missione 2 - Componente 3.
 Fonte: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>



L'Italia è particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici e, in particolare, all'aumento delle ondate di calore e delle siccità. Le zone costiere, i delta e le pianure alluvionali rischiano di subire gli effetti legati all'incremento del livello del mare e delle precipitazioni intense. Secondo le stime dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), nel 2017 il 12,6% della popolazione viveva in aree classificate ad elevata pericolosità di frana o soggette ad alluvioni, con un complessivo peggioramento rispetto al 2015. Dopo una forte discesa tra il 2008 e il 2014, le emissioni pro capite di *gas* clima-alteranti in Italia, espresse in tonnellate di CO₂ equivalente, sono rimaste sostanzialmente inalterate fino al 2019 (Ministero dell'Economia e delle Finanze, 2021).

A seguito del dibattito parlamentare sulla proposta di PNRR per l'Italia presentata dal Governo Conte II al Parlamento il 15 gennaio 2021, il Governo Draghi ha presentato il 25 aprile 2021 un nuovo testo del PNRR, oggetto di comunicazioni del Presidente del Consiglio alle Assemblee di Camera e Senato il 26 e 27 aprile; successivamente, il 30 aprile, il PNRR è stato ufficialmente trasmesso alla Commissione europea. Il 22 giugno 2021 la Commissione europea ha pubblicato la proposta di decisione di esecuzione del Consiglio, fornendo una valutazione globalmente positiva. Il 13 luglio 2021 il PNRR è stato definitivamente approvato con Decisione di esecuzione del Consiglio, che ha recepito la proposta della Commissione europea.

1.5.1.2 European Green Deal

Il *Green Deal* Europeo è un progetto ambizioso volto a raggiungere la neutralità climatica e carbonica dell'UE, dotandola di una economia di mercato moderna, efficiente e con riduzione delle risorse impiegate. Nello specifico si prevedono misure e iniziative strategiche come leggi ed investimenti, che saranno realizzate nei prossimi trent'anni al fine di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.



Figura 21 - Obiettivi strategici principali dell'European Green Deal.
Fonte: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it

Tali strategie si traducono in azioni raggruppate in cinque principali ambiti di interesse (European Commission, 2019):

Energia: in tale ambito, la strategia più rilevante è quello di rendere più pulita la produzione di energia elettrica, attualmente responsabile dell'emissione del 75% di *gas* inquinanti (composti principalmente da CO₂), potenziando la diffusione delle energie rinnova-

bili e cessando di incentivare l’uso di combustibili fossili. Grande attenzione dovrà essere riservata ai paesi dell’Est Europa, dove la diffusione di energie rinnovabili è ancora limitata e la costruzione di centrali a energia solare o eolica è praticamente nulla: la Polonia, ad esempio, ancora oggi si avvale del carbone, uno dei combustibili più nocivi ancora in circolazione, per ottenere l’80% della propria energia elettrica.

Costruzioni: risulta necessario rendere più sostenibili una serie di usi e *best practise* dei cittadini degli stati membri, dispendiose dal punto di vista energetico e deleterie per l’ambiente. Sarà pertanto opportuno introdurre nuove regole per la costruzione o la ristrutturazione di case e industrie, rendere meno inquinanti i processi produttivi, potenziare i trasporti pubblici e su rotaia, promuovere la biodiversità, proteggendo boschi e specie animali a rischio di estinzione, favorendo l’economia circolare e riservando una quota stabilita dei fondi europei per iniziative ecosostenibili.

Industria: l’UE si affida all’industria europea per guidare la transizione verso la neutralità climatica e la *leadership* digitale con l’obiettivo di rendere tale settore un acceleratore e un motore di cambiamento, innovazione e crescita. Nel marzo 2019 il Consiglio europeo ha invitato la Commissione europea a presentare una visione a lungo termine sulla politica industriale. Il Consiglio ha dato seguito alle conclusioni del maggio 2019, presentando una visione per l’industria europea nel 2030. La Commissione ha pubblicato la sua nuova strategia industriale nel marzo 2020 e nel novembre 2020 il Consiglio ha emanato le conclusioni sulla nuova strategia, che illustrano in che modo la ripresa dalla crisi per la pandemia da COVID-19 potrebbe essere utilizzata come leva per un’industria europea più dinamica, resiliente e competitiva, ribadendo che la ripresa dovrebbe essere equa e basata sui principi di competitività, integrazione del mercato unico, sostenibilità, coesione, inclusività, solidarietà, circolarità e tutela ambientale e rispetto delle norme sociali. La dissociazione della crescita economica dall’uso delle risorse e il passaggio a sistemi circolari di produzione e consumo sono fondamentali per conseguire la neutralità climatica dell’UE entro il 2050; nel marzo 2020, la Commissione europea ha presentato un nuovo piano d’azione per l’economia circolare, su cui il Consiglio ha emanato le conclusioni nel dicembre 2020. Il piano d’azione prevede oltre 30 punti d’azione sulla progettazione di prodotti sosteni-

bili, la circolarità nei processi produttivi e l'opportunità di dare ai consumatori e agli acquirenti pubblici la possibilità di operare scelte informate, riguardando settori come l'elettronica, le batterie, gli imballaggi, la plastica, i prodotti tessili, la costruzione e l'edilizia e i prodotti alimentari.

Mobilità e trasporti: poiché il settore contribuisce per circa il 5% al PIL dell'UE e fornisce opportunità lavorative a oltre 10 milioni di persone in Europa, il sistema dei trasporti è fondamentale per le imprese europee e le catene di approvvigionamento globali. Allo stesso tempo, i trasporti non sono privi di costi per la nostra società, sono tra i maggiori emettitori di *gas* a effetto serra e di sostanze inquinanti, rumore, incidenti stradali e congestione del traffico. Oggi le emissioni dei trasporti rappresentano circa il 25% delle emissioni totali di *gas* a effetto serra dell'UE e sono aumentate negli ultimi anni. L'obiettivo dell'UE è quello di essere il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050 richiedendo cambiamenti ambiziosi nel settore dei trasporti; è necessario pertanto un percorso definito con chiarezza per conseguire una riduzione del 90% delle emissioni di *gas* a effetto serra legate ai trasporti entro il 2050.

Clima: il Consiglio europeo ha concordato un'agenda strategica 2019-2024 per l'UE, ponendo in rilievo l'importanza di intensificare l'azione globale per il clima in linea con gli impegni internazionali assunti nel quadro dell'accordo di Parigi, proseguendo gli sforzi volti a limitare l'aumento della temperatura a 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali.

Per ogni obiettivo del *Green Deal*, la Commissione diffonderà dapprima un piano strategico e poi un'azione concreta per cercare di raggiungerlo; le misure di cui si sta discutendo maggiormente sono la Legge Europea sul Clima, ratificata nel mese di Giugno 2021, che fissa l'obiettivo di ridurre le emissioni di *gas* serra al 2030 del 55% rispetto ai livelli del 1990, per raggiungere poi la neutralità climatica nel 2050 e l'aumento del pozzo netto di assorbimento del carbonio entro il 2030. Quest'ultimo è quindi un sistema in grado di assorbire maggiori quantità di carbonio rispetto a quelle che emette.

Tali ambiti riguardano il coinvolgimento di investimenti pubblici e fondi privati per fornire sostegno pratico e finanziario alle regioni europee più arretrate e vulnerabili che potrebbero subire ingenti

13. Il nuovo programma istituisce una garanzia dell’UE pari a circa €26,2 miliardi che permetterà ai partner d’investimento di assumere rischi più elevati e di sostenere progetti a cui diversamente avrebbero rinunciato.

perdite di lavoro nel corso della transizione da un’economia basata sulla manifattura pesante e la produzione a combustibili fossili verso fonti che nel breve termine saranno meno bisognose di forza lavoro. Nel periodo 2021-2027 il Fondo mobilerà circa 100 miliardi di euro, con aumento di bilancio a 143 entro il 2030. Tale somma verrà elargita attingendo da fondi strutturali europei già esistenti da programmi di cofinanziamento degli stati, da prestiti della Banca Europea degli Investimenti, e da una parte del fondo *InvestEU*¹³.

1.5.3 Horizon Europe 2021-2027

Horizon Europe è il prossimo Programma Quadro Europeo per la ricerca e l’innovazione per il periodo 2021-2027, che succederà ad *Horizon 2020* (2014-2020). L’inizio di tale ambizioso programma è previsto per il 1° gennaio 2021 con un *budget* di circa 95,5 miliardi di euro, il 35% dei quali destinato al finanziamento delle tecnologie rispettose del clima, per il più ambizioso programma di ricerca e innovazione di sempre, finanziato dal tradizionale bilancio comune europeo e dal *Next Generation EU*. Sulla base del successo dell’esperienza di *Horizon 2020*, il nuovo Programma Quadro continuerà a sostenere e promuovere l’eccellenza scientifica in Europa con un nuovo approccio basato sulle *mission*, in modo da perseguire un maggior impatto in ambito sociale, economico e ambientale.

Il Programma si propone, tra l’altro, di supportare l’attuazione delle priorità d’intervento dell’Unione Europea e affrontare le sfide globali che incidono sulla qualità della vita, attuando politiche in linea con i *Sustainable Development Goals* (SDG, Agenda 2030) e l’Accordo di Parigi sul clima, supportando il modello socio-economico dei paesi europei, promuovendo la ricerca e l’innovazione, migliorando la dimensione di genere.

Inoltre si prepone di sviluppare infrastrutture di ricerca più competitive nello Spazio europeo della ricerca fornendo un accesso transnazionale, per promuovere l’*open science* e assicurarne la visibilità al pubblico, garantendo l’accesso aperto a pubblicazioni scientifiche e dati di ricerca e di incoraggiare la competitività industriale, la capacità innovativa e l’occupazione in Europa, migliorando l’accesso alle fonti di finanziamento. Sono stati apportati alcuni miglioramenti per semplificare le regole, i modelli e le forme di finanziamento per valorizzare e sfruttare i risultati della ricerca, tra le quali (European Commission, 2019):

- Il Consiglio Europeo per l’Innovazione (EIC), nel quale la Com-

missione istituirà un referente unico per portare sul mercato le innovazioni tecnologiche più promettenti e rivoluzionarie, ponendosi come obiettivo primario l'individuazione di innovazioni ad alto rischio, in rapida evoluzione e con un elevato potenziale di mercato;

- le *Mission*, che avranno come finalità la competitività industriale e nuove sfide per la società, con obiettivi ambiziosi volti ad affrontare i problemi che incidono sulla nostra vita quotidiana;
- il rafforzamento della cooperazione internazionale grazie ad una maggiore estensione per l'associazione a paesi terzi con eccellenti competenze con una più generale apertura alla partecipazione internazionale;
- il *Corporate Grant Agreement*, nuovo modello contrattuale che troverà applicazione in tutti i programmi europei a gestione diretta finanziati nell'ambito del Quadro Finanziario Pluriennale 2021-27. A completare gli elementi comuni a tutti ci saranno specifici documenti allegati, riferiti agli elementi caratterizzanti ciascun programma di finanziamento diretto;
- il Rinforzo della metodologia e delle politiche relative all'*open science* per una migliore diffusione dei risultati scientifici, accesso libero ai dati della ricerca, con l'utilizzo responsabile del *cloud* europeo *European Open Science Cloud (EOSC)* nonché la definizione di un nuovo servizio centralizzato di pubblicazione scientifica Open Research Europe;
- Un nuovo approccio ai partenariati europei (*European Partnerships*), più ambiziosi e strategici, di 3 tipi:

1) co-programmati, sulla base di protocolli d'intesa, attuati in maniera indipendente;

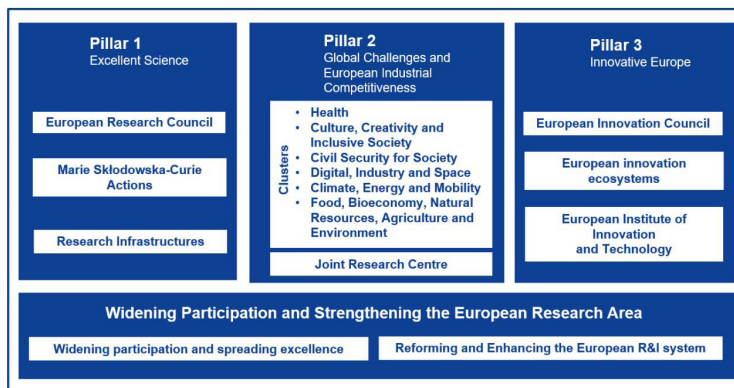


Figura 22 - Quadro generale degli ambiti di ricerca del programma Horizon Europe suddivisi in 3 colonne principali (Pillar).
Fonte: <https://www.catalyze-group.com/horizon-europe>

14. *Copernicus* è il programma di osservazione della Terra dell’Unione europea, dedicato a monitorare il nostro pianeta e il suo ambiente a beneficio di tutti i cittadini europei. Offre servizi di informazione basati sull’osservazione satellitare della Terra e dati in situ. Il programma è coordinato e gestito dalla Commissione europea ed è attuato in collaborazione con gli Stati membri, l’Agenzia spaziale europea (ESA), l’Organizzazione europea per l’esercizio dei satelliti meteorologici (EUMETSAT), il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (CEPMMT), le agenzie dell’UE e Mercator Océan.

- 2) co-finanziati, sulla base di programmi congiunti tra *partner*;
- 3) istituzionalizzati, su una prospettiva a lungo termine e con un elevato livello di integrazione.

Perseguendo gli obiettivi della presente tesi si vuole porre il *focus* sul Pillar 2, Cluster 5 “*Climate, Energy and Mobility*” ove il motore principale del suddetto *cluster* è quello di accelerare la duplice transizione verde e digitale dell’economia, dell’industria e della società europee al fine di conseguire la neutralità climatica in Europa entro il 2050. Il passaggio alla neutralità climatica, insieme a una più rapida digitalizzazione e a cambiamenti economici e sociali accelerati, trasformerà infatti i settori dell’energia e della mobilità nei prossimi decenni rendendoli sempre più interconnessi. La ricerca e l’innovazione influenzeranno pesantemente la velocità con cui queste transizioni potranno avvenire, attraverso lo sviluppo di un ampio portafoglio di alternative climaticamente neutre per le attività che producono emissioni, basate spesso su un maggiore accoppiamento settoriale, la digitalizzazione, l’integrazione dei sistemi e lo sfruttamento, ove opportuno, dell’esistente programma di osservazione e monitoraggio della Terra *Copernicus*¹⁴.

1.5.3.1 I finanziamenti per le Tecnologie Abilitanti (*KETs*)

Le Tecnologie Abilitanti (*KETs*) sono un concetto politico dell’UE introdotto nel 2009 per stimolare la ricerca e l’innovazione in tecnologie nuove e complesse ed aumentare la competitività. Le *KETs* sono state centrali nel programma *Horizon 2020*, svolto nel periodo 2014-2020, con uno stanziamento di circa 30 miliardi di euro. Le *KETs* sono incentivate dall’UE come un approccio fortemente strategico e integrato allo sviluppo e alla diffusione di nuove tecnologie per promuovere la modernizzazione industriale. Nello specifico sono tecnologie ad alta intensità di conoscenza associate a un’elevata intensità di R&S, con rapidi cicli di innovazione e occupazione altamente qualificata, consentono l’innovazione di processi, beni e servizi in tutta l’economia e sono di rilevanza sistemica, sono multidisciplinari, trasversali a molte aree tecnologiche con una tendenza alla convergenza e all’integrazione. Le *KETs* sono tecnologie generiche che, da sole o più spesso in combinazione con altre tecnologie di Industria 4.0, costituiscono la base di una gamma di nuovi prodotti e processi utilizzati nella produzione; nel programma *Horizon 2020*, le sei *KETs* risultavano essere nanotecnologie, fotonica, materiali avanzati, biotecnologia e produzione avanzata.

Nell'attuale programma quadro *Horizon Europe 2021-2027*, viene data priorità alle seguenti sei *KETs*, produzione avanzata, materiali avanzati, tecnologie per le scienze della vita, micro/nanoelettronica e fotonica, intelligenza artificiale, sicurezza e connettività. Attualmente sono attivi cinque progetti del programma *Interreg Europe*¹⁵ volti a promuovere e fornire politiche migliori in materia di *KETs*, nello specifico risultano essere (European Commission, 2016):

- *INNO PROVENT* supporta le PMI nell'adozione delle tecnologie Industria 4.0;
- *NMP-REG* aiuta a diffondere nanotecnologie e materiali avanzati alle aziende manifatturiere regionali;
- *P2L2* mira a migliorare la fornitura di politiche pubbliche per supportare l'innovazione nei materiali avanzati;
- *SMARTPILOTS* supporta strutture pilota condivise nelle biotecnologie e nella bioeconomia;
- *STEPHANIE* mira a promuovere le tecnologie spaziali basate sulla fotonica.

1.5.3.2 I finanziamenti del programma nel campo delle soluzioni green. Il progetto *URBAN GreenUP*

Il progetto *Horizon 2020 URBAN GreenUP* è un progetto finanziato dalla Comunità Europea in cui sono coinvolti 25 *partner*, 9 nazioni e 8 città con l'obiettivo principale di sviluppare, applicare e replicare i Piani di Rinaturalizzazione Urbana in alcune città Europee e non Europee al fine di mitigare gli effetti del cambiamento climatico, incrementare la qualità e la gestione delle acque, migliorare la qualità dell'aria e più in generale incrementare la sostenibilità delle città attraverso soluzioni naturali (NBS - *Nature Based Solutions*). Nel progetto sono coinvolte tre città definite pilota (Valladolid in Spagna, Liverpool in Gran Bretagna, Izmir in Turchia) che dovranno sviluppare ed applicare metodologie di rinaturalizzazione delle città attraverso soluzioni naturali. Sono coinvolte, inoltre, come città inseguatrici, ovvero città che dovranno replicare la metodologia attraverso lo sviluppo di un Piano di Rinaturalizzazione Urbana due città europee (Mantova in Italia e Ludwigsburg in Germania), e tre città non europee, Medellin (Colombia), Chengdu (China) e Binh Dinh (Vietnam). Le *green solutions* che saranno implementate durante il progetto coprono una varietà di aspetti complementari ma interconnessi della vita urbana e delle infrastrutture. Sono raggruppati in quattro categorie principali: *urban greening*, interventi idrici, infrastrutture verdi singolari e interventi non tecnici. Esempi del-

15. *Interreg Europe* aiuta i governi regionali e locali di tutta Europa a sviluppare e fornire politiche efficienti e funzionali creando opportunità per la condivisione di soluzioni e l'apprendimento delle politiche, mirando a garantire che gli investimenti pubblici, l'innovazione e gli sforzi di implementazione portino tutti a un impatto integrato e sostenibile per le persone e il luogo. Il programma è finanziato con il Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR) per il periodo 2014-2020.



Figura 23 - Logo del progetto *URBAN GreenUP*.

Fonte: <https://www.urbangreenup.eu/>

le iniziative pianificate sono la realizzazione di percorsi ciclabili e pedonali verdi, l'installazione di parchi e strutture agricole urbane, l'uso di suoli intelligenti e filtri per i bioinquinanti, nonché l'implementazione di sistemi di drenaggio sostenibili, che riducono l'impatto delle inondazioni e per scopi irrigui. Attraverso l'implementazione di soluzioni molto tecniche basate sulla natura nei grandi distretti, *URBAN GreenUP* mira a ottenere una varietà di impatti legati sia agli aspetti ambientali che socio-economici.



Figura 24 - Logo del progetto URBAN GreenUP.

Fonte: <http://www.ner300.com/>

1.5.4 Programma *NER 300*

NER 300 (*New Entrants' Reserve - NER*) è un programma di finanziamento che mette a disposizione circa 2 miliardi di euro per tecnologie innovative a basse emissioni di carbonio, concentrandosi sulla dimostrazione di tecnologie ecocompatibili per la cattura e lo stoccaggio del carbonio (*CCS*) e di tecnologie innovative per le energie rinnovabili su scala commerciale nell'UE. Il programma *NER 300*, che coinvolge tutti gli Stati membri dell'UE, è stato istituito per sostenere la dimostrazione di un'ampia gamma di tecnologie *CCS*, in particolare per la precombustione, la postcombustione, l'ossicombustione e le applicazioni industriali, e tecnologie per le energie rinnovabili, in particolare la bioenergia, l'energia solare concentrata, il fotovoltaico, l'energia geotermica, eolica, oceanica, idroelettrica e le reti intelligenti. Il programma *NER 300* deve il suo nome alla vendita di 300 milioni di quote di emissione della riserva per i nuovi entranti istituita per la terza fase del sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (*EU ETS*). I fondi derivanti dalle vendite sono stati distribuiti a progetti selezionati mediante due cicli di inviti a presentare proposte, relativi rispettivamente a 200 e 100 milioni di quote. Attualmente non sono previsti altri inviti a presentare proposte del programma e la Commissione si sta concentrando sui progetti già selezionati per il finanziamento e sulla preparazione del primo invito a presentare proposte nell'ambito del nuovo Fondo per l'innovazione (*Innovation Fund*). A causa del difficile contesto economico globale, alcuni dei 20 progetti hanno avuto difficoltà a raccogliere un capitale adeguato e sono stati ritirati. I fondi non spesi, per un importo attualmente pari a circa 623 milioni di euro, vengono reinvestiti attraverso gli strumenti finanziari esistenti dell'UE gestiti dalla Banca europea per gli investimenti: *InnovFin Energy Demo Projects (EDP)* e lo strumento di debito del meccanismo per collegare l'Europa (*MCE*).

1.5.5 Innovation Fund

L'*Innovation Fund* è un fondo dotato di circa 20 miliardi di euro nel periodo 2020-2030 creato per sostenere le tecnologie altamente innovative che possono portare a riduzioni significative delle emissioni in vari settori. Si tratta tuttavia di progetti promettenti e abbastanza evoluti per il mercato come idrogeno pulito, cattura e utilizzo del carbonio (CCU), costruzione e gestione di impianti di cattura e stoccaggio del carbonio (CCS), accumuli di energia e altre soluzioni a bassa emissione di carbonio per industrie ad alta intensità energetica. I criteri di valutazione per il finanziamento di tali misure sono la capacità di evitare le emissioni di *gas serra*, il potenziale di innovazione e della maturità finanziaria e tecnica, i mezzi di espansione e di efficienza sotto il profilo dei costi. Il sostegno arriverà fino al 60% del capitale aggiuntivo e dei costi operativi legati all'innovazione, principalmente tramite sovvenzioni erogate in maniera flessibile sulla base delle esigenze di mercato e dell'attività. Lo stanziamento proveniente dalla vendita di quote di emissione UE (EU ETS), oltre agli importi non utilizzati del programma *NER 300*. Il fondo sostiene progetti trasversali su soluzioni innovative a basse emissioni di carbonio che portano a riduzioni delle emissioni in più settori, ad esempio, attraverso la simbiosi industriale; è inoltre aperto a progetti di piccola scala con costi di capitale totali inferiori a 7,5 milioni di euro.

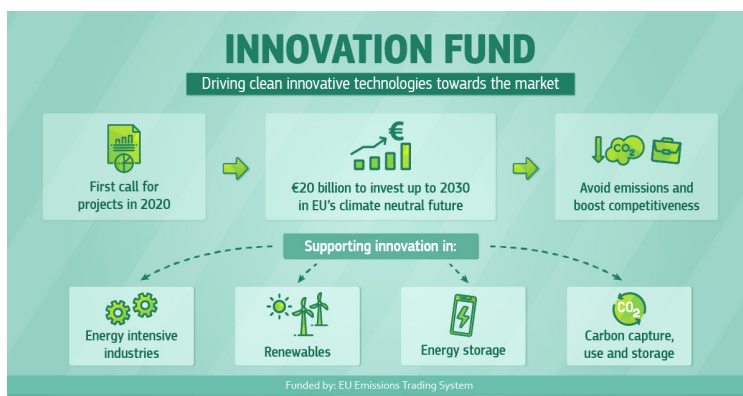


Figura 25 - Gli assi strategici principali del piano Innovation Fund.

Fonte: https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en

1.5.6 Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)

Definito anche “Meccanismo di adeguamento delle emissioni importate”, si tratta di un’imposta concepita per proteggere l’industria europea in piena fase di decarbonizzazione da quei *competitor* esterni che non sono soggetti ai rigidissimi obiettivi climatici dell’Unione Europea. Una volta che il *Cbam* sarà pienamente operativo (primi mesi del 2030) la Commissione Europea stima che porterà €9 miliardi all’anno nelle casse di Bruxelles, contribuendo al finanziamento del piano *Next Generation EU*. Gli importatori dovranno segnalare le emissioni incorporate nelle loro merci senza pagare un conguaglio finanziario in una fase transitoria che inizierà nel 2023 e terminerà alla fine del 2025, fornendo il tempo di mettere in atto il sistema definitivo alle aziende interessate dal meccanismo quali essere cementifici, acciaio e ferro, alluminio, fertilizzanti e produttori di elettricità. Questa fase di transizione, combinata con l’introduzione graduale del *Cbam* nel tempo, consentirà una transizione attenta e proporzionata per le imprese e le autorità dell’UE e dei paesi terzi. Una volta che il sistema definitivo diventerà pienamente operativo nel 2026, gli importatori dell’UE dovranno dichiarare annualmente la quantità di merci e la quantità di emissioni incorporate nel totale delle merci che hanno importato nell’UE nell’anno precedente e restituire la corrispondente quantità di certificati *Cbam*. L’idea alla base della *carbon tax*, in armonia con i piani europei, è quella di catalizzare il processo di transizione ecologica; permangono attualmente due problemi principali: non tutte le industrie possono fare a meno di utilizzare combustibili fossili, e una compagnia può aggirare il sovrapprezzo spostando le operazioni inquinanti fuori dall’Europa, o importando beni più economici perché prodotti all’estero sottostando a regolamenti sulle emissioni meno stringenti. Questi sono i motivi per cui il sistema di scambio di emissioni europeo (*ETS*), vigente dal 2005, favorisce o esclude direttamente le aziende europee ad alto consumo energetico. Tale meccanismo risulterà quindi essere un dazio sui prodotti importati in Europa da Paesi con regolamenti sulle emissioni meno stringenti, pensato per evitare il *carbon leakage* (fuga di carbonio), proteggendo quindi il mercato europeo dalla concorrenza sleale ed incentivare gli altri Paesi ad alzare le proprie ambizioni climatiche (European Commission, 2021).

1.6 Programmi Nazionali Europei per l'Energia e il Clima a confronto

1.6.1 Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC)

Il cammino dell'Italia verso la sostenibilità oltre il 2020 seguirà l'indirizzo tracciato dalla Strategia per un'Unione dell'energia, basato su cinque assi strategici: decarbonizzazione (incluse le rinnovabili), efficienza energetica, sicurezza energetica, mercato dell'energia completamente integrato, ricerca, innovazione e competitività, e dal nuovo Quadro per l'energia e il clima 2030 approvato dal Consiglio europeo nelle conclusioni del 23 e 24 ottobre 2014 e successivi provvedimenti attuativi. La proposta di Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) inviata dal governo a Bruxelles all'inizio dell'anno 2020 con orizzonte 2030, prevede investimenti quantificabili in circa 110 miliardi di euro.



Figura 26 - Le 5 linee di intervento del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC).
Fonte: https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf

L'esplicitazione dei contenuti del *Green Deal* Europeo, si manifesteranno in varie forme e direzioni, includendo i provvedimenti di recepimento delle Direttive comunitarie attuative del pacchetto energia e clima, ma anche promuovendo iniziative ulteriori e sinergiche, introdotte nella Legge di Bilancio 2020.

Il piano si prepone i seguenti obiettivi generali (Ministero dello Sviluppo Economico, 2019):

1. accelerare il percorso di decarbonizzazione, considerando il 2030 come una tappa intermedia verso una decarbonizzazione profonda del settore energetico entro il 2050 e integrando la variabile ambiente nelle altre politiche pubbliche;
2. favorire l'evoluzione del sistema energetico, in particolare nel settore elettrico, da un assetto centralizzato a uno distribuito basato prevalentemente sulle fonti rinnovabili;

16. Inventario nazionale delle emissioni di gas a effetto serra, da tali valori sono esclusi il saldo emissioni/assorbimenti forestali. Fonte: Ispra, 2021

3. accompagnare l'evoluzione del sistema energetico con attività di ricerca e innovazione che, in coerenza con gli orientamenti europei e con le necessità della decarbonizzazione profonda, sviluppino soluzioni idonee a promuovere la sostenibilità, la sicurezza, la continuità e l'economicità di forniture basate in modo crescente su energia rinnovabile in tutti i settori d'uso e favoriscano il riorientamento del sistema produttivo verso processi e prodotti a basso impatto di emissioni di carbonio che trovino opportunità anche nella domanda indotta da altre misure di sostegno.

Un'attenta *governance* coordinata da diversi Ministeri, coinvolgendo, nel rispetto dei relativi ruoli, le Regioni, i Comuni, l'ARERA, ne consente l'attuazione coordinata garantendo unitarietà di azione, in particolare nei tempi e processi di autorizzazione e realizzazione delle infrastrutture fisiche, nel coordinamento delle attività per la ricerca e l'innovazione e, più in generale, nel monitoraggio degli effetti del piano in termini di riorientamento del sistema produttivo, nonché di costi e benefici.

L'Italia con il suddetto programma attuerà politiche misure necessarie al raggiungimento degli obiettivi di riduzione di *gas* a effetto serra concordate a livello internazionale ed europeo. Per i settori coperti dal sistema di scambio quote *EU ETS*, quali principalmente termoelettrico e l'industria energivora, oltre a un livello dei prezzi di vendita e di acquisto della CO_2 più elevati rispetto gli ultimi anni, contribuiranno il *phase out* dal carbone, programmato entro il 2025. Viene inoltre introdotto il Piano per la transizione energetica sostenibile delle aree idonee (PITESAI), documento che consente di delineare un quadro di riferimento delle aree rispetto alle quali pianificare lo svolgimento delle attività di prospezione, ricerca e coltivazione di idrocarburi sul territorio nazionale, volto a valorizzare la sostenibilità ambientale, sociale ed economica delle stesse.

L'obiettivo di riduzione delle emissioni di *gas* a effetto serra al 2030 di almeno il 40% a livello europeo rispetto al 1990, è ripartito tra i settori *ETS* (industrie energetiche, settori industriali energivori e aviazione) e non *ETS* (trasporti, residenziale, terziario, industrie non ricadenti nel settore *ETS*, agricoltura e rifiuti) che dovranno registrare rispettivamente un -43% e un -30% rispetto l'anno 2005. Le emissioni di *gas* a effetto serra (*GHG*) da usi energetici rappresentano l'81% del totale nazionale pari, nel 2016, a circa 428 milioni di mega tonnellate di CO_2 equivalente¹⁶. La restante quota di emissioni deriva da fonti non energetiche, essenzialmente connesse a processi industriali, *gas* fluorurati, agricoltura e rifiuti.

La tabella seguente fornisce un quadro sintetico del peso di ciascun settore in termini di emissioni di GHG (Mt CO_{2eq}) nel periodo 2005-2016.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
DA USI ENERGETICI, di cui:	480,2	471,6	463,5	454,2	408,6	417,2	404,7	387	360	345,1	352,5	347,1
Industrie energetiche	161,3	161,9	161,6	158,1	133,4	134	132,7	128,3	108,8	100,2	105,8	104,4
Industria	83,9	78,9	75,7	72,3	55,8	62,6	61,5	55,6	51,6	52,6	20,9	47,9
Trasporti	128	129,2	129,2	122,2	116,5	115,2	114,1	106,5	103,8	108,6	106	104,5
Residenziale e commerciale	86,9	82,6	78,7	83,7	85,1	87,8	79,2	80,1	79	67,4	74,1	74,7
Agricoltura	9,3	9,1	8,7	8,4	8,5	8,1	7,9	7,6	7,5	7,5	7,7	7,8
Altro	10,7	9,8	9,5	9,5	9,3	9,5	9,3	8,9	9,1	8,7	8	7,8
DA ALTRE FONTI, di cui:	100,7	95,8	96,5	92,5	86,8	86,7	84,6	81,3	80,2	80,3	80,3	80,8
Processi industriali/gas fluorurati	46,7	42,8	43,1	40,6	35,4	36,4	36,6	33,8	32,8	32,4	32,3	32,1
Agricoltura	32,1	31,7	32,4	31,4	30,8	30,1	30,3	30,9	29,7	29,2	29,4	30,4
Rifiuti	21,9	21,4	21	20,5	20,6	20,4	19,8	19,9	18,7	18,5	18,6	18,3
TOTALE	580,9	567,4	559,9	546,6	495,4	504	491,1	471,6	441,2	425,3	432,9	427,9
Di cui soggetto a ESR	330,5	320,9	315,1	314,6	299,3	301,52	291,2	282,9	274,4	270,4	274,5	270,6

Tabella 9 - Evoluzione delle emissioni per settore nel periodo 2005-2016 (Emissioni di GHG, Mt di CO_{2eq}).

Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>

Le emissioni da processi industriali interessano essenzialmente le produzioni di cemento, di calce e di acciaio e i gas fluorurati. Le prime non sono facilmente comprimibili in quanto direttamente proporzionali alle quantità prodotte. Sui gas fluorurati, invece, un effetto di contenimento deriverà dalla completa esecuzione del Regolamento (UE) n. 517/2014, che prevede, tra le altre cose, il divieto di uso di alcuni gas a più alto potenziale di riscaldamento globale e la sostituzione con prodotti che presentano un minore impatto sul clima.

Nel settore dei rifiuti, le emissioni sono connesse soprattutto alla quantità totale prodotta, alla quota di sostanze biodegradabili conferite in discarica e alle percentuali di recupero del metano dal gas di discarica. In questo caso è attesa una riduzione relativamente significativa delle emissioni, pari a circa 9 Mt CO_{2eq}, che dovrebbe realizzarsi con la progressiva implementazione di obiettivi e piani di gestione rifiuti già approvati. La legislazione nazionale infatti prevede un obiettivo di raccolta differenziata molto ambizioso pari al 60% al 2030, che rappresenta il motore principale delle politiche di gestione dei rifiuti in Italia. Grazie a questo obiettivo (ancora non raggiunto in maniera uniforme a livello nazionale) è stato possibile ottenere elevate percentuali di riciclo dei rifiuti urbani perfettamente in linea con l'obiettivo comunitario di riciclo al 2020 pari al 50% (ISPRA, 2021).

Per il settore Residenziale e commerciale, gli edifici a destinazione d'uso residenziale sono pari a 12,42 milioni con quasi 32 milioni di abitazioni; oltre il 60% di tale parco edilizio ha più di 45 anni, ovvero è precedente alla Legge 373/1963, prima legge sul risparmio energetico e di questi oltre il 25% registra consumi annuali da un minimo di 160 kWh/m² anno a oltre 220 kWh/m².

Tabella 10 - Censimento nazionale degli edifici residenziali analizzati per epoca di costruzione e zona climatica di localizzazione.

Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>

Epoca di costruzione	Numero edifici	m ²
<1919	1832503	824318007
19-45	1327007	596929963
46-60	1700834	765089112
61-70	2050830	922528420
71-80	2117649	952585727
81-90	1462766	657998570
91-2000	871017	391811090
2001-2005	465092	209213142
2006-2011	359991	161935377
2011-2018	232714	104682143
Totale	12420403	5587091450
Zona Climatica	Numero edifici	m ²
Zona A	5217	2327200
Zona B	710079	298025940
Zona C	2737222	1127236450
Zona D	2896204	1355373650
Zona E	5340672	2535572770
Zona F	731009	268555440
Totale	12420403	5587091450

La tabella n.10 rappresenta la situazione del parco immobiliare del settore residenziale, suddivisa per anno di costruzione e zona climatica, nonché per tipologia di stato di conservazione degli edifici. Sul territorio italiano sono presenti circa 435.000 edifici non residenziali appartenenti alle destinazioni d'uso scuole, uffici, centri commerciali, alberghi, come evidenziato nella successiva tabella. La superficie complessiva ammonta a circa 340 mln m², di cui il 37% in zona climatica E, e in generale quasi il 70% in zone temperate o fredde (ISPRA, 2021).

Zona Climatica	Numero edifici non residenziale	m ²
Zona A	148	173490
Zona B	22515	23421687
Zona C	84233	83915666
Zona D	102264	95050723
Zona E	206451	125487887
Zona F	19119	13231516
Totale	434730	341280969

Tabella 11 - Censimento nazionale degli edifici non residenziali analizzati per zona climatica di localizzazione.

Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>

Destinazione d'uso	Consumo elettrico (kWh/m ² annuo)	Consumo termico (kWh/m ² annuo)	Consumo totale (kWh/m ² annuo)
Residenziale monofamiliare	21	124	145
Residenziale plurifamiliare	21	123	144
Scuole	17	89	106
Uffici	111	45	156
Alberghi	110	150	260
Commercio	-	-	448
Pubblica amministrazione	55	143	198
Ospedali	253	385	638

Tabella 12 - Destinazione d'uso e indicatore di consumo medio annuale ponderato per zona climatica.

Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>

A seguito dei dati sopra citati strategico risulta essere un piano nazionale per il *retrofitting* energetico di tali manufatti edilizi; il tasso virtuale di ristrutturazione profonda del parco immobiliare nazionale può essere stimato con riferimento a diverse tipologie di intervento e soluzioni tecnologiche, a partire dai dati dell'accesso alle detrazioni fiscali per gli interventi di efficienza energetica (Ecobonus e Superbonus 110% per interventi sostenuti dopo il 1°Luglio 2020). Le stime sull'*Ecobonus* riportano che nel 2014-2018 sono stati realizzati oltre un milione e settecentomila interventi, di cui oltre 334.000 nel 2018. Tra questi, circa 140.000 richieste riguardavano la sostituzione dei serramenti, 90.000 la sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale e più di 70.000 l'installazione di schermature solari. I risparmi conseguiti nel 2018 sono stati ottenuti grazie alla sostituzione di serramenti per il 33% e alla coibentazione di solai e chiusure verticali per più del 28%, oltre che agli interventi sugli impianti per la climatizzazione invernale. Il tasso virtuale di ristrutturazione profonda annuo del parco immobiliare nazionale, stimato partendo dalla media del risparmio energetico in kWh/m² conseguiti-

to nel 2014-2018 grazie agli interventi relativi al comma 344 dell'E-cobonus (riqualificazione globale), si aggira intorno a 0,26%. Infine con il Decreto Legge 30 aprile 2019, n.34 (D.L. Crescita) si istituisce un contributo in favore dei comuni, nel limite massimo di 500 mln€ per l'anno 2019 a valere sul Fondo Sviluppo e Coesione (FSC) per interventi relativi a investimenti nel campo dell'efficientamento energetico e dello sviluppo territoriale sostenibile. Per tutte le Città metropolitane, gli enti di area vasta, i comuni superiori ai 100.000 abitanti e per le città ad alto inquinamento di PM_{10} e/o biossido di azoto (con popolazione anche inferiore ai 100.000 abitanti) si prevede la redazione obbligatoria del PUMS (Piano Urbano per la Mobilità Sostenibile) dal 2021, prevedendo, inoltre, per i comuni con popolazione superiore ai 50.000 abitanti e attraverso linee guida semplificate, la redazione dei PUMS come requisito obbligatorio per l'accesso ai finanziamenti a partire dal 2025. Nei PUMS si rende necessaria un'armonizzazione delle misure vigenti e intervenienti in ambito di rinnovo del TPL (Trasporto pubblico locale) esistente, mobilità sostenibile e ottimizzazione della gestione del traffico di merci e persone (ISPRA, 2021).

1.6.2 Klimaschutzprogramm 2030

Il governo tedesco ha presentato un piano per il clima da circa 100 miliardi di euro fino al 2030: l'obiettivo principale è la riduzione del 55% delle emissioni di *gas serra* entro i prossimi 10 anni. Tra le varie misure si individuano incentivi per la mobilità sostenibile, per il miglioramento dell'efficienza energetica delle abitazioni e un sistema di tassazione fissa sulle emissioni di anidride carbonica che incoraggi i consumatori a optare per soluzioni meno inquinanti. A beneficiare maggiormente delle nuove tasse sui combustibili fossili saranno i mezzi di spostamento sostenibile basati principalmente su ferro. Si prevede l'introduzione di ingenti tasse su mezzi ad alti livelli di emissione e *bonus* per l'acquisto di auto elettriche, mentre le case automobilistiche tedesche dovranno necessariamente introdurre una quota di *e-car* nella propria produzione. Vi sono anche numerosi incentivi per rendere efficiente l'eventuale ristrutturazione della propria abitazione, in maniera tale da includere, per esempio, un migliore isolamento termico o l'installazione di nuovi sistemi di riscaldamento, con il bando progressivo di quelli a gasolio per edifici costruiti a partire dal 2025. Il piano per il clima prevede inoltre il superamento di alcuni limiti relativi all'installazione di impianti fotovoltaici e la possibilità di acquisire quote di parteci-

pazione finanziarie in nuovi progetti eolici *onshore*, con l'obiettivo di incrementare la quota di energia *green* nella produzione di elettricità nazionale dal 40% al 65% entro il 2030. È stato anche stabilito di abbandonare totalmente il carbone entro il 2038, anche se non è stata ancora programmata la chiusura delle miniere e delle centrali. Infine, come già deciso nel 2011, a seguito degli incidenti ambientali di Fukushima, è prevista la dismissione degli impianti nucleari entro il 2022.



Figura 27 - Assi principali analizzati nel piano energetico tedesco per la riduzione della CO2.

Fonte: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/>

1.6.3 Stratégie française pour l'énergie et le climat

Nel mese di aprile 2019 il Ministero francese per la transizione ecologica ha pubblicato il proprio PNIEC, come richiesto a tutti gli Stati membri dalla Commissione Europea. Il documento riporta la strategia nazionale con cui Parigi mira a raggiungere gli obiettivi UE 2030 in materia di emissioni, rinnovabili ed efficienza energetica secondo due assi strategici principali:

- il percorso di decarbonizzazione (*Stratégie nationale bas-carbone*) per raggiungere l'obiettivo della neutralità carbonica entro il 2050 secondo una produzione energetica completamente proveniente da fonti rinnovabili e da risorse naturali quali la biomassa per la produzione di energia, un dimezzamento dei consumi energetici per i trasporti, la riduzione delle emissioni per i settori industriali e dell'agricoltura e un aumento dei *carbon sink* naturali quali foreste, terreni agricoli e largo uso del legno, nel campo dell'edilizia, per le relative proprietà di *embodied carbon*;
- programma energetico pluriennale della durata di 10 anni che mira a ridurre la quota di energia nucleare al 50% nel 2035, di por-

tare le energie rinnovabili al 33% nel 2030 e tagliare del 40% il consumo di combustibili fossili entro la stessa data. Nel campo dell'energia si mira a raddoppiare la capacità installata di FER elettriche raggiungendo i 113 GW entro il 2028, di questi 34,7 GW saranno impianti di eolico *onshore*. Infine la produzione di *biogas* raggiungerà una percentuale di copertura fino all'8% dei consumi di *gas* al 2028. Il Governo intende anche aumentare la produzione di calore rinnovabile dal 40 al 60% rispetto al 2016, con una produzione compresa tra 218 e 247 TWh nel 2028, ovvero tra il 34% e il 38% dei consumi totali.

Figura 28 - Le 12 missioni iconografiche poste alla base del piano di decarbonizzazione della Francia.

Fonte: <https://www.ecologie.gouv.fr/publication-strategie-francaise-lenergie-et-climat-france-confirme-engagement-vers-societe-neutre-en>

Figura 25 - Assi principali analizzati nel piano energetico tedesco per la riduzione della CO₂.

Fonte: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/>



1.7 Bibliografia

Agenzia per la coesione territoriale (2015), *Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile*.

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia.

European Commission (2016), *EU Reference Scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions Trend to 2050*.

European Commission (2016), *Boosting the potential of Key Enabling Technologies. Addressing Skills Needs in Europe*.

European Commission (2019), *Quadro 2030 per il clima e l'energia*.

European Commission (2019), *The European Green Deal*.

European Commission (2019), *Horizon Europe, Programma di investimenti dell'Unione Europea per la ricerca e l'innovazione (2021-2027)*.

European Commission (2020), *NextGenerationEU, adoption of the EU's long-term budget for 2021-2027*.

European Commission (2021), *Regulation of the European Parliament and of the Council. Establishing a carbon border adjustment mechanism*.

European Commission (2021), *Sistema per lo scambio delle quote di emissione dell'UE (ETS UE)*.

European Commission (2021), *Fit for 55: delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*.

EUROSTAT (2021), *Material flow accounts and resource productivity*.

Figueres, C., et al. (2017), *Three years safeguard our climate*, *Nature*, vol.546, pp. 593-595.

GSE (2020), *Rapporto trimestrale, Aste di quote europee di emissione*.

IEA (2020), *Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2020*.

IEA (2020), *Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage*.

IPCC – Climate Change 2021, *The Physical Science Basis*.

Ministero per lo Sviluppo Economico (2019), *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC)*.

Ministero per lo Sviluppo Economico (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)*.

Ministero per lo Sviluppo Economico (2020), *STREPIN 2020 – Consultazione pubblica sulla Strategia per la riqualificazione energetica del parco immobiliare nazionale*.

UNFCCC (2015), *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, General Assembly.

UNFCCC (2021), *Conference of Parties (COP) - Report Meeting*.

World Green Building Council (2021), *Annual Report 2021*, Fitzrovia, London.

1.8 *Sitografia*

<https://cds.climate.copernicus.eu/>

https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climateaction/law_it#:~:text=Con%20la%20legge%20eu-ropea%20sul,effetto%20serra%20entro%20il%202050.&text=La%20legge%20sul%20clima%20delinea,raggiungere%20l'obiettivo%20del%202050

https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund/ner300_it

https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3661

https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en

https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it

https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_it

<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/key-enabling-technologies>

<https://ukcop26.org/it/gli-obiettivi-della-cop26/>

<https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>

<https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/kyoto-climate-change-conference-december-1997/cop-3>

<https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/bali-climate-change-conference-december-2007/cop-13>

<https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/cancun-climate-change-conference-november-2010/cop-16>

<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-1673578>

https://www.catalyze-group.com/horizon-europe032021/?utm_campaign=Horizon%20Europe&utm_term=Horizon%20Europe%20funding&gclid=CjwKCAjwsNiBhBdEi-wAJK4khvmd5uToyD0ul1Oq30g01jNxorHuqhicKZPmytysLHhCoFeBgsc3xoCAEoQAvD_BwE

<https://www.ecologie.gouv.fr/publication-strategie-francaise-lenergie-et-climat-france-confirme-engagement-vers-societe-neutre-en>

<https://www.footprintnetwork.org/>

<https://www.g20.org/it/a-napoli-il-g20-su-ambiente-clima-ed-energia.html>

<https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf?fbclid=IwAR2dRb7INpnG5pARbuvanAnZo92CqRLTIOAkQlu7CShHz0jMwjMCD_WYNZA

<https://www.minambiente.it/pagina/cop-21-laccordo-di-parigi-31/07/2021>

<https://www.minambiente.it/pagina/cop-23-la-conferenza-di-bonn-31/07/2021>

<https://www.minambiente.it/pagina/la-storia-degli-accordi-internazionali-sulclima-31/07/2021>

https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf

<http://www.ner300.com/>

<https://www.rinnovabili.it/ambiente/politiche-ambientali/pacchetto-fit-for-55-ue/>

<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report/view>

<https://www.urbangreenup.eu/>

ABSTRACT (INGLESE)

The challenges and opportunities outlined in the previous chapter define a broad comparison of international projects and case studies where strategies to mitigate and reduce carbon emissions are adopted. The strategies of redevelopment of the existing building stock, according to deep renovation energy processes, can contribute significantly to the achievement of climate neutrality goals in cities if accompanied by active solutions, such as the introduction of renewable energy sources, efficient cooling and heating systems, and passive bioclimatic solutions, aimed primarily at the containment of energy consumption, often tending, with a targeted use, to negative energy. The case studies analyzed in this chapter define a process of systematic research of a larger cataloging according to a thorough bibliographic research aimed at highlighting, according to a qualitative and quantitative assessment, the specific data of each individual project. The target of reducing climate-altering gas emissions by 55% by 2030 compared to pre-industrial levels to achieve carbon neutrality by 2050 introduce the definition of six strategic axes, the latter aimed at contributing effectively to the achievement of these objectives. The six strategic axes, such as Energy transition, Bio-climate responsiveness, Functional mixitè and proximity, Resources circularity and self-sufficiency, Sustainable mobility, Urban greening, "green" Co2 substraction and storage, are part of the climate change mitigation strategies outlined in the previous chapter. These axes provide answers to the climate challenges posed so far, through an assessment at the scale of the building, starting from individual bioclimatic interventions, in the context of open spaces, in the dimension of the district seen under the experience of citizens, in the urban scale, according to the various land uses and green and blue infrastructure technologies able to increase urban biodiversity, and finally at supra-urban scale in the metropolitan or regional area. For each case study, thematic sheets were created where the main project data, climate data, photographic documentation and intervention strategies are summarized according to the six strategic axes mentioned above, to which qualitative and quantitative parameters were introduced according to a scale of 5 values, in order to highlight the qualities of each project analyzed.

Analisi di strategie e azioni volte alla decarbonizzazione degli *urban district*: elenco dei casi di studio e metodologia di analisi

ABSTRACT

Le sfide e le opportunità delineate nel precedente capitolo definiscono un ampio confronto di progetti e casi studio internazionali ove sono adottate strategie volte a mitigare e ridurre le emissioni di carbonio. Le strategie di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, secondo processi di *deep renovation energy*, possono contribuire significativamente al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica nelle città se accompagnati da soluzioni attive, come l'introduzione di fonti energetiche rinnovabili, impianti di raffrescamento e riscaldamento efficienti, e da soluzioni bioclimatiche passive, volte principalmente al contenimento dei consumi energetici, tendenti spesso, con un uso mirato, al *negative energy*. I casi studio analizzati nel presente capitolo definiscono un processo di ricerca sistematica di una più grande catalogazione secondo una approfondita ricerca bibliografica volta ad evidenziare, secondo una valutazione qualitativa e quantitativa, i dati specifici di ogni singolo progetto. Il *target* di riduzione delle emissioni di *gas* climalteranti del 55% entro il 2030 rispetto i livelli preindustriali per un raggiungimento della neutralità carbonica entro il 2050 introducono la definizione di sei assi strategici, quest'ultimi volti a contribuire fattivamente al raggiungimento di tali obiettivi. I sei assi strategici, quali essere *Energy transition*, *Bio-climate responsiveness*, *Funcional mixité and proximity*, *Resources circularity and self-sufficiency*, *Sustainable mobility*, *Urban greening*, "*green*" *Co2 subtraction and storage*, rientrano nel quadro delle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici enunciati nel precedente capitolo. Tali assi forniscono risposte alle sfide climatiche, fin qui poste, attraverso una valutazione a scala di edificio, partendo da singoli interventi bioclimatici, nell'ambito degli spazi aperti, nella dimensione di distretto visto sotto l'esperienza dei cittadini, nella scala urbana, secondo i vari usi del suolo e di tecnologie *green* e *blue infrastructure* in grado di incrementare la biodiversità urbana, ed infine a scala sovra-urbana nell'ambito di area metropolitana o regionale. Per ogni caso studio sono state realizzate schede tematiche ove sono sintetizzati i principali dati di progetto, i dati climatici, la documentazione fotografica e le strategie di intervento secondo i sei assi strategici sopra menzionati, ai quali sono stati introdotti dei parametri qualitativi e quantitativi secondo una scala di 5 valori, al fine di evidenziare le qualità di ogni singolo progetto analizzato.

2.1 Introduzione alla scelta dei casi studio

In questo capitolo si vuole definire la sezione analitico-valutativa analizzando interventi che abbiano nelle strategie progettuali definito azioni e pratiche volte alla riduzione, sottrazione e stoccaggio di CO₂ dall'atmosfera mediante applicazione di metodologie e soluzioni *grey e green*. La scelta, al fine di costruire un quadro metodologico di riferimento specifico per le tematiche di tale tesi, è ricaduta in progetti localizzati in ambito urbano e periurbano alla scala di città, quartiere, distretto urbano e isolato. L'intento è quello di confrontare ad ampio spettro i progetti, le scelte, le strategie e le azioni adottate dalle amministrazioni locali al fine di mitigare e ridurre le emissioni di carbonio.

I casi di studio sono il processo di una ricerca e raccolta sistematica di un numero molto più ampio di progetti e interventi nel panorama internazionale, indagati secondo una catalogazione degli stessi e una attenta ricerca bibliografica ove sono state incluse pubblicazioni, riviste tematiche, ricerche nazionali e internazionali, basate anche su ricerche sitografiche per alcune parti di specifici progetti non ancora oggetto di pubblicazione.

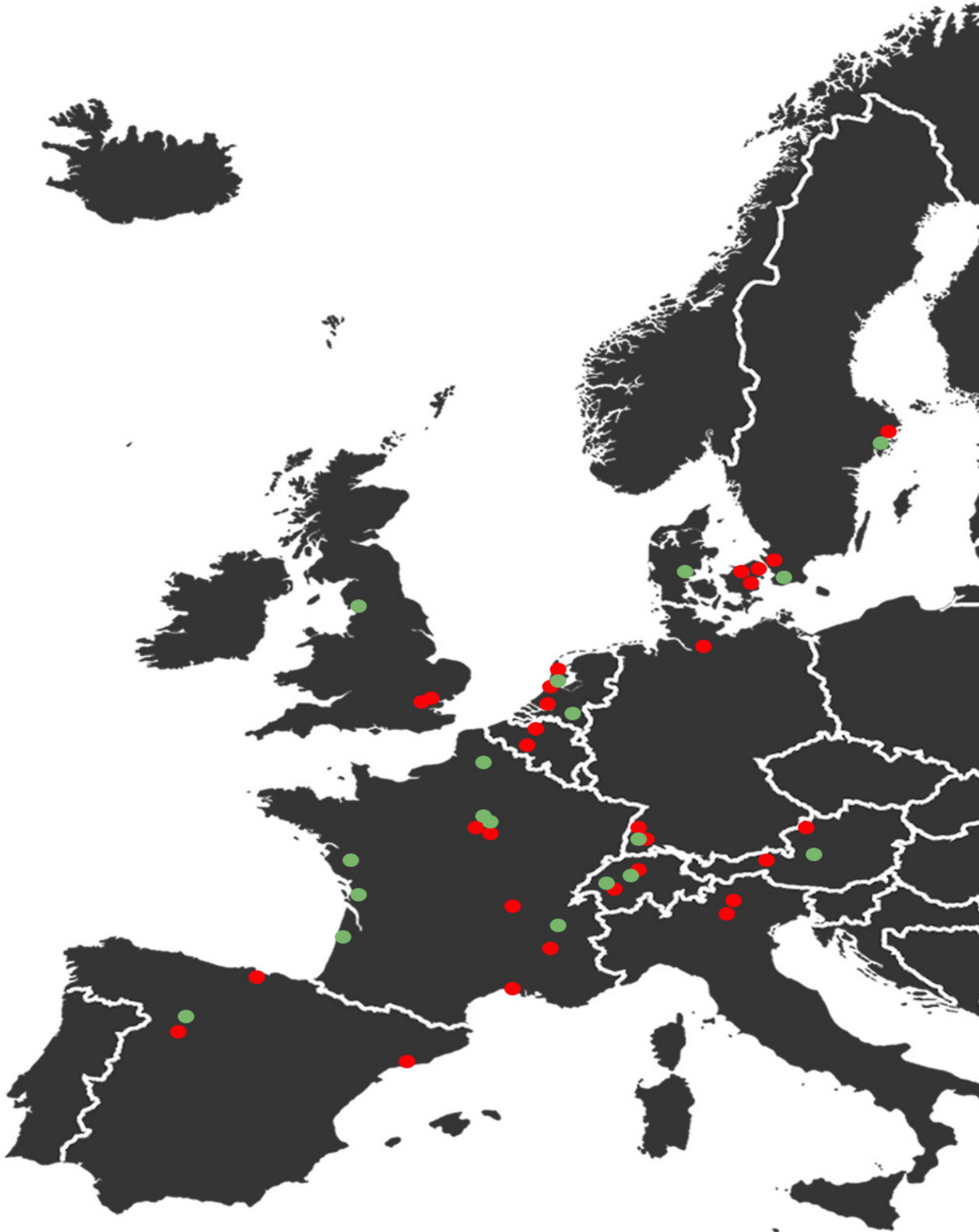
L'analisi, a seguito di una valutazione approfondita, ha portato a considerare in prima istanza 50 progetti riguardanti le tematiche di riduzione e assorbimento della CO₂ dall'atmosfera; una successiva selezione, valutata principalmente attraverso una valutazione qualitativa e quantitativa dei dati specifici forniti da tali progetti, ha portato a considerare particolarmente significativi 20 progetti tra i progetti inizialmente presi in considerazione i quali hanno definito una risposta chiara e quantificabile, anche scientificamente, alla mitigazione e riduzione delle emissioni di carbonio.

Di seguito è riportato l'elenco dei progetti presi in analisi nella prima selezione, in verde sono evidenziati i 20 casi di studio che sono stati poi selezionati in seconda istanza.

Lista dei casi studio (in verde quelli analizzati)

1. **Aspern Seestadt_Vienna**
2. **Clicky Batignolles_Parigi**
3. **La Marine Eco-district_Parigi**
4. **District of La Fleuriaye_Nantes**
5. **Eikenøtt ecodistrict_Gland**
6. **Atlantech Lagord_La Rochelle**
7. **Hammarby_Stoccolma**
8. La Duchere Ecoquartier_Parigi
9. **Helsingborg_(Oceanhamnen)_Malmo**
10. Le Albere_Trento
11. ECO-Life_Kortrijk
12. ECO-Life_Høje-Taastrup
13. **City-Zen_Amsterdam**
14. City-Zen_Grenoble
15. CITYFiED_Laguna de Duero
16. **Ginko district_Bordeaux**
17. Nordhavan_Copenhagen
18. **Grand Parilly district_Vénissieux**
19. Sinfonia_Innsbruck
20. La Confluence_Lione
21. Smartseille Ecodistrict_Marsiglia
22. Circular Buikslotherham_Amsterdam
23. **Deietenbach_Friburgo**
24. Hunziker Areal_Zurich
25. Nieuwe Dokken_Ghent
26. Am Schlierberg_Friburgo
27. **Greencity_Zurich**
28. Zaanstad's Achtersluispolder district
29. Vauban_Friburgo
30. Eco-Viikki_Helsinki
31. BedZed_Londra
32. Bo01_Malmo
33. Orestad_Copenaghen
34. **Virtual City of Zero Energy House_Tomiya City**
35. Sinfonia_Bolzano
36. **Brainport Smart District**
37. ATELIER_ Amsterdam and Bilbao
38. **Urban GreenUp+REMOURBAN_Valladolid**
39. Trinitat Nova_Barcellona
40. **Urban GreenUp_Smirne**
41. Stockholm Royal Seaport_Stoccolma
42. **Urban GreenUp_Liverpool**
43. Sharing city_Linz
44. Gare de Rungis_Parigi
45. **ProjectZero_Sønderborg**
46. Hunziker Areal_Zurigo
47. London Royal Seaport_Londra
48. Green District Hafen City_Amburgo
49. Ruggedised_Rotterdam
50. **Montévrain Eco-District**

Figura 1 - Mappa con censimento





Dopo aver analizzato e censito le principali strategie, *best practise* e risposte in Europa, volte alla complessiva riduzione delle emissioni di CO₂ dall'atmosfera, la scelta dei casi studio è ricaduta nel continente europeo in quanto maggiore è la ricerca, la sperimentazione e l'adozione di politiche ambientali mirate al settore delle costruzioni, in particolare alla riqualificazione di spazi fortemente degradati dal punto di vista ambientale o di aree ad oggi dismesse come quelle industriali, oppure al completamente di un tessuto edilizio in espansione. Una attenta e completa descrizione di ogni singolo caso studio scelto anticipa la scheda di analisi del medesimo progetto costituita da due pagine; nello specifico nella suddetta descrizione si vuole illustrare le strategie di intervento adottate ricadenti e sintetizzate in 6 principali assi strategici¹ quali:

- *Energy transition*: descrizione della autonomia del distretto/quartiere urbano dal punto di vista energetico con analisi delle fonti energetiche rinnovabili impiegate;
- *Bio-climate responsiveness*: descrizione delle principali strategie di architettura bioclimatica passiva adottate negli edifici a destinazione residenziale e non, componenti il caso di studio, quali, ad esempio, serre solari, atrii bioclimatici, *buffer space*, sistemi di ventilazione passiva;
- *Functional mixité*: descrizione delle attività commerciali, sociali, di istruzione e abitative presenti nel progetto, evidenziando i forti connotati di mixité sociale e funzionale che spesso caratterizzano la scelta dei casi studio nella concezione e definizione di "prossimità" dei servizi al cittadino;
- *Resources circularity*: descrizione della circolarità delle risorse secondo il tema acqua, energia, rifiuti e risorse provenienti da scarti di lavorazione e demolizione per la costruzione di tale progetto analizzato;
- *Sustainable mobility*: descrizione delle politiche di mobilità adottate, in particolare quelle pubbliche (tram, bus, *car sharing*) e dolci (*bike sharing*) disincentivando l'uso del mezzo proprio quale autovettura o motociclo.
- *Green and Grey CO₂ Subtraction and Storage Solutions*: descrizione delle strategie in merito alla sottrazione di CO₂ attraverso soluzioni *green* (*urban greening*, forestazione, riforestazione urbana, adozione di metodologie di *green blue infrastructure*) e *grey* (materiali adottati per spazi aperti e facciate degli edifici in grado di assorbire e stoccare carbonio all'interno della struttura atomica del materiale stesso).

1. La metodologia di identificazione di sei assi strategici volti a quantificare, attraverso possibili scenari di riqualificazione, soluzioni per sottrazione, conversione e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera rientra nelle soprannominate ricerche avviate nell'ambito del PRIN 2017 'TECH START - Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy. Convergent innovations in the Open Space/Building Systems for Climate Mitigation', di cui per la Unità Operativa di Roma il Responsabile scientifico è il prof. Fabrizio Tucci.

Tali assi strategici sono poi richiamati ed analizzati nello specifico nella seconda pagina della scheda del caso studio. Entrando nel merito della scheda di analisi, la prima pagina della stessa contiene nella prima parte una planimetria di progetto o una vista o schemi pilota dell'intervento eseguito; a lato seguono i dati identificativi del progetto: la localizzazione, il progettista ed eventuali collaboratori, il coordinatore del progetto, l'area in metri quadri o ettari oggetto di intervento, gli abitanti coinvolti, l'anno di progettazione e gli anni di inizio e di completamento dello stesso. Sulla destra della scheda vi è una parte dedicata alla rappresentazione della localizzazione geografica con specificate latitudine, longitudine, altezza sul livello del mare e la zona climatica identificata tramite il riferimento alle zone climatiche di *Koppen*. In basso è presente una fascia volta ad identificare l'intervento tramite la sua tipologia (puntuale, lineare, diffuso), la scala di intervento (città, distretto urbano, quartiere, isolato) e l'ambito nel quale è stato eseguito il progetto (tessuto residenziale-produttivo, tessuto residenziale-consolidato, tessuto residenziale in trasformazione-completamento).

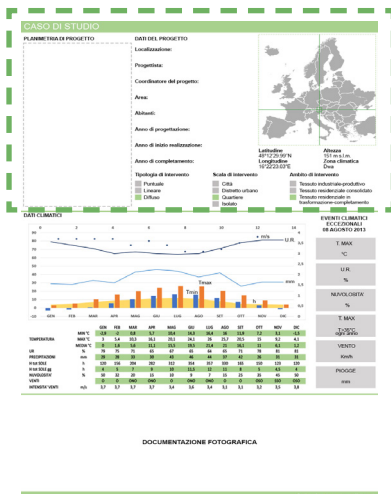
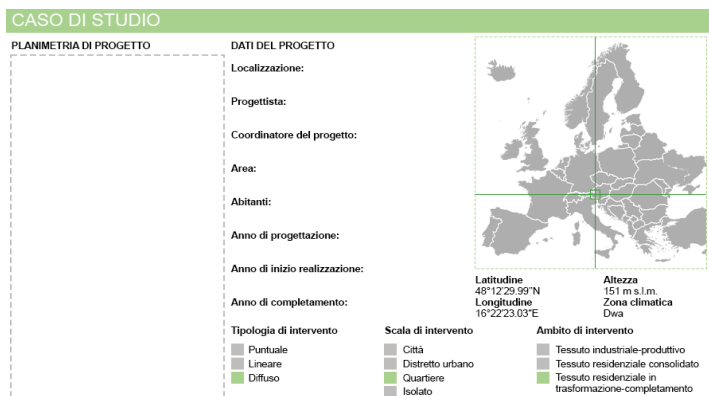
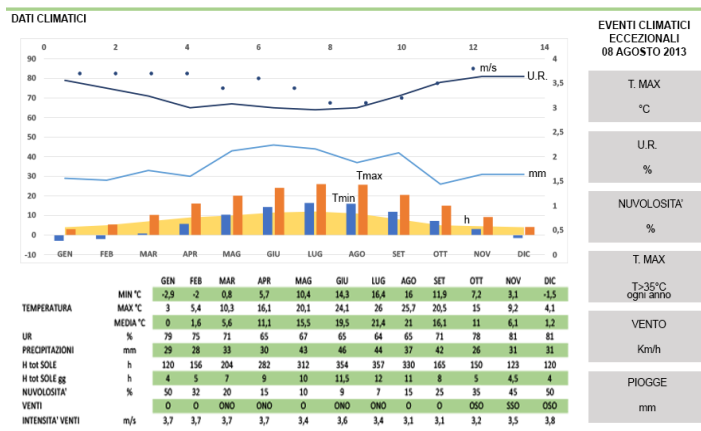


Figura 2 - Zoom sulla prima parte della scheda di analisi.



La seconda parte è invece incentrata ai dati climatici mensili della città dove è localizzato il progetto, nel grafico e nella tabella ad essa sottostante ove sono censite le temperature (°C) massime, minime e medie, l'umidità relativa (%), le ore di sole mensili e giornaliere, le precipitazioni atmosferiche (mm), la nuvolosità (%), la direzione e l'intensità dei venti (m/s). I principali parametri sono sintetizzati in un apposito grafico posto sotto tale tabella. Sulla destra un piccolo specchio evidenzia gli eventi climatici eccezionali, ovvero il gior-

no più caldo negli ultimi decenni che ha colpito la città di riferimento e i dati climatici che l'hanno caratterizzato. Gli eventi eccezionali sono stati scelti considerando le temperature comprese tra il 1991 e il 2018 e consultando alcuni portali ove presentano le serie storiche degli avvenimenti meteorologici avversi, tra i quali il *National Centers for Environmental information* del NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*, "List of weather records" su Wikipedia e le liste "Extreme temperatures around the world" presenti sul sito *mherrera.org*. Segue infine una sezione relativa alla documentazione fotografica significativa del progetto.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

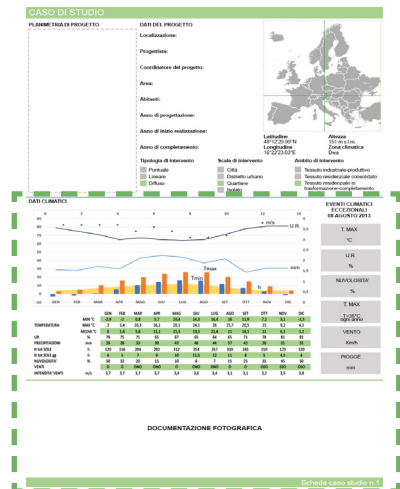


Figura 3 - Zoom sulla seconda parte della scheda di analisi.

CASO DI STUDIO

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione:

Progettista:

Coordinatore del progetto:

Area:

Abitanti:

Anno di progettazione:

Anno di inizio realizzazione:

Anno di completamento:



Latitudine
48°12'29.99"N
Longitudine
16°22'23.03"E

Altezza
151 m s.l.m.
Zona climatica
Dwa

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

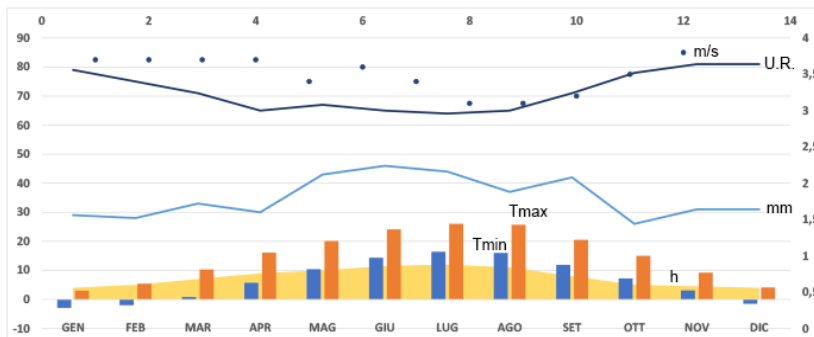
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	-2,9	-2	0,8	5,7	10,4	14,3	16,4	16	11,9	7,2	3,1	-1,5
	MAX °C	3	5,4	10,3	16,1	20,1	24,1	26	25,7	20,5	15	9,2	4,1
	MEDIA °C	0	1,6	5,6	11,1	15,5	19,5	21,4	21	16,1	11	6,1	1,2
UR	%	79	75	71	65	67	65	64	65	71	78	81	81
PRECIPITAZIONI	mm	29	28	33	30	43	46	44	37	42	26	31	31
H tot SOLE	h	120	156	204	282	312	354	357	330	165	150	123	120
H tot SOLE gg	h	4	5	7	9	10	11,5	12	11	8	5	4,5	4
NUVOLOSITA'	%	50	32	20	15	10	9	7	15	25	35	45	50
VENTI		0	0	ONO	ONO	0	ONO	ONO	0	0	OSO	SSO	OSO
INTENSITA' VENTI	m/s	3,7	3,7	3,7	3,7	3,4	3,6	3,4	3,1	3,1	3,2	3,5	3,8

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 08 AGOSTO 2013

T. MAX	°C
U.R.	%
NUVOLOSITA'	%
T. MAX	T>35°C ogni anno
VENTO	Km/h
PIOGGE	mm

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

La seconda pagina della scheda di caso studio analizza e specifica, attraverso l'introduzione di una metodologia iconografica i 6 assi strategici sopra menzionati. Ogni asse strategico presenta le azioni introdotte nel progetto al fine di raggiungere complessivamente un indicatore di *performance*, da me introdotto, per quantificare e valutare le soluzioni adottate, evidenziando, ove necessario, i punti fortemente positivi del progetto che incentivano gli obiettivi di neutralità carbonica dei distretti urbani e periurbani. Tali indicatori introdotti presentano nello specifico singole valutazioni, quantificabili nei parametri "Basso", "Medio-Basso", "Medio", "Medio-Alto", "Alto" così analizzate:

Energy transition: capacità di indipendenza energetica del distretto da fonti energetiche rinnovabili.

Basso: 0-20%, presenza di solare termico;

Medio-Basso: 21-40%, presenza di solare e fotovoltaico;

Medio: 41-60 %, presenza di solare, fotovoltaico e geotermico;

Medio-Alto: 61-80%, presenza di solare, fotovoltaico e geotermico con reti di teleriscaldamento;

Alto: 81-100%, presenza di solare, fotovoltaico e geotermico con reti di teleriscaldamento, centrali a biomasse, capaci di generare un *surplus* energetico per altri scopi.

Bio-climate responsiveness: presenza di dispositivi bioclimatici passivi e di certificazioni energetiche.

Basso: presenza di almeno un dispositivo bioclimatico passivo;

Medio-Basso: presenza di almeno 2 dispositivi bioclimatici passivi;

Medio: presenza di almeno 3 dispositivi bioclimatici passivi;

Medio-Alto: presenza di 4 dispositivi bioclimatici passivi;

Alto: presenza e combinazione di più dispositivi bioclimatici nello stesso involucro con certificazioni energetiche.

Functional mixité: presenza di mixité sociale e funzionale nel distretto.

Basso: distretto urbano destinato a dormitorio;

Medio-Basso: distretto urbano destinato a dormitorio con poche attività commerciali;

Medio: distretto urbano con una buona *mixité* funzionale ma assenza di alcune attività primarie;

Medio-Alto: distretto urbano con elevata presenza di *mixité* funzionale incentrata in ogni singolo edificio pubblico o privato, con adeguamenti architettonici ai piani terra per servizi;

Alto: distretto urbano incentrato sulla *mixité* sociale e funzionale con

combinazione tra di loro di più attività definendo il distretto autonomo, con il raggiungimento di tutti i servizi principali nel raggio di 150m.

Resources Circularity: gestione del ciclo delle risorse in tema Acqua, Energia, Rifiuti.

Basso: scarsa presenza di una gestione del ciclo Acqua, Energia, Rifiuti;

Medio-Basso: gestione efficiente del ciclo dell'acqua;

Medio: gestione efficiente del ciclo dell'acqua e dei rifiuti per edifici residenziali e commerciali;

Medio-Alto: gestione efficiente del ciclo dell'acqua, energia e dei rifiuti, quest'ultimi riutilizzati per *output* energetici;

Alto: gestione efficiente del ciclo dell'acqua, energia e dei rifiuti e degli scarti delle lavorazioni edili per la realizzazione.

Sustainable Mobility: gestione dei trasporti, in percentuale di spostamento della popolazione residente su mezzi pubblici su ferro, gomma e a trazione elettrica.

Basso: 0-20%;

Medio-Basso: 21-40%;

Medio: 41-60%;

Medio-Alto: 61-80%;

Alto: 81-100%.

Green and Grey CO₂ Subtraction and Storage Solution: soluzioni *green* e *grey* per la riduzione della CO₂ nell'atmosfera (imboschimento urbano, spazi verdi, dispositivi bioclimatici e applicazione di materiali innovativi capaci di assorbire CO₂).

Basso: presenza di soluzioni *green* ma con superficie destinata inferiore al 10% dell'area totale del sito;

Medio-Basso: presenza di soluzioni *green* ma con superficie destinata inferiore al 15% dell'area totale del sito;

Medio: presenza di soluzioni *green* ma con superficie destinata inferiore al 30% dell'area totale del sito;


Medio-Alto: presenza di soluzioni *green*, *nature-based* (*rain garden*, *bioswales*) e *grey* per gli involucri dei principali edifici, ma con superficie destinata inferiore al 50% dell'area totale del sito;

Alto: strategie combinate di forestazione e riforestazione urbana attraverso strategie *green*, con superficie destinata superiore al 50% dell'area totale del sito, presenza di dispositivi tecnologici ambientali e soluzioni *grey* come materiali innovativi per gli involucri degli edifici e spazi aperti.


CASO DI STUDIO

STRATEGIE DI INTERVENTO


ENERGY TRANSITION




ALTO
>100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili




Impianto geotermico da 40 Mw



Impianto di teleriscaldamento




Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali




Produzione di un **surplus** energetico destinato alla grid delle colonnine elettriche e alla rete di teleriscaldamento della città di Vienna


BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS




MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi



Schermature solari passive




Atrii bioclimatici




Tutti gli edifici realizzati presentano lo standard energetico **low carbon energy**


FUNCTIONAL MIXITE'




ALTO
Alta presenza di mixité sociale




Smart/Co-working




Co-housing




E-commerce




Sedi d'Istruzione



Social Housing




Studentato




Minimarket di prossimità


RESOURCES CIRCULARITY




ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti




Utilizzo responsabile e circolare delle risorse




Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Recupero scarti lavorazioni edili




Produzione di energia dai rifiuti per teleriscaldamento




Produzione biocompost locale per permacultura


SUSTAINABLE MOBILITY




ALTO
>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile



Linee bus a guida autonoma




Bike sharing




Oltre l'**80%** degli spostamenti pubblici sono eseguiti su ferro e su gomma a trazione elettrica.


GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS




MEDIO-ALTO
Alta presenza di soluzioni tecnologiche green, Media presenza di soluzioni tecnologiche grey




Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Oltre il **50%** della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

Aspern Seestadt Vienna, Austria

Descrizione

Il quartiere, situato nel 22° distretto a Nord-Est della città di Vienna, risulta ad oggi uno dei più grandi progetti di sviluppo urbano d'Europa; è caratterizzato da più fasi e si prevede fino al 2028 la creazione di alloggi di alta qualità residenziale ed energetica per oltre 20000 persone e altrettanti posti di lavoro. Dopo un ampio lavoro preparatorio, nel 2005 è stato avviato un processo suddiviso in due fasi per la redazione di un *masterplan* in un'area posta a Nord-Est della città di Vienna, predisposta come zona di completamento residenziale. Lo studio svedese *Tovatt Architects & Planners* in collaborazione con *N + Objektmanagement* viene incaricato di redigere suddetto piano; nel 2007 il piano generale viene approvato all'unanimità dal Consiglio comunale di Vienna per fungere da concetto di sviluppo urbano e base per tutte le successive misure di pianificazione. Nel 2012 i piani per la sezione nord di *Seestadt* vengono elaborati in sinergia con il *team* di *master planner*, costituendo la base per il piano di uso del suolo e zonizzazione, nonché i piani di sviluppo e di costruzione stradale.

Viene inoltre redatto nello stesso periodo un documento di pianificazione separato per gli spazi pubblici a *Seestadt*; prodotto dalla nota società di consulenza danese di *design* urbano *Gehl Architects*, "*Score for Public Space*" si definisce la strategia di progettazione per gli spazi esterni che giocano un ruolo strategico per il nuovo quartiere. Le strategie di intervento adottate per tale progetto, sono strettamente collegate tra di loro in quanto determinano molteplici benefici in ambito sociale, ambientale ed economico.

Il tema *Energy Transition* è incentrato secondo la concezione di *grid*; un complesso impianto geotermico da 40Mwh fornisce energia per oltre 40000 famiglie, soddisfacendo quindi l'intero quartiere e parte dei quartieri limitrofi di Vienna attraverso il teleriscaldamento. Gli edifici realizzati comunicano tra di loro secondo una fitta rete *wireless* (*BEMS*) ove vengono resi disponibili e in tempo reali i consumi energetici, le richieste energetiche ed eventuali malfunzionamenti,

riducendo drasticamente le emissioni di CO₂. Il *software* intelligente attinge al server di dati analizzati per determinare quali percorsi sta prendendo l'elettricità nella rete a bassa tensione. Queste informazioni possono essere utilizzate per gestire le reti elettriche future in modo più efficiente e garantire che siano compatibili con le energie rinnovabili, i sistemi di accumulo delle batterie domestiche e l'elettromobilità. Inoltre sono presenti impianti fotovoltaici posti alle coperture di ogni edificio residenziale o pubblico per fornire la co-partecipazione energetica rinnovabile del quartiere.

Il tema *Bio-Climate Responsiveness* racchiude tutte le strategie bioclimatiche passive adottate negli edifici a destinazione residenziale o commerciale realizzati nel nuovo quartiere. Tutti manufatti edilizi sono definiti *low carbon energy* e presentano elevati standard energetici per riscaldamento e raffrescamento; sono presenti serre solari, atri bioclimatici e schermature solari passive sulle facciate degli edifici per incrementare il benessere termoisometrico dei fruitori, offrendo quindi una vita urbana flessibile e modulare per le evoluzioni future del quartiere.

Il tema della *Functional Mixité* è in questo progetto espresso ai massimi canoni; il *mix* funzionale di alloggi, spazi di lavoro, servizi con strutture locali, strutture per il tempo libero e per l'istruzione sono alla base della concezione innovativa di tale quartiere. I piani terra di ogni edificio ospitano spazi di vario genere a molteplice destinazione commerciale e non, garantiti da un'altezza minima di soffitto pari a 4 m. Ai livelli più alti degli edifici sono presenti spazi per attività comuni, autogestite, *smart working*, *e-learning*, attività sportive e ricreative, *minimarket* autogestiti, e forme coabitazione come il *social housing* e il *co-housing* etc. La concezione di un quartiere "dei 100 metri" garantisce la presenza di ogni tipo di servizio senza l'utilizzo di mezzi, riducendo fortemente quindi le emissioni di CO₂. Il tema della *Resources Circularity* è garantito da una gestione circolare e completa dei rifiuti; le frazioni differenziate vengono raccolte e indirizzate al vicino centro di trattamento dei rifiuti di *Spittelau*, il quale produce energia per il teleriscaldamento della città di Vienna. Parte della frazione organica inoltre viene impiegata per la produzione di *biocompost* locale e per attività di permacultura. Il ciclo delle acque è garantito dal dispositivo tecnologico ambientale quale essere il *Lakeside Park*, un lago di 50000 mq in quanto regolare le acque piovane provenienti dalle coperture degli edifici e dalle sedi viarie fornendo flusso idrico in periodi siccitosi per l'irrigazione degli spazi aperti e per il rifornimento dei servizi igienici degli edifici.

Bibliografia:

- Reinprecht, C., Dlabaja, C., Stoik, C., Kellner, J., Kisch-Soriano da Silva, K. (2017), *Besiedlungsmonitoring Seestadt Aspern, Wohnbauforschungshefte*, vol.4, pp. 17-23.

- Berger, M. (2018), "Aspern.mobil LAB: Urbanes Mobilitätslabor in der Seestadt Aspern, Wien, Städtenetzwerk, Wien.
Kirchberger, C. (2019), "aspern.mobil LAB. Transformative research on neighborhood level", in *Hauptvortrag: Urban Future global conference 2019, Oslo*.

- Kostka, L. (2020), "Nutzung von stationsbasiertem Lastenradsharing in der Seestadt Aspern", *Abschlussprüfung, Wien*.

- Doris, O., Österreicher, T. (2019), *Large Scale Urban Developments in Austria – Challenges and Opportunities Based on Two Case Study Examples*, *Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 290, pp.12-30.

Sitografia:

- <https://www.aspern-seestadt.at/en>
- https://www.aspern-seestadt.at/en/business_hub/planning_reality/master_plan
- <https://www.tovatt.com/projects/urban-design/wien/>
- <https://new.siemens.com/global/en/company/topic-areas/smart-infrastructure/smart-cities/aspern-seestadt-future-blueprint.html>

Gli scarti derivati dalla realizzazione del quartiere e del lago quantificati in oltre 600000 tonnellate di materiale inerte, è stato impiegato per la realizzazione delle sponde del lago stesso e per la progettazione dei fondi stradali e dei percorsi ciclopeditoni. Ciò ha permesso il riutilizzo in loco di tali risorse, risparmiando sui costi di smaltimento e sulla produzione di CO₂ derivata dall'impiego di mezzi pesanti.

Il tema della mobilità (*Sustainable Mobility*) è fortemente caratterizzato dal concetto espresso in precedenza di *grid*; la rete urbana di bus presenta una capillare linea di bus a guida autonoma, grazie a collaborazioni specifiche per la parte tecnologica con *Siemens*, facendo di *Aspern Seedstadt* il primo eco-quartiere in Europa per mobilità senza conducente. Oggi oltre il 40% della mobilità nel quartiere è effettuata con mezzi pubblici su ferro, grazie alla realizzazione del prolungamento di una linea metropolitana dal centro di Vienna, il 40% in bicicletta o a piedi e il restante 20% in auto o ciclomotore, quasi completamente elettrici, grazie alla presenza di una fitta rete di colonnine.

Riguardo le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) il *Lakeside Park* costituisce il grande polmone verde di *Seestadt*; le strategie di riforestazione urbana, l'integrazione di masse arboree già esistenti e l'adozione di spazi aperti e verdi contribuiscono attivamente alla sottrazione di CO₂ nell'atmosfera, rappresentando oltre il 50% della superficie totale del sito.

ASPERN SEESTADT, VIENNA, AUSTRIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Aspern Seestadt, Vienna, Austria

Progettista: Tovatt Architects & Planners, Gehl Architects, "Score for Public Space"

Coordinatore del progetto: N + Objektmanagement

Area: 240 ha

Abitanti: 20000 ab.

Anno di progettazione: 2005

Anno di inizio realizzazione: 2012

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

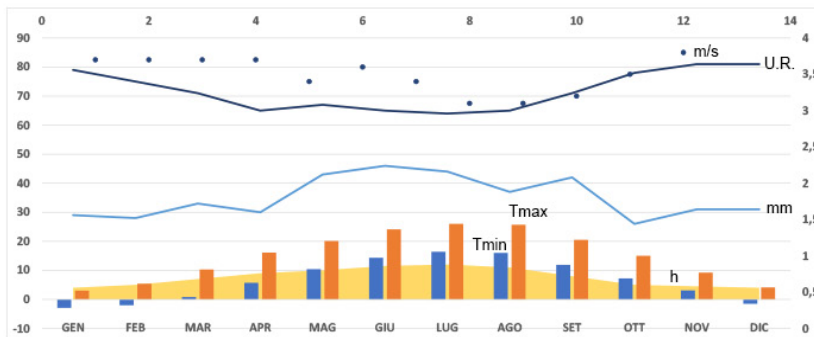
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
48°12'29.99"N
Longitudine
16°22'23.03"E

Altezza
151 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	-2,9	-2	0,8	5,7	10,4	14,3	16,4	16	11,9	7,2	3,1	-1,5
	MAX °C	3	5,4	10,3	16,1	20,1	24,1	26	25,7	20,5	15	9,2	4,1
	MEDIA °C	0	1,6	5,6	11,1	15,5	19,5	21,4	21	16,1	11	6,1	1,2
UR	%	79	75	71	65	67	65	64	65	71	78	81	81
PRECIPITAZIONI	mm	29	28	33	30	43	46	44	37	42	26	31	31
H tot SOLE	h	120	156	204	282	312	354	357	330	165	150	123	120
H tot SOLE gg	h	4	5	7	9	10	11,5	12	11	8	5	4,5	4
NUVOLOSITA'	%	50	32	20	15	10	9	7	15	25	35	45	50
VENTI		0	0	ONO	ONO	0	ONO	ONO	0	0	OSO	SSO	OSO
INTENSITA' VENTI	m/s	3,7	3,7	3,7	3,7	3,4	3,6	3,4	3,1	3,1	3,2	3,5	3,8

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 08 AGOSTO 2013

T. MAX	39,5°C
U.R.	60,2 %
NUVOLOSITA'	50 %
T. MAX	T > 35°C ogni anno
VENTO	32,4 Km/h
PIOGGE	0 mm



Scheda caso studio n. 1

ASPERN SEESTADT, VIENNA, AUSTRIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianto geotermico da 40 Mw



Impianto di teleriscaldamento



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Produzione di un **surplus** energetico destinato alla grid delle colonnine elettriche e alla rete di teleriscaldamento della città di Vienna

ALTO
>100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Torri di ventilazione



Tutti gli edifici realizzati presentano lo standard energetico **low carbon energy**

MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITE'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Sedi d'Istruzione



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



ALTO
Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Recupero scarti lavorazioni edili



Produzione di energia dai rifiuti per teleriscaldamento



Produzione biocompost locale per permacultura



ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a guida autonoma



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



Oltre l'**80%** degli spostamenti pubblici sono eseguiti su ferro e su gomma a trazione elettrica.

ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Presenza di un lago come dispositivo tecnologico-ambientale



Oltre il **50%** della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

MEDIO-ALTO
Alta presenza di soluzioni tecnologiche green, Media presenza di soluzioni tecnologiche grey

Clichy Batignolles Parigi, Francia

Descrizione

Nel cuore di Parigi, questo ambizioso progetto occupa due grandi isolati urbani contigui alla posizione strategica tra la Parigi haussmanniana e la Parigi del XXI secolo dell'eco-distretto *Clichy-Batignolles*, per il quale tale progetto funge da riqualificazione e recupero di un'area con destinazione industriale e ferroviaria. Le principali polarità di questo nuovo quartiere sono gli spazi urbani aperti: la *Square des Batignolles*, i binari del treno e il *Parc Martin Luther King*. Il progetto si basa su importanti assi strategici:

- la creazione di un parco di 10 ettari, il *Martin Luther King Park*, con accessi e percorsi nella continuità della città esistente, che si trova nel cuore del progetto, oltre alle ferrovie e lontano dall'*Avenue de Clichy*. Rappresenta, con le sue estensioni, quasi il 23% del territorio e rafforza il tessuto degli spazi verdi in una zona di Parigi ove manca tale dispositivo tecnologico ambientale.
- la scelta di una vera diversità urbana creando un quartiere cittadino che combini alloggi per famiglie sociali, liberi e a canoni controllati, residenze per studenti e dottorandi, giovani professionisti, anziani non autosufficienti, negozi, strutture pubbliche e uffici.
- realizzare un eco-distretto significa essere una vetrina per lo sviluppo sostenibile con l'implementazione di tecnologie ambientali in particolare in termini di energie rinnovabili, acqua e gestione dei rifiuti.
- il progetto è anche un'opportunità per rafforzare il servizio nei trasporti pubblici in questa parte del 17° distretto (il piano prevede due stazioni della metropolitana linea 14, estesa a *Mairie de Saint-Ouen* per desaturare la linea 13 e l'ampliamento del tram *Maréchaux alla Porte d'Asnières*) e per migliorare i collegamenti tra Parigi e Clichy.

Il tema *Energy Transition* è basato su un impianto di teleraffreddamento *Climaspace* utilizzando refrigeratori elettrici alimentati da fonti energetiche rinnovabili; ciò permette una riduzione del 35% dell'elettricità, un miglioramento del 50% dell'efficienza energetica primaria e una riduzione delle emissioni di carbonio del 50%. Gli edifici pubblici e privati presentano nelle coperture impianti di fotovoltaico che riducono il bilancio ener-

Bibliografia:

- Mairie de Paris (2017), *L'écocartier une référence de développement urbain durable à Paris, Paris Batignolles Aménagement, Parigi.*

- 'Un urbanisme en transition? Le ZAC Clichy-Batignolles' (2020), *werk, bauen + wohnen*, vol. 7, pp. 26–33. Available at: <https://searchebscohost.com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=144737856&lang=it&site=eds-live&scope=site>.

- Maria, M., (2019), 'Testing the New Urbanism Principle of Sustainable Transport in the Contemporary Redevelopment Projects. Lessons from Clichy-Batignolles in Paris and the Station Area in Lodz', *Journal of Urban and Regional Analysis*, 11(1), pp. 35–52. Available at: <https://search-ebscohost-com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.9e609e03ebb44ecd9c5300aaebfbd12a&lang=it&site=eds-live&scope=site>.

Sitografia:

- <https://www.paris-metropole-amenagement.fr/fr/clichy-batignolles-paris-17e>
- <http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr/operation/1785/>
- https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/policies-matters/il-quartiere-ecologico-di-parigi-mette-pratica-la_it
- <https://csis.myclimateservice.eu/node/5200>
- <https://www.construction21.org/city/fr/clichy-batignolles-ecodistrict-paris.html>

getico del distretto; ogni anno producono oltre 2000 GWh di elettricità.

Il tema *Bio-Climatic Responsiveness* presenta avanzati sistemi bioclimatici passivi applicati a edifici pubblici privati come serre, schermature solari passive e una gestione dell'orientamento del manufatto edilizio secondo il percorso solare. Ogni edificio è realizzato per rispettare i parametri di energia primaria imposti dal Comune di Parigi (65 kWh/mq/anno), per il riscaldamento non vengono superati i 15 kWh/mq/anno, l'equivalente di un consumo energetico di una abitazione *Passivhaus*.

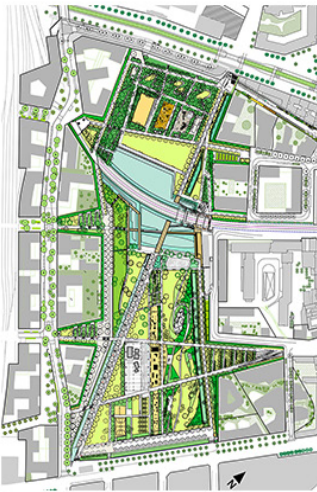
La *Functional mixité and proximity* si traduce in una vasta, articolata e variegata gamma di soluzioni e servizi adattabili e flessibili per soddisfare una ampia gamma di bisogni. Con 3.400 alloggi, il quartiere di *Clichy-Batignolles* contribuisce in modo significativo al garantire un alloggio per ogni fascia economica. La diversità dell'offerta soddisferà molteplici esigenze, soprattutto quei residenti che incontrano maggiori difficoltà per soggiornare a Parigi: anziani fragili, studenti, giovani professionisti, famiglie che necessitano di appartamenti spaziosi, famiglie modeste. Il 20% delle restanti unità ha canoni di locazione controllati e il 30% a prezzo di mercato.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) presenta come asse strategico principale un articolato sistema pneumatico sotterraneo per la gestione dei rifiuti attraverso colonnine presenti in ogni edificio pubblico e privato; in questo processo il ciclo del rifiuto è completamente assolto con *output* che spaziano dalla produzione energetica al riutilizzo nel campo agricolo. Inoltre un sistema efficiente di recupero delle acque stradali attraverso soluzioni *nature-based* e la riduzione delle aree impermeabili, garantiscono una autonomia idrica anche nei periodi dell'anno con scarse precipitazioni atmosferiche.

Il tema della *Sustainable mobility* sostiene e rende autonomo l'ecodistretto; la presenza di fermate della metropolitana, di altre in fase di realizzazione e ultimazione e di un articolato sistema di reti filo tramviarie nonché di servizi per il cittadino di *car sharing* e *bike sharing*, incentivano fortemente la mobilità dolce a discapito dell'utilizzo dell'auto privata, in tale quartiere fortemente disincentivata. Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) sono soddisfatte da ampi spazi verdi che coprono oltre l'80% della superficie complessiva del sito; sono presenti oltre 500 specie arboree e arbustive, autoctone, in grado di fornire benessere termoclimatico nonché una riduzione degli inquinanti presenti nell'atmosfera. Inoltre laghetti artificiali e ampie vasche di fitodepurazione incrementano la biodiversità, riducendo i fenomeni di isola di calore.

CLICHY-BATIGNOLLES, PARIGI, FRANCIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: 17° Distretto, Parigi

Progettista: François Grether e Jacqueline Osty

Coordinatore del progetto: Comune di Parigi

Area: 54 ha

Abitanti: 7500

Anno di progettazione: 2002

Anno di inizio realizzazione: 2004

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

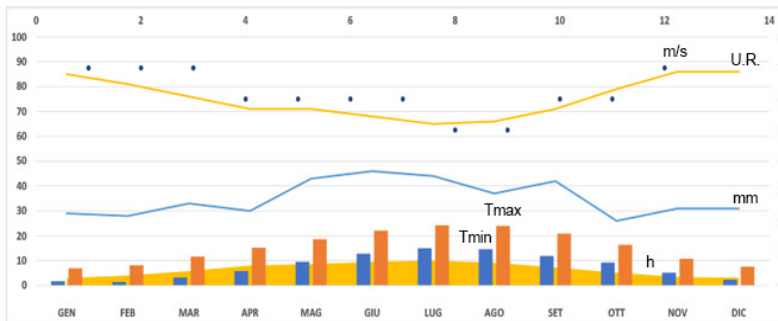
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
48°51'24"N
Longitudine
2°21'07"E

Altezza
78 m s.l.m.
Zona climatica
Dfb

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	1,7	1,4	3,2	5,8	9,5	12,8	15	14,6	11,9	9,2	5,1	2,3
	MAX °C	6,9	8,1	11,6	15,2	18,6	22,1	24,2	24	20,9	16,4	10,7	7,5
	MEDIA °C	4,3	4,6	7,4	10,7	14,3	17,7	19,8	19,4	16,4	12,6	7,9	4,8
UR	%	85	81	76	71	71	68	65	66	71	79	86	86
PRECIPITAZIONI	mm	29	28	33	30	43	46	44	37	42	26	31	31
H tot SOLE	h	87	124	179	240	258	285	310	330	282	158	105	96
H tot SOLE gg	h	2,9	4	5,8	8	8,6	9,5	10	9,1	7,2	5,1	3,4	3,1
NUVOLOSITA'	%	61	44	40	30	31	33	15	12	20	33	49	65
VENTI		SO	SO	NO	NNE	ONO	NO	ONO	OSO	ONO	SO	SSO	SO
INTENSITA' VENTI	m/s	7	7	7	6	6	6	6	5	5	6	6	7

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 25 LUGLIO 2019

T. MAX	42,6°C
U.R.	64,9 %
NUVOLOSITA'	9 %
T. MAX	T>35°C ogni anno
VENTO	27,8 Km/h
PIOGGE	0 mm



CLICHY-BATIGNOLLES, PARIGI, FRANCIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici da 2100 GWh annui.



Impianto di teleraffreddamento



La rete di teleraffreddamento garantisce un risparmio di oltre 25 GWh annui di energia primaria

MEDIO-ALTO

61-80%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Torri di ventilazione



Tutti gli edifici realizzati presentano un consumo di energia primaria inferiore a 50 kWh/mq/a

ALTO

Presenza e combinazione di più dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITÉ



Smart/Co-working e Uffici



Co-housing



E-commerce



Sedi d'istruzione



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



Flessibilità degli spazi



ALTO

Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Produzione di energia per teleraffreddamento



Impianto pneumatico sotterraneo per la gestione del ciclo dei rifiuti



La gestione dei rifiuti mediante impianto pneumatico sotterraneo con colonne di sversamento negli edifici, garantisce una riduzione delle emissioni di carbonio dell'86%



ALTO

Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Presenza di più fermate della rete metropolitana



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



La forte presenza di linee metropolitane e filotramviarie incentiva l'utilizzo della mobilità dolce



ALTO

>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Presenza di dispositivi tecnologico-ambientali (fitodepurazione)



Oltre l'80% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili



ALTO

Presenza di soluzioni green, nature-based e presenza di soluzioni tecnologiche grey come materiali innovativi

Le Marine Eco-District Colombes, Francia

Descrizione

Situato nel nord-ovest di Parigi, nel dipartimento di *Hauts de Seine* e nel comune di *Colombes*, l'eco-distretto di *La Marine* fa parte di uno sviluppo urbano più ampio del suo perimetro che comprende l'arrivo della linea tranviaria T2 estesa tra la *Defence* e *Bezons*, asse strutturante del progetto. L'eco-distretto integra il perimetro della Zona di Rinnovamento Urbano delle *Petit Colombes / Grèves* e copre un ex sedimento industriale precedentemente occupato dalla Marina francese. L'obiettivo era bonificare tale area industriale con la costruzione di un nuovo quartiere sostenibile di 6,7 ettari.

Il progetto è stato concepito alla scala del quartiere limitrofo *Charles de Gaulle*, per tessere un legame urbano e sociale tra l'esistente e il futuro. La fase 1 del progetto ha consentito la costruzione di circa 400 alloggi è stata realizzata tra il 2011 e il 2016. Accanto a tali abitazioni, sono stati costruiti 12000 mq di uffici, 1200 mq di negozi, 6500 mq di residence alberghiero di cui un servizio di ristorazione da 500mq, infine 8500 mq sono stati dedicati al sito di manutenzione e stoccaggio (SMR) della azienda RATP per i tram T2 e T1.

L'obiettivo del comune è quello di "rigenerare una porzione di città" attraverso una struttura stradale portante e un progetto appendice dalle molteplici funzioni; ciò ha permesso, nella fase 1, di firmare congiuntamente una carta dello sviluppo sostenibile per mobilitare tutte le parti interessate coinvolte nell'operazione.

Dal 2017 viene lanciata la fase 2 dello ZAC; mentre la seconda parte di questo nuovo quartiere doveva essere in gran parte basata sugli uffici, lo stato del mercato degli edifici per uffici e della attuale crisi economico-sociale, richiedeva una revisione del progetto preliminare per includere quasi 300 nuove unità abitative e 27 unità di edilizia sociale. Lo spazio destinato all'attività economica si riduce quindi in fase di realizzazione a 2500 mq, posto ai margini del boulevard *Charles De Gaulle*. Il tema *Energy Transition* è basato su una preventiva analisi fluidodinamica in fase di pianificazione dell'eco-quartiere stesso; le coperture degli edifici sono adibite a impianti solari e fotovoltaici che

Bibliografia:

- Rémy, E. et al. (2018), *Le parc des Docks à Saint-Ouen (Seine-Saint-Denis). Entre passé industriel et écologisation du site: quel héritage humain et pédologique?*, In *Situ: Revue de Patrimoines*, 37. doi: 10.4000/insitu.19018.

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/city/fr/la-marine-eco-district.html>
- <http://www.fmpaysage.fr/en/projets/ecoquartier-marine-2/>
- <https://www.leoffdd.fr/fichiersprojets/ecoquartierdelamarine-Ecoquartier%20Marine%202015.pdf>
- <https://www.dezeen.com/2014/09/09/christophe-rousseau-zac-de-la-marine-housing-paris-reflective-balconies/>

forniscono energia ai manufatti edilizi pubblici e privati secondo lo standard energetico francese BBC, il quale garantisce ogni nuovo edificio a basso consumo di energia, con tendenza allo *zero energy*, e in alcuni casi al *positive energy*. È inoltre presente, secondo un attento e studiato *mix* energetico, un impianto geotermico che sostituisce gli impianti termici a carbone che alimentavano i quartieri limitrofi.

Il tema *Bio-Climate Responsiveness* presenta avanzati sistemi bioclimatici passivi su ogni edificio pubblico e privato; le analisi fluidodinamiche eseguite hanno definito la conformazione tipologica di ogni singolo edificio per sfruttarne la ventilazione naturale e l'irraggiamento solare in ogni momento dell'anno. Le strategie bioclimatiche hanno indirizzato i progettisti a realizzare gli edifici con distanze fisse di 26 m.

La *Functional mixité and proximity* ruota secondo un *mix* di attività e pratiche dislocate su tutto il quartiere; strutture pubbliche come un nuovo plesso scolastico, una mediateca di 1.000 mq, una piazza pubblica di 4.000 mq integrata in 7.000 mq di spazi verdi pubblici, giardini condivisi e giardini privati, con la presenza di un'area dedicata per 26 campeggi. La fase 2 della costruzione dell'eco-distretto presenta la pianificazione e realizzazione di quasi 300 nuove unità abitative e 27 di edilizia sociale, con canoni di affitto calmierati per rispondere alle esigenze economico-sociale di parte della popolazione locale.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) presenta un sistema di gestione e smaltimento dei rifiuti in un'ottica di *circular economy* secondo un efficiente impianto sotterraneo pneumatico il quale fornisce materia selezionata per l'impianto a biomasse collegato a una *thermical-grid*. Tale soluzione fornisce ACS a oltre 500 famiglie del quartiere e converte l'autonomia di ulteriori 500 famiglie prima collegata a impianti termici a carbone.

La mobilità (*Sustainable mobility*) è basata su un articolato sistema viario pedonale e ciclopedonale che costituisce oltre l'80% della mobilità del quartiere, affiancata da stazioni della metropolitana e da linee filo tramviarie. È inoltre presente sistema di parcheggi interrati posti sotto gli edifici per un totale di circa 300 posti destinato principalmente a persone con disabilità e carico-scarico merci, nonché di punti di ricarica per le autovetture elettriche.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) sono garantite da oltre il 70% della superficie del progetto a spazi aperti, con soluzioni *nature-based*, e permeabili. Sono inoltre presenti superfici pedonali, negli spazi interstiziali degli edifici, con proprietà di cattura degli inquinanti atmosferici, catturando e assorbendo, tra l'altro, carbonio dall'atmosfera.

LE MARINE ECO-DISTRICT, COLOMBES, FRANCIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Dipartimento di Hauts de Seine, Colombes

Progettista: CODEVAM

Coordinatore del progetto: Società di Sviluppo (SEM) della città di Colombes

Area: 6,7 ha

Abitanti: 1000

Anno di progettazione: 2010

Anno di inizio realizzazione: 2011

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

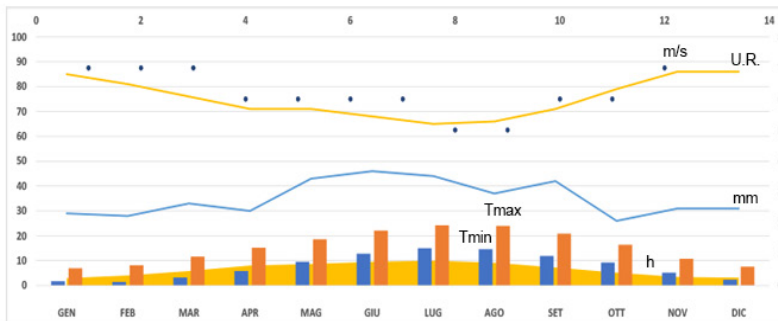
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
48°55'N
Longitudine
2°25'E

Altezza
23 m s.l.m.
Zona climatica
Dfb

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	1,7	1,4	3,2	5,8	9,5	12,8	15	14,6	11,9	9,2	5,1	2,3
	MAX °C	6,9	8,1	11,6	15,2	18,6	22,1	24,2	24	20,9	16,4	10,7	7,5
	MEDIA °C	4,3	4,6	7,4	10,7	14,3	17,7	19,8	19,4	16,4	12,6	7,9	4,8
UR	%	85	81	76	71	71	68	65	66	71	79	86	86
PRECIPITAZIONI	mm	29	28	33	30	43	46	44	37	42	26	31	31
H tot SOLE	h	87	124	179	240	258	285	310	330	282	158	105	96
H tot SOLE gg	h	2,9	4	5,8	8	8,6	9,5	10	9,1	7,2	5,1	3,4	3,1
NUVOLOSITA'	%	61	44	40	30	31	33	15	12	20	33	49	65
VENTI		SO	SO	NO	NNE	ONO	NO	ONO	OSO	ONO	SO	SSO	SO
INTENSITA' VENTI	m/s	7	7	7	6	6	6	6	5	5	6	6	7

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 25 LUGLIO 2019



T. MAX	42,6°C
U.R.	64,9 %
NUVOLOSITA'	9 %
T. MAX	T>35°C ogni anno
VENTO	27,8 Km/h
PIOGGE	0 mm



LE MARINE ECO-DISTRICT, COLOMBES, FRANCIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION

-  Impianti fotovoltaici e termici posti in copertura degli edifici a seguito di attente simulazioni fluidodinamiche
-  Impianto geotermico







La richiesta energetica del quartiere è garantita da fonti energetiche rinnovabili a seguito di specifiche **simulazioni fluidodinamiche**

MEDIO-ALTO

61-80%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS

-  Schermature solari passive
-  Atrii bioclimatici
-  Serre solari
-  Buffer space









Tutti gli edifici realizzati presentano una conformazione di configurazione a seguito di simulazioni fluidodinamiche per essere posti a una distanza di **26 m** tra di loro.

ALTO

Presenza e combinazione di più dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXIT'

-  Smart/Co-working e Uffici
-  Co-housing
-  Flessibilità degli spazi
-  Social Housing
-  Studentato
-  Minimarket di prossimità



MEDIO-ALTO

Elevata presenza di mixitè sociale

RESOURCES CIRCULARITY

-  Gestione circolare delle acque meteoriche
-  Gestione completa del ciclo dei rifiuti
-  Presenza di una rete termica a biomasse
-  Impianto pneumatico sotterraneo per la gestione del ciclo dei rifiuti



La gestione dei rifiuti mediante impianto pneumatico sotterraneo garantisce il trattamento per un **impianto a biomasse** collegato a una rete termica

ALTO

Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY

-  Presenza di più fermate della rete metropolitana
-  Bike sharing
-  Linee filo-tramviarie
-  Car sharing a trazione elettrica








L'**85%** della viabilità presente è destinata alla **mobilità dolce**

ALTO

>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS

-  Gestione circolare del ciclo delle acque
-  Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane
-  Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche
-  Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti
-  Presenza di dispositivi tecnologico-ambientali (fitodepurazione)



Oltre il **70%** della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

ALTO

Presenza di soluzioni green, nature-based e presenza di soluzioni tecnologiche grey come materiali innovativi

URBAN GreenUP + REMOURBAN **Valladolid, Spagna**

Descrizione

URBAN GreenUP è un progetto finanziato nell'ambito del programma *Horizon 2020* dell'Unione Europea, il suo obiettivo è lo sviluppo, l'applicazione e la replica del *Renaturing Urban Plans* in una serie di città *partner* europee ed extraeuropee con l'obiettivo di mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici, migliorare la qualità dell'aria e la gestione dell'acqua, nonché aumentare la sostenibilità delle nostre città attraverso soluzioni *nature-based*. Il primo caso pilota è Valladolid, Spagna, abbinato, per le caratteristiche ambientali, di sostenibilità e miglioramento del patrimonio edilizio, al progetto *REMOURBAN*, un progetto dimostrativo su larga scala, il cui obiettivo è accelerare la trasformazione urbana verso il concetto di città intelligente tenendo conto di tutti gli aspetti della sostenibilità bilanciando i termini di azioni su energia, mobilità e ICT, monitorati e adeguatamente valutati. La dimostrazione di questi due progetti affronta una area geografica coincidente con il cuore storico della città per una superficie di circa 325 ha per il progetto *URBAN GreenUP* e 3,6 ha per il progetto *REMOURBAN*. Gli interventi previsti dal progetto mirano a ridurre il 50% dell'energia consumata e l'80% delle emissioni di CO₂, coinvolgendo attivamente oltre 5.700 cittadini. A tal fine, il consumo del quartiere *target* è stato ridotto del 50% (398 abitazioni, in totale 24.600 mq). Il tema *Energy Transition* è basato sulla ridefinizione delle strategie energetiche basate su una metodologia di ICT e implementazione dello stesso attraverso piattaforme in *cloud*; la sostituzione delle caldaie con altre alimentate a biomasse e l'implementazione del fotovoltaico posto nelle coperture degli edifici e nelle facciate come dispositivo tecnologico integrato, forniscono una autonomia da fonti rinnovabili per circa l'80% del fabbisogno del quartiere. Per il tema *Bio-Climate Responsiveness* sono state adottate strategie di efficientamento energetico nei corpi edilizi intervenendo principalmente sugli involucri ridefinendo gli isolamenti termici e le finiture delle facciate esterne attraverso impiego di materiali innovativi e con capacità di assorbimento di inquinanti. Altri interventi hanno riguardato l'efficientamento dell'illuminazione degli ambienti comuni e

Bibliografia:

- European Commission (2021), *Urban Greenup, Wondering how you can bring nature into your city?* European Union. Doi 10.2777/322126.

- 'Naturaleza y vanguardia en las ciudades: URBAN GreenUP en Valladolid' (2020) Montes, (140), pp. 69-70. Available at: <https://search-ebscohost-com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=143750914&lang=it&site=eds-live&scope=site>.

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/articles/h/the-urban-greenup-catalogue-of-nature-based-solutions-is-now-public.html>
- <https://www.urbangreenup.eu/cities/front-runners/valladolid.kl>
- <https://cordis.europa.eu/project/id/730426/it>
- <https://www.cartif.es/en/urban-greenup-en/>
- <http://es.remourban.eu/>
- <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/smart-cities-and-communities/remourban>
- <https://www.cartif.es/en/remourban-en/>

l'introduzione di atrii bioclimatici per favorire l'illuminazione naturale e il *comfort* ambientale. La *Functional mixité and proximity* è garantita da servizi di vicinato come minimarket di prossimità e forme di alloggio a canoni calmierati per famiglie con basso reddito economico (*social housing e co-housing*) nonché la presenza di alloggi per studentato. Tali servizi sono tra loro legati da ampi spazi aperti e aree ludico-ricreative, attività di supporto, di coinvolgimento e di *city coaching* con un interessamento potenziale per oltre 50000 abitanti. La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) è il fulcro centrale dell'intervento; un avanzato sistema di raccolta differenziata con un impianto di trattamento pioniero in Europa dal 1974, garantisce una selezione del rifiuto e un suo successivo riutilizzo, la frazione organica viene trasformata in biomassa per fungere da combustibile per le caldaie che alimentano l'impianto di teleriscaldamento della città, nonché per la produzione di *biocompost* locale. Un secondo tema strategico riguarda la mobilità (*Sustainable mobility*) in quanto è stato introdotto un piano di investimento per la sostituzione del parco dei mezzi pubblici con alimentazione a gasolio con altri a trazione elettrica; inoltre è stato varato un piano di installazione di colonnine di ricarica per vetture elettriche con l'obbligo per gli esercizi commerciali di fornire il proprio punto di ricarica. Attualmente sono presenti oltre 22 punti di ricarica nell'area oggetto di intervento e sostituiti 45 mezzi pubblici, con un risparmio complessivo per tale strategia, di CO_{2eq} di 57,2 ton/anno. Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* sono state introdotte e in corso di realizzazione secondo il progetto *URBAN GreenUP*, secondo 3 interventi strutturali così descritti:

- Rinaturalizzazione delle aree urbane e periurbane: introduzione di oltre 8 km di percorsi verdi e 7800 mq di pavimentazioni permeabili e verdi con una riduzione di oltre 212 ton CO_{2eq} annue, incremento delle masse arboree con l'intento di ridurre il fenomeno delle isole di calore e degli inquinanti gassosi in atmosfera derivati dai veicoli, con capacità di assorbimento di oltre 29 ton di CO_{2eq} annue;
- Sistemi di drenaggio sostenibile (*SUDS*): dispositivi tecnologici come *rain garden* e *wetland* impiegati in piste ciclabili e parcheggi per captare le acque piovane, ridurre i fenomeni di *runoff* e stoccare tali quantitativi per successive fasi aride di irrigazione degli spazi aperti, con una riduzione di oltre 21 ton di CO_{2eq} annue;
- Interventi infrastrutturali: introduzione di spazi aperti verdi con implementazione di filtri inquinanti posti sulle facciate degli edifici in grado di cattare sostanze inquinanti come Nox e COV, introduzione di pratiche di agricoltura urbana.

URBAN GREENUP + REMOURBAN, VALLADOLID, SPAGNA

VISTE DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Valladolid, Spagna

Progettista: Centro Tecnologico CARTIF + REMOURBAN

Coordinatore del progetto: Amministrazione locale con 25 partner e 9 Paesi coinvolti di cui 3 Extra UE

Area: 325 ha (3,6 intervento REMOURBAN)

Abitanti: 5681 ab.

Anno di progettazione: 2015

Anno di inizio realizzazione: 2016

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

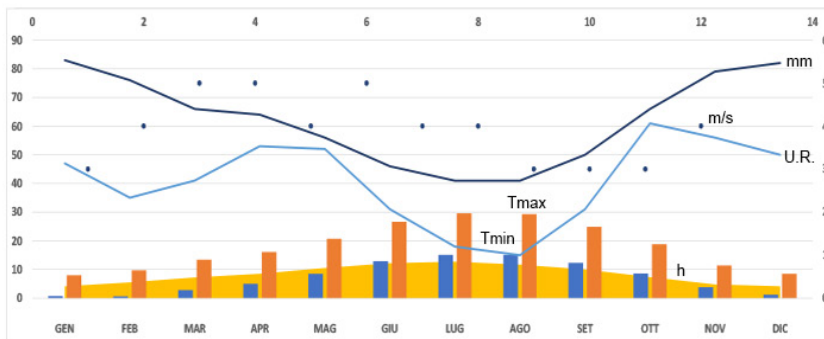
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
41°39'07"N
Longitudine
4°43'42"W

Altezza
698 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
TEMPERATURA	MIN °C	0,7	0,6	2,8	5	8,5	12,9	15,1	15,1	12,3	8,6	3,8	1,2
	MAX °C	8	9,7	13,4	16,1	20,7	26,6	29,6	29,3	24,9	18,8	11,4	8,5
	MEDIA °C	4	4,9	7,9	10,5	14,7	19,9	22,4	22,3	18,5	13,5	7,3	4,5
UR	%	83	76	66	64	56	46	41	41	50	66	79	82
PRECIPITAZIONI	mm	47	35	41	53	52	31	18	15	31	61	56	50
H tot SOLE	h	50	140	210	280	320	355	365	330	240	170	55	45
H tot SOLE gg	h	4,1	5,5	7,2	8,5	10,5	12,2	12,7	11,7	10	7,3	4,8	4,1
NUVOLOSITA'	%	55	49	40	35	33	29	19	11	15	33	50	59
VENTI	OSO	OSO	ONO	NO	0	ONO	0	NO	0	0	0	50	OSO
INTENSITA' VENTI	m/s	3	4	5	5	4	5	4	4	3	3	3	4

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 27 LUGLIO 2020

- T. MAX
39,5°C
- U.R.
68,6%
- NUVOLOSITA'
10 %
- T. MAX
T>37°C
ogni 2 anni
- VENTO
24,1 Km/h
- PIOGGE
0 mm



Scheda caso studio n.4

URBAN GREENUP + REMOURBAN, VALLADOLID, SPAGNA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Monitoraggio energetico su piattaforma ICT



Impianto di teleriscaldamento a biomasse



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



MEDIO-ALTO

80%

Indipendenza energetica da fonti rinnovabili



Monitoraggio energetico basato su piattaforma ICT e implementazione con servizi in cloud

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Miglioramento delle performance energetiche degli involucri



Atrii bioclimatici



Efficientamento energetico dell'illuminazione



MEDIO

Presenza di dispositivi bioclimatici passivi per migliorare le performance energetiche

FUNCTIONAL MIXITÈ



Minimarket di prossimità



Co-housing



Social Housing



Studentato



MEDIO

Discreta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Produzione di energia dai rifiuti per teleriscaldamento



Produzione biocompost locale



MEDIO-ALTO

gestione efficiente della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a trazione elettrica



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



ALTO

>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile



Riduzione di oltre l'87% delle emissioni di Co2 per impiego nel trasporto pubblico di mezzi a trazione elettrica

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Sistemi di drenaggio urbano sostenibile SUDS



Interventi di Riforestazione con capacità carbon sink



ALTO

Alta presenza di soluzioni tecnologiche green e grey



Impiego di materiali innovativi per spazi aperti con capacità di assorbimento inquinanti



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Impiego di materiali innovativi e soluzioni nature based per la riduzione degli inquinanti atmosferici e la mitigazione delle inondazioni fluviali

URBAN GreenUP Smirne (Izmir), Turchia

Descrizione

È una delle città portuali più antiche della storia. Situata su un'ampia baia lungo il Mar Egeo, Izmir ha goduto di essere una porta di accesso al mondo, grazie alla sua posizione favorevole, al crocevia delle civiltà occidentali e orientali. Oggi guida lo sviluppo delle *smart city* in Turchia.

La città presenta una grande varietà di aree storiche e culturali con i suoi beni culturali e naturali, è inoltre il centro della sua regione con la sua infrastruttura moderna e dinamica. L'economia locale è costituita dall'industria manifatturiera e dalla produzione agricola, principalmente nel settore dei servizi in via di sviluppo.

Con la sua grande popolazione e l'area urbana in espansione, la città offre l'opportunità di contribuire alle strategie di rinaturalizzazione europee nel contesto dei problemi sperimentati dal mondo in rapida urbanizzazione.

Il tema *Energy Transition* è basato principalmente su un'incentivazione alla adozione di forme di produzione energetica rinnovabile, mediante impianti fotovoltaici posti sulle coperture di edifici pubblici e privati, con un grande piano di conversione che coinvolge la nazione stessa. Inoltre, ai fini del contenimento e monitoraggio dei consumi energetici, la città presenta una piattaforma *ICT* che integra più di 4000 *device* in città. Questi includono la gestione dei semafori, la densità e il rilevamento del traffico, il monitoraggio dei veicoli di trasporto pubblico, i sistemi di controllo dei parcheggi inclusa la navigazione intelligente nello spazio libero, la gestione della CCTV, le stazioni meteorologiche stradali, il rilevamento delle violazioni del traffico e, ultimo ma non meno importante, la gestione dei segnali stradali variabili e le bacheche informative.

Secondo il tema *Bio-Climate Responsiveness* il progetto di rigenerazione urbana prevede la riqualificazione energetica degli edifici secondo un rifacimento degli involucri edilizi, degli isolanti, delle chiusure verticali, degli impianti di illuminazione, con l'introduzione di dispositivi bioclimatici passivi in grado di contribuire alla ri-

Bibliografia:

- European Commission (2021), *Urban Greenup, Wondering how you can bring nature into your city?* European Union. Doi 10.2777/322126.

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/articles/h/the-urban-greenup-catalogue-of-nature-based-solutions-is-now-public.html>
- <https://www.urbangreenup.eu/cities/front-runners/izmir.kl>

duzione degli alti consumi energetici presenti nei manufatti edilizi di questa storica città.

La *Functional mixitè and proximity* presenta una variegata tipologia di servizi primari e secondari per il cittadino secondo la concezione della "città dei 15 minuti"; sono presenti forme di alloggio per ogni fascia economica e ampie aree destinate a servizi terziari e a uffici nonché numerosi spazi aperti per attività culturali e sociali.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) presenta due assi portanti, il primo i rifiuti, per cui la città ha varato un grande piano di ammodernamento del più antico impianto di trattamento di rifiuti in Europa al fine di migliorare la qualità del rifiuto per un successivo riutilizzo a fini energetici o industriali. Le frazioni organiche trattate alimenteranno i termovalorizzatori presenti nella città che attualmente forniscono energia alla stessa e alle aree limitrofe. Il secondo asse strategico riguarda la gestione idrica attraverso introduzione di bacini naturali per il loro stoccaggio e riutilizzo ai fini della pulizia e irrigazione degli spazi aperti.

Un secondo tema strategico riguarda la mobilità (*Sustainable mobility*), secondo una forte incentivazione all'utilizzo di mezzi pubblici, elettrici (bus, tram, metro) o di mobilità dolce come i servizi di *bike sharing* o *scooter sharing*. Inoltre è stato implementato il servizio marittimo con la costruzione di canali e bacini per il loro transito al fine di collegare capillarmente la città con tale servizio.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* sono concentrate e raggruppate secondo una concezione di rinaturalizzazione, e ripristino delle condizioni ambientali del luogo. L'introduzione di piste ciclopedonali definiscono nuovi corridoi verdi integrati da dispositivi tecnologici ambientali quali *bioswales*, *wetland* e *rain garden* al fine di captare e stoccare le precipitazioni atmosferiche prima del loro arrivo negli impianti fognari. Sono stati introdotti interventi di arboricoltura al fine di integrare e incrementare le masse arboree con alta capacità di cattura di CO₂ (oltre 36 tonnellate di CO_{2eq} annua) e riduzione del fenomeno delle isole di calore. Inoltre viene introdotta la pratica di produzione e utilizzo del *biochar*, soluzione con elevate capacità di stoccaggio del carbonio, per fini agricoli ed educativi attraverso mirati programmi di attività di formazione, informazione e coinvolgimento dei cittadini.

URBAN GREENUP, SMIRNE, TURCHIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Smirne, Turchia

Progettista: Centro Tecnologico CARTIF

Coordinatore del progetto: Amministrazione locale con 25 partner e 9 Paesi coinvolti di cui 3 Extra UE

Area: 500 ha

Abitanti: 50000 ab.

Anno di progettazione: 2015

Anno di inizio realizzazione: 2016

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

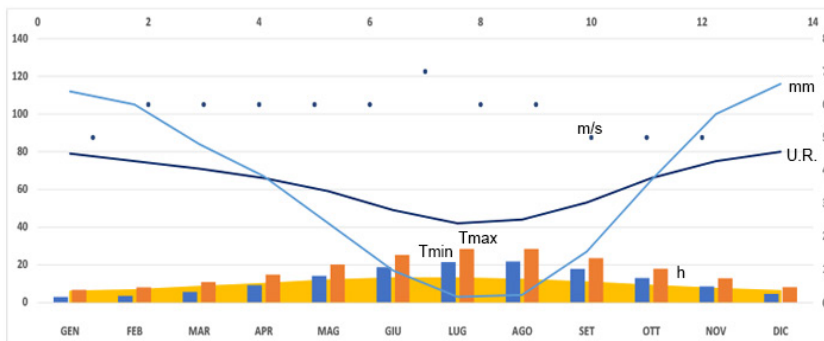
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
38°24'45"N
Longitudine
27°08'18"W

Altezza
30 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA MIN °C	2,9	3,5	5,6	9,2	14,1	18,7	21,4	21,7	17,8	13	8,5	4,5
TEMPERATURA MAX °C	6,7	8	10,8	14,8	20,1	25,2	28,4	28,4	23,5	17,9	12,8	8,1
TEMPERATURA MEDIA °C	11,1	12,7	16	20,3	25,9	31,4	35,3	35,3	29,8	23,5	17,7	12,4
UR %	79	75	71	66	59	49	42	44	53	66	75	80
PRECIPITAZIONI mm	112	105	84	67	42	17	3	4	27	65	100	116
H tot SOLE h	100	120	255	290	360	380	400	370	320	270	225	180
H tot SOLE gg	5,8	6,5	8,3	9,9	11,8	12,8	12,9	12,1	10,7	8,9	7,3	6,1
NUVOLOSITA' %	40	37	25	20	15	3	1	1	5	10	25	42
VENTI	ESE	ESE	ESE	OSO	O	ONO	ONO	ONO	ONO	ONO	ESE	ESE
INTENSITA' VENTI m/s	5	6	6	6	6	6	7	6	6	5	5	5

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 17 MAGGIO 2020

T. MAX	42,5°C
U.R.	54,5%
NUVOLOSITA'	10 %
T. MAX	T>39°C ogni 2 anni
VENTO	8,9 Km/h
PIOGGE	0 mm



URBAN GREENUP, SMIRNE, TURCHIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

<div style="border: 1px solid green; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;">ENERGY TRANSITION</div>			<p>MEDIO 60% Indipendenza energetica da fonti rinnovabili</p>
 Monitoraggio energetico su piattaforma ICT	 Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali	 Monitoraggio energetico basato su piattaforma ICT	
<div style="border: 1px solid green; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;">BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS</div>			<p>MEDIO Presenza di dispositivi bioclimatici passivi per migliorare le performance energetiche</p>
 Miglioramento delle performance energetiche degli involucri	 Atrii bioclimatici	 Efficientamento energetico dell'illuminazione	
<div style="border: 1px solid green; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;">FUNCTIONAL MIXITÈ</div>			<p>MEDIO Discreta presenza di mixité sociale</p>
 Minimarket di prossimità	 Co-housing	 Servizi terziari e uffici	
 Social Housing	 Studentato		
<div style="border: 1px solid green; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;">RESOURCES CIRCULARITY</div>			<p>MEDIO-ALTO gestione efficiente della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti</p>
 Gestione completa delle risorse idriche	 Riciclaggio dei rifiuti e trattamento per successivo riutilizzo	 Produzione di energia da impianti di termovalorizzazione	
<div style="border: 1px solid green; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;">SUSTAINABLE MOBILITY</div>			<p>ALTO >85% sistemi di mobilità pubblica sostenibile</p>
 Linee bus a trazione elettrica	 Bike sharing	 Trasporto marittimo	
 Linee filo-tramviarie	 Car sharing a trazione elettrica		
<div style="border: 1px solid green; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;">GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS</div>			<p>ALTO Alta presenza di soluzioni tecnologiche green e grey</p>
 Sistemi di drenaggio urbano sostenibile SUDS	 Produzione e utilizzo di biochar	 Impiego di materiali innovativi per spazi aperti con capacità di assorbimento inquinanti	
 Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti	 Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche	 Adozione di soluzioni nature based per la riduzione, cattura ed assorbimento degli inquinanti atmosferici, mitigando i fenomeni di runoff	

URBAN GreenUP Liverpool, Gran Bretagna

Descrizione

Liverpool è una città dell'Inghilterra con circa 500.000 abitanti, si trova nella parte nord-occidentale del paese, sull'estuario del fiume Mersey. Il clima è temperato marittimo, con estati miti e inverni freddi, è caratterizzata da una varietà di stili architettonici ed è una delle città più visitate del Regno Unito. Nel 2008 è stata nominata Capitale Europea della Cultura annuale. La città era uno dei principali centri commerciali mondiali alla fine del 19 ° secolo, dopo aver sofferto per la significativa riduzione della popolazione e il declino economico nella seconda metà del secolo scorso, ha ripreso a crescere a metà degli anni '90. Oggi l'economia locale si basa sulle industrie del settore dei servizi ed è una delle più grandi del Regno Unito.

La città sostiene numerose iniziative volte a sviluppare e realizzare infrastrutture verdi volte a rinnovare i piani urbani. In questo spirito, Liverpool aderisce a *URBAN GreenUP* seguendo la "Strategia per le infrastrutture verdi di *Liverpool City*". L'obiettivo è affrontare problemi urbani specifici, come la scarsa connettività per pedoni e ciclisti tra le diverse parti della città, migliorare l'ambiente del centro città e dei manufatti edilizi esistenti e nuovi rispettando i nuovi parametri energetici, ridurre le inondazioni e migliorare la biodiversità.

Il tema *Energy Transition* si caratterizza per una triplice adduzione da fonti energetiche rinnovabili quali fotovoltaico posto nelle coperture degli edifici pubblici e privati, impianti eolici nel *Waterfront* della città e impianti idroelettrici posti nell'estuario del Mersey con una copertura energetica superiore al 60%.

Il tema del *Bio-Climate Responsiveness* è caratterizzato da un miglioramento delle *performance* energetiche degli involucri edilizi nuovi ed esistenti con la tendenza di progettare edifici a basse emissioni di carbonio e relativi consumi energetici in raffrescamento e riscaldamento. La città inoltre ha varato un piano generale di riqualificazione energetica dell'illuminazione pubblica volta a ridurre drasticamente i consumi energetici.

La *Functional mixitè and proximity* della città è variegata e pluriforme,

Bibliografia:

- European Commission (2021), *Urban Greenup, Wondering how you can bring nature into your city?* European Union. Doi 10.2777/322126.

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/articles/h/the-urban-greenup-catalogue-of-nature-based-solutions-is-now-public.html>
- <https://www.urbangreenup.eu/cities/front-runners/liverpool.kl>
- <https://www.merseyforest.org.uk/our-work/urban-greenup/>

vi sono ampi distretti e quartieri destinati a servizi terziari e uffici, altri sono invece destinati ad alloggi sociali con canoni differenziati per fasce economiche ove il dipartimento dedicato propone e incentiva, anche economicamente, forme di *co-housing* e *social housing*.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) presenta valori oltre il 95% dell'uso e riutilizzo dei rifiuti, la frazione organica viene impiegata per la produzione di *biogas*, la raccolta di olio esausto per la produzione di biocarburante per autotrazione. La città inoltre presenta un capillare sistema di gestione delle acque meteoriche al fine di recupero per irrigazione degli spazi aperti e delle piazze.

La mobilità (*Sustainable mobility*) della città è caratterizzata da un grande investimento dell'amministrazione, volta ad ammodernare il parco mezzi acquistandone di nuovi a trazione elettrica e *mild hybrid*, una implementazione delle colonnine di ricarica per veicoli elettrici e dei servizi di *car sharing* e *bike sharing* nonché forme economiche sottoforma di incentivo per l'acquisto di veicoli elettrici. Liverpool si è classificata al secondo posto come sistema di trasporto più sostenibile del Regno Unito, con un punteggio particolarmente alto in particolare per la sua flotta di autobus ecologici. A livello nazionale la Gran Bretagna, nel corso della *COP26*, ha annunciato un piano industriale risolto alle case costruttrici su suolo inglese, con lo scopo di produrre solo auto a trazione elettrica a partire dal 2035.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* si basano su precisi assi strategici volti a rinaturalizzare le aree urbane e periurbane fortemente degradate dal periodo di industrializzazione dei primi anni del 900', attraverso un processo di piantumazione di nuove masse arboree, la costituzione di nuove ciclopedonali e di costituire aree verdi con funzione *carbon sink* con una previsione di riduzione delle emissioni di CO_{2eq} per oltre 480 tonnellate annue. Un secondo asse riguarda interventi idrici per il drenaggio, recupero e stoccaggio delle acque piovane riducendo i fenomeni di *run off* in città; inoltre sistemi di mitigazione ambientali (*rain garden, wetland*, infrastrutture *green* orizzontali e verticali) sono rivolti contro i fenomeni alluvionali che colpiscono con maggiore frequenza la città negli ultimi 15 anni. Infine interventi di natura non strutturale verteranno sulla attività educativa, di formazione e informazione, mediante 250 volontari, 15000 cittadini e 500 studenti al fine di avere una maggiore consapevolezza della biodiversità locale e degli effetti dei cambiamenti climatici che essi apportano alla città stessa.

URBAN GREENUP, LIVERPOOL, GRAN BRETAGNA

VISTE DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Liverpool, Gran Bretagna

Progettista: Centro Tecnologico CARTIF

Coordinatore del progetto: Amministrazione locale con 25 partner e 9 Paesi coinvolti di cui 3 Extra UE

Area: 770 ha

Abitanti: 500000 ab.

Anno di progettazione: 2015

Anno di inizio realizzazione: 2016

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

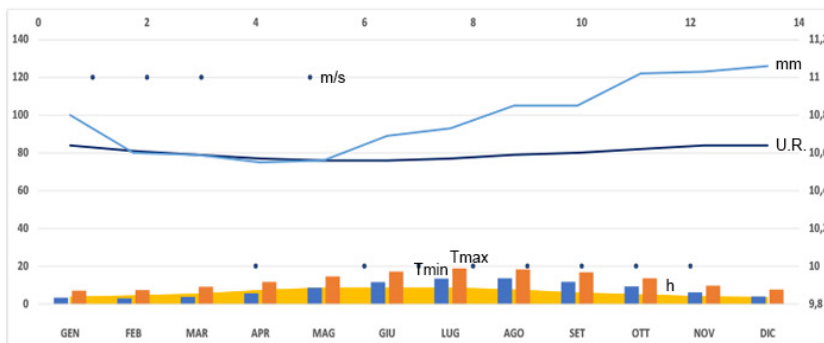
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
53°25'N
Longitudine
3°06'W

Altezza
70 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	3,3	2,9	3,7	5,6	8,6	11,5	13,4	13,5	11,7	9,2	6,1	3,9
	MAX °C	7	7,3	9,1	11,6	14,6	17,1	18,8	18,3	16,7	13,5	9,7	7,6
	MEDIA °C	5,2	5,1	6,4	8,6	11,7	14,4	16,1	15,9	14,2	11,3	7,9	5,8
UR	%	84	81	79	77	76	76	77	79	80	82	84	84
PRECIPITAZIONI	mm	100	80	79	75	76	89	93	105	105	122	123	126
H tot SOLE	h	110	120	170	220	260	265	260	230	170	155	120	105
H tot SOLE gg	h	3,7	4,4	5,3	7,2	8,6	8,6	8,6	7,5	5,9	4,9	3,9	3,5
NUVOLOSITA'	%	55	50	49	45	35	33	32	20	29	34	49	59
VENTI		50	50	050	0	0	0	0	0	050	50	50	50
INTENSITA' VENTI	m/s	11	11	11	10	11	10	10	10	10	10	10	10

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 19 LUGLIO 2021

T. MAX	38°C
U.R.	94%
NUVOLOSITA'	10 %
T. MAX	T>35°C ogni 3 anni
VENTO	14,8 Km/h
PIOGGE	0 mm



Scheda caso studio n.6

URBAN GREENUP, LIVERPOOL, GRAN BRETAGNA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Primo impiego di turbine eoliche più grandi del mondo



Impianto idroelettrico nell'estuario del Mersey



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



MEDIO

60%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Miglioramento delle performance energetiche degli involucri



Nuovi edifici in costruzione con elevati standard energetici



Efficientamento energetico dell'illuminazione pubblica



MEDIO

Presenza di dispositivi bioclimatici passivi per migliorare le performance energetiche

FUNCTIONAL MIXITÈ



Minimarket di prossimità



Co-housing



Servizi terziari e uffici



Social Housing



Studentato



E-commerce



Sedi d'Istruzione



ALTO

Alta presenza di mixitè sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Gestione completa delle risorse idriche



Riciclaggio dei rifiuti e trattamento per successivo riutilizzo



Rifiuti alimentari per la produzione di biogas e biocarburanti



MEDIO-ALTO

gestione efficiente della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a trazione elettrica/ibrida



Bike sharing



Linee filo-metro-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



ALTO

>90%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Sistemi di drenaggio urbano sostenibile SUDS



Gestione dei fenomeni alluvionali mediantei wetland



Impiego di materiali innovativi per spazi aperti con capacità di assorbimento inquinanti



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Adozione di soluzioni nature based per la riduzione, cattura ed assorbimento degli inquinanti atmosferici, mitigando i fenomeni alluvionali



ALTO

Alta presenza di soluzioni tecnologiche green e grey

PROJECTZERO Sønderborg, Danimarca

Descrizione

La municipalità di Sønderborg, con il suo territorio di 500 km², è situata sul Mar Baltico nel sud della Danimarca, vicino al confine danese/tedesco. Presenta una ricca storia che include molti antichi castelli e la battaglia del 1864 tra Danimarca e Prussia/Austria ebbe luogo appena fuori dal centro della città. Sønderborg è oggi la città natale di aziende danesi *leader* nel settore della tecnologia ad alta efficienza energetica come Danfoss e Linak. Il comune di Sønderborg mira a diventare *carbon neutral* entro il 2029, e per raggiungere questo ambizioso obiettivo, sta guidando un'ambiziosa partecipazione delle parti interessate tra cui cittadini, aziende, società di servizi pubblici, scuole, università etc. sulla base di politiche, pianificazione integrata, soluzioni e partecipazione della società pubblica e privata. Il progetto *ProjectZero* di Sønderborg è incentrato sulla geografia comunale che comprende quasi 500 km² di aree urbane e rurali con una popolazione di circa 76000 abitanti.

Il tema *Energy Transition* presenta un piano infrastrutturale basato sulla integrazione di un piano energetico di fotovoltaico posto sulle facciate degli edifici e su impianti puntuali di pompe di calore alimentate dal fotovoltaico stesso, che sostituiscono i bruciatori a petrolio, e da impianti eolici *onshore* con potenza complessiva di oltre 150MW. Inoltre sono presenti 5 reti di teleriscaldamento alimentate dalle acque provenienti dagli impianti di depurazione riscaldata da pompe di calore in loco. Tali strategie permetteranno entro il 2029 di alimentare completamente la città con fonti energetiche rinnovabili. Il tema del *Bio-Climate Responsiveness* si basa su un profondo *retrofitting* energetico degli edifici pubblici e privati; sono previsti interventi di efficientamento energetico, di miglioramento degli involucri edilizi con introduzione di sistemi bioclimatici passivi, principalmente serre solari e schermature solari passive, nonché un miglioramento energetico degli impianti di illuminazione pubblici e privati. Sono presenti incentivi economici al fine di eseguire interventi di riqualificazione energetica per proprietà di immobili

Bibliografia:

- Ministry of Housing, Urban and Rural Affairs (2014), *Green Urban Denmark*, Danish Energy Agency, Copenhagen.

- Dyer, M., Ogmundardottir, H. (2017), *Transition of Vaxjo and Sønderborg towards becoming fossil-fuel-free communities*, Energy, vol. 171, pag. 3-11, doi <https://doi.org/10.1680/jener.17.00004>.

Sitografia:

- <https://www.projectzero.dk/>
- <https://urbact.eu/sonderborg>

o di condomini e forme di informazione e formazione volte alla riduzione dei consumi energetici a 1000 Kwh/annue mettendo a disposizione delle famiglie una app dedicata ove controllare i propri consumi attuali. Tali strategie hanno permesso al 2020 di ridurre il fabbisogno della città del 43% rispetto i valori del 2007.

La *Functional mixitè and proximity* è garantita da una disponibilità di servizi primari e secondari ed alloggi completamente collegati tra di loro strategicamente. Sønderborg presenta circa 35.000 case, di cui 18.600 sono di proprietà privata, 10.000 sono di proprietà comunale che concede ad affitti concordati e calmierati alle diverse fasce economiche dei richiedenti, ulteriori 6.000 appartamenti sono invece destinati a forme di *social housing* e *co-housing*. Sono presenti ampi spazi aperti e piazze ove si svolgono spettacoli tutto l'anno, quest'ultime situate principalmente lungo il *waterfront* della città. La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) si basa su un recupero completo dei rifiuti la cui frazione organica trova impiego come *biocompost* e come biomassa per alimentare termovalizzatori che forniscono energia alle pompe di calore per le reti di teleriscaldamento. Il ciclo delle acque presenta un impianto innovativo di trattamento dei reflui fognari per il trattamento e purificazione dell'acqua per un secondo riutilizzo; i fanghi esausti fungono da combustibile per la produzione di *biogas* che contribuisce all'alimentazione delle pompe di calore per le reti di teleriscaldamento. Inoltre la produzione del *biogas* viene garantita dalla lavorazione del letame in quanto il 50% dell'area è destinata a impianti di allevamento ed agricoli.

La mobilità (*Sustainable mobility*) è esclusivamente basata su mezzi pubblici a trazione elettrica o *mild hybrid*, sono presenti 5 linee tramviarie e attive nuove forme di *car sharing* e *bike sharing* trazione elettrica, incentivate da forme economiche per il loro utilizzo, nonché di mirati incentivi per l'acquisto, per ogni nucleo familiare, di una vettura elettrica.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* sono incentrate nella gestione degli spazi aperti, in progetti di rimboschimento urbano, nella produzione di *compost* naturale e nella lavorazione del letame per la produzione di *biogas*; ciò contribuisce alla drastica riduzione delle emissioni di carbonio nell'atmosfera.

PROJECTZERO, Sønderborg, DANIMARCA

VISTA DALL'ALTO DELL'AREA



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: 6400 Sønderborg, Denmark

Progettista: Sønderborg municipality - The City Council

Coordinatore del progetto: NIRAS

Area: 50000 ha

Abitanti: 20000 ab.

Anno di progettazione: 2006

Anno di inizio realizzazione: 2007

Anno di completamento: in corso



Latitudine
54°55'N
Longitudine
9°47'E

Altezza
17 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

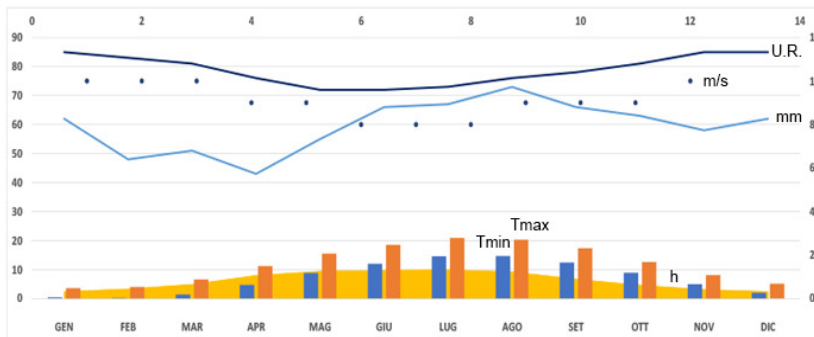
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
MIN °C	0,4	0,2	1,4	4,7	8,8	12	14,6	14,7	12,4	8,9	5	2
MAX °C	3,6	4	6,6	11,2	15,5	18,5	20,9	20,3	17,3	12,6	8,1	5,1
MEDIA °C	2,1	2	3,9	7,8	12,2	15,3	17,8	17,5	14,7	10,7	6,6	3,6
UR %	85	83	81	76	72	72	73	76	78	81	85	85
PRECIPITAZIONI mm	62	48	51	43	55	66	67	73	66	63	58	62
H tot SOLE h	70	90	150	240	290	285	310	280	200	145	90	70
H tot SOLE gg h	2,4	3,3	4,9	8	9,4	9,7	9,9	9,2	6,7	4,6	3,1	2,4
NUVOLOSITA' %	67	65	49	33	30	28	25	19	33	44	60	68
VENTI SSO OSO ONO	SSO	S	OSO	ONO	ONO	O	OSO	SO	SO	S	S	SSO
INTENSITA' VENTI m/s	10	10	10	9	9	8	8	8	9	9	9	10

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 30 MAGGIO 2018

T. MAX	29,3°C
U.R.	88 %
NUVOLOSITA'	40 %
T. MAX	T _{>30°C} ogni 4 anni
VENTO	29,6 Km/h
PIOGGE	0 mm



PROJECTZERO, SØNDERBORG, DANIMARCA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Pompe di calore alimentate da fotovoltaico



Impianto di teleriscaldamento



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Impianto eolico onshore da oltre 150 MW



Entro il 2029 la città sarà alimentata da fonti energetiche rinnovabili che copriranno il 57% del consumo energetico odierno, il restante 43% è stato raggiunto nel 2020 grazie a un efficientamento energetico degli edifici.

ALTO

70%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Miglioramento delle performance energetiche degli involucri



Nuovi edifici in costruzione con elevati standard energetici



Schermature solari passive



Efficientamento energetico dell'illuminazione pubblica



Serre solari

MEDIO-ALTO

Media presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITE'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Sedi d'istruzione



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



ALTO

Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Impianto di trattamento delle acque grigie con produzione di biogas dai fanghi esausti che alimenta parte della rete di teleriscaldamento



ALTO

Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti



Produzione di energia dai rifiuti per teleriscaldamento



Produzione biocompost per attività locali

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a trazione elettrica



Bike sharing



Incentivo all'acquisto di vetture elettriche per ogni famiglia



Car sharing a trazione elettrica



Oltre il 95% degli abitanti utilizza mezzi pubblici o forme di mobilità dolce

ALTO

>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Oltre il 50% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

MEDIO-ALTO

Alta presenza di soluzioni tecnologiche green. Media presenza di soluzioni tecnologiche grey

Dietenbach Eco District Friburgo, Germania

Descrizione

Friburgo ha sperimentato negli ultimi 30 anni una crescita demografica particolarmente significativa e del tutto sorprendente se confrontata con gli *standard* odierni delle altre città europee. Basti pensare che da una popolazione di 180.000 persone nel 1990, si contano oggi invece 230.000 abitanti. Oltre alla posizione geografica particolarmente favorevole, l'aumento demografico della città di Friburgo risiede nell'alta qualità di vita che questa città può offrire a chi decide di trasferirsi.

Questo successo però si è presto trasformato in un potenziale problema in quanto sono aumentati esponenzialmente i prezzi di acquisto e affitto degli alloggi. La città ha per molti anni seguito senza eccezioni la regola dello "sviluppo interno, prima dello sviluppo esterno". Questo significa che per evitare il fenomeno dell'*urban sprawl* e mantenere lo *status* di "città dalle brevi distanze" si è sempre costruito internamente alla città, riutilizzando gli spazi, invece di espandersi verso l'esterno. Tuttavia, il limite di questa visione sembra essersi saturato negli ultimi anni.

Così dopo i risultati del *referendum* del 2019, che si sono dimostrati a favore del progetto, sono iniziati i lavori di costruzione del nuovo eco-quartiere *Dietenbach*, quartiere che per la prima volta sorgerà fuori da quella che fino ad oggi era stata considerata l'area urbana di Friburgo.

L'*Energy Transition* si basa su una produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici posti sulle coperture degli edifici residenziali e da impianti solari per la produzione di ACS posti sulle coperture degli edifici commerciali; tale soluzione permette inoltre di contribuire ad alimentare una rete di teleriscaldamento che collega il distretto con la vicina città di Friburgo. Le restanti forme di alimentazione della rete sono il ricircolo delle acque grigie preventivamente trattate e depurate e da pompe di calore alimentate dagli impianti fotovoltaici. Al completamento della realizzazione, prevista per il 2030, diventerà il primo distretto della Germania a impatto climatico zero.

Bibliografia:

- LAMPE, M. (2021), ‘Stadtteil Dietenbach: Der Weg Zum Leuchtturmprojekt’, *Immobilien & Finanzierung*, 72(7), pp. 20–21. Available at: [https://search-ebscohost-com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=151086829&lang=it&site=eds-live&scope=site](https://search.ebscohost-com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=151086829&lang=it&site=eds-live&scope=site).

Sitografia:

- <https://www.freiburg.de/pb/,Lde/495838.html>
- <https://www.themayor.eu/en/a/view/dietenbach-the-new-eco-district-in-freiburg-2306>
- <https://www.ecca2019.eu/planned-eco-district-triggers-public-debate-in-green-city-freiburg/>
- <https://www.renewableenergymagazine.com/panorama/new-ecodistrict-in-freiburg-receives-green-light-20190227>
- <https://www.c-track50.eu/node/154>

Gli edifici residenziali, quantificati al termine del progetto in oltre 6900 alloggi, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness* verranno concepiti secondo ridotti fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento grazie alla integrazione, nel processo progettuale, di soluzioni bioclimatiche passive quali serre solari, schermature solari passive, atrii bioclimatici. Completano gli elevati *standard* energetici un elevato *comfort* abitativo derivato da involucri altamente performanti.

La *Functional mixité and proximity* risulta essere il punto di forza del distretto; le attività agricole e di allevamento, poste ai confini dell'intervento stesso, trovano attività commerciali ai piani terra degli edifici residenziali con un *mix* di attività primarie e secondarie come poli sportivi, culturali e di socialità. La conformazione del progetto definisce delle micro corti che si collegano a un sistema con spazi più grandi ove praticare attività culturali e di svago all'aperto.

Oltre il 60% degli alloggi sarà a canone calmierato e destinato a fasce economiche più deboli a fine di rispondere alla crisi abitativa che sta colpendo la città di Friburgo.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) viene incentrata su una raccolta differenziata capillare con il trattamento della frazione organica per la produzione di *biogas* e di *biocompost* per le attività agricole locali e da una completa gestione delle acque recuperando le acque grigie e meteoriche in cisterne di stoccaggio per essere successivamente depurate e reimmesse in circolo per i servizi igienici degli edifici e l'irrigazione degli spazi parti.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) si basa esclusivamente su una mobilità dolce grazie a percorsi ciclopedonali e da servizi di *bike sharing*. La mobilità inoltre è fortemente basata su mezzi pubblici come bus e filo-tramviarie a trazione elettrica o a idrogeno, proveniente dalle eccedenze elettriche degli impianti fotovoltaici, e da forme di *car sharing* a trazione elettrica.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) sono basate su interventi di tipo *green* attraverso la tutela della biodiversità esistente, l'implementazione delle masse arboree e arbustive con l'introduzione di specie ad alta capacità di mitigazione ambientale e di assorbimento e stoccaggio della CO₂ in atmosfera, nonché di dispositivi tecnologico ambientali come la ricostituzione di aree umide, come il fiume Käserbach, per la tutela e la salvaguardia della flora e della fauna, nonché per la regimentazione dei fenomeni alluvionali e di *run off*.

DIETENBACH ECO DISTRICT, FRIBURGO, GERMANIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Friburgo in Brisgovia, Germania

Progettista: Johannes Tovatt

Coordinatore del progetto: Atelier Dreiseitl, Transsolar, Andreas Laessker

Area: 108 ha

Abitanti: 20000 ab.

Anno di progettazione: 2015

Anno di inizio realizzazione: 2017

Anno di completamento: in corso



Latitudine
47°59'42"N
Longitudine
7°51'00"E

Altezza
278 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

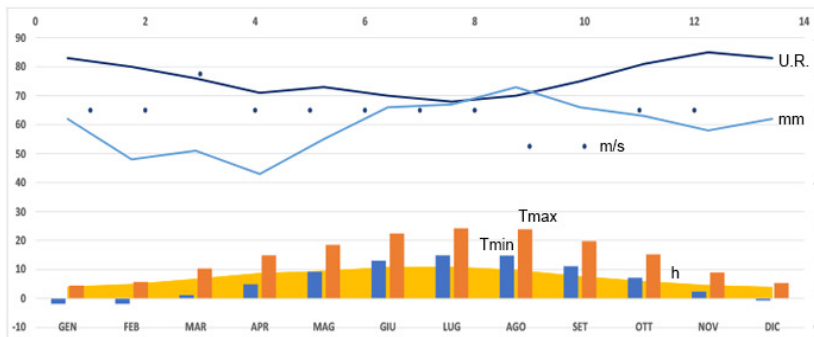
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	-1,9	-1,9	1,1	4,9	9,2	13	14,9	14,8	11,1	7,1	2,3	-0,7
	MAX °C	4,4	5,7	10,3	14,9	18,5	22,4	24,2	23,9	19,8	15,2	9	5,3
	MEDIA °C	1,1	1,7	5,6	10	14,1	18	19,8	19,4	15,4	10,9	5,5	2,1
UR	%	83	80	76	71	73	70	68	70	75	81	85	83
PRECIPITAZIONI	mm	62	48	51	43	55	66	67	73	66	63	58	62
H tot SOLE	h	100	140	210	255	290	330	340	310	225	180	130	100
H tot SOLE gg	h	4	4,9	6,7	8,7	9,4	10,8	10,9	9,8	7,6	5,9	4,5	3,9
NUVOLOSITA'	%	55	50	47	40	34	24	22	20	29	34	55	69
VENTI		50	50	060	0	0	0	0	060	0	060	50	50
INTENSITA' VENTI	m/s	6	6	7	6	6	6	6	6	5	5	6	6

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 08 AGOSTO 2013

T. MAX	37°C
U.R.	88 %
NUVOLOSITA'	70 %
T. MAX	T > 33°C ogni anno
VENTO	13 Km/h
PIOGGE	0 mm



DIETENBACH ECO DISTRICT, FRIBURGO, GERMANIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianti solari posti su edifici commerciali



Impianto di teleriscaldamento



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici residenziali



Idrogeno generato dalle eccedenze elettriche da fotovoltaico



Al termine della realizzazione diventerà il primo distretto urbano della Germania a impatto climatico zero

ALTO
100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Involucri altamente performanti



Tutti gli edifici realizzati presentano ridotti consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento

MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITE'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Sedi d'istruzione



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



ALTO
Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Gestione completa del ciclo dell'acqua



Produzione di biogas dalla frazione organica



Produzione biocompost



MEDIO-ALTO
Elevata gestione della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a trazione elettrica/idrogeno



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



Oltre l'80% degli spostamenti pubblici sono eseguiti su ferro e su gomma a trazione elettrica.

ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Ricostituzione del fiume Kaserbach come dispositivo tecnologico-ambientale



Oltre il 55% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

MEDIO
Media presenza di soluzioni tecnologiche green

District Le Fleuriaye Nantes, Francia

Descrizione

Il distretto, facente parte della città di Carquefou con oltre 18000 abitanti, del distretto municipale di Nantes, è costituito per oltre il 50% da spazi naturali come aree agricole, orticole, spazi verdi comunali e aree boscate. Complessivamente il progetto, con alcune fasi di costruzione ancora in corso di pianificazione ed esecuzione, grazie alle strategie di intervento impiegate, ha ridotto le emissioni di CO_{2eq} per oltre 6500 ton/annue.

Alla fine degli anni '90, il distretto di *La Fleuriaye* concretizza l'ambizioso progetto di urbanistica di un quartiere sostenibile che incontra la volontà di realizzare uno dei tecnopoli metropolitani dell'agglomerato nantese. Basato su un piano generale sviluppato dall'arch. Christian de Portzamparc, il distretto è esemplare in termini di rispetto dell'ambiente coniugando in un ambiente vegetale qualità abitativa, servizi, ricreazione, un importante spazio culturale, centri di formazione e un settore terziario particolarmente dinamico. Fin dalla sua creazione, *La Fleuriaye* ha beneficiato della sua vicinanza a Nantes e delle principali rotte per attirare una serie di imprese e abitanti.

Il progetto presenta diversi livelli di avanzamento, il primo costituito tra il 1005 e il 2012 si concentra sul miglioramento della qualità di vita dei fruitori nel quartiere, secondo l'introduzione di un sistema telematico di controllo energetico degli edifici e la produzione di energia da fotovoltaico posto nelle coperture degli stessi (*Energy Transition*) con una produzione energetica di oltre 2,3 MWp coprendo completamente il fabbisogno del quartiere. I misuratori contabili di energia di ogni manufatto edilizio sono collegati ad un *totem* posto al centro del quartiere con lo scopo di informare in tempo reale i consumi e le produzioni energetiche con un impatto psicologico sui residenti.

Gli edifici, di nuova concezione e tutti certificati *Passivhaus*, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness*, consentono di ottenere *comfort* ambientale in inverno e in estate grazie alla gestione dei

Bibliografia:

- Hedman, A. et al. (2021), IEA EBC Annex83 Positive Energy Districts, Buildings MDPI, vol.11, pp.1-17.

- Urban Europe (2020) Europe Towards Positive Energy Districts, JPI Urban Europe c/o Austrian Research Promotion Agency FFG, Vienna.

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/city/fr/district-of-la-fleuriaye.html>
- <http://www.quartierlafleuriaye.fr/>
- <https://smile-smartgrids.fr/en/projects/projects/la-fleuriaye.html>

contributi solari e sistemi di ventilazione a doppio flusso. Presenti inoltre in alcuni edifici destinati a servizi soluzioni biochimiche passive come serre solari e sistemi di schermatura solare.

La *Functional mixité and proximity* è caratterizzata dal 50% della superficie dell'area di intervento per spazi pubblici; presenti oltre 100 aziende nel settore terziario, 1000 abitazioni (di cui 320 già consegnate, le restanti in costruzione nel piano edilizio attualmente in corso di realizzazione), teatro, polo universitario, centro ippico e attività culturali di quartiere, generando contestualmente anche posti di lavoro in loco per i residenti.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) presenta ottimi riscontri secondo un livello strutturale di punti di conferimento; un punto centrale di raccolta e macinazione dei rifiuti di sfalci e potature per produzione di biomassa posto a 500 m dal perimetro del quartiere, un punto di raccolta differenziata ai piedi delle abitazioni collettive e un punto di riciclaggio volontario ai piedi delle residenze private. Gli scarti delle lavorazioni per la costruzione del quartiere sono stati reimpiegati per la realizzazione dei viali pedonali e per consolidare le sponde delle aree umide ripristinate; tali azioni contribuiscono fattivamente alla riduzione delle emissioni di carbonio per l'utilizzo di nuovi materiali. Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) è soddisfatto grazie alla presenza, nel perimetro del quartiere, di 3 linee di trasporto pubblico con una predisposizione stradale destinata principalmente alle sedi ciclopedonali, disincentivando l'utilizzo di vetture private. Con l'acquisto di una abitazione del quartiere viene fornita una bicicletta elettrica a pedalata assistita per incentivare la mobilità dolce e gli spostamenti verso il centro della città di Carquefou (a 2Km) e di Nantes (a 30 minuti in bicicletta).

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) sono soddisfatte grazie alla presenza di oltre 80ha di spazi naturali e di oltre 10000 specie arboree e arbustive in grado di incrementare la biodiversità dell'area e all'assorbimento di CO₂.

In merito alla gestione dei suoli e degli spazi urbani sono state introdotti sistemi tecnologici ambientali di *green blue infrastructure* con la realizzazione di *rain garden* e sistemi di stoccaggio delle acque piovane provenienti dalle coperture, dalle sedi stradali e dai parcheggi. Il progetto inoltre prevede il ripristino dello stagno di *Renaudieres* con lo scopo di impiego come *wetland*.

DISTRICT OF LA FLEURIAYE, NANTES, FRANCIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Nantes, Francia

Progettista: Loire-Atlantique Développement-SELA

Coordinatore del progetto: Nantes Métropole

Area: 102 ha

Abitanti: 3000 ab.

Anno di progettazione: 1995

Anno di inizio realizzazione: 1995

Anno di completamento: in corso



Latitudine
47°13'05"N
Longitudine
1°33'10"W

Altezza
8 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

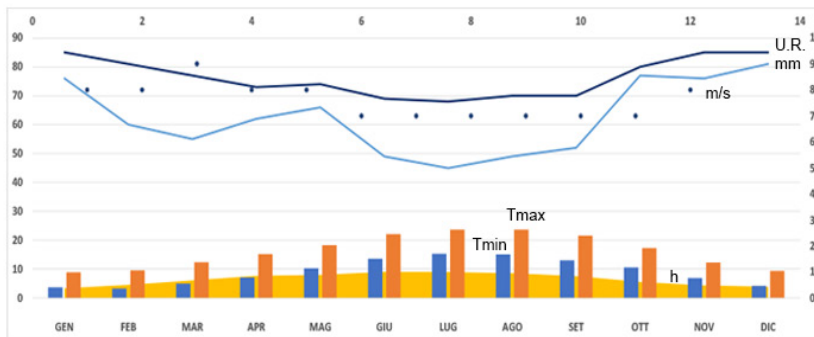
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA												
MIN °C	3,7	3,3	5	7,1	10,3	13,6	15,3	15,1	13	10,6	6,9	4,2
MAX °C	8,9	9,6	12,4	15,2	18,3	22,1	23,7	23,7	21,6	17,3	12,3	9,4
MEDIA °C	6,2	6,3	8,6	11,1	14,4	17,9	19,5	19,3	17,2	13,8	9,5	6,8
UR	%	85	81	77	73	74	69	68	70	70	80	85
PRECIPITAZIONI	mm	76	60	55	62	66	49	45	49	52	77	81
H tot SOLE	h	100	125	180	230	250	275	280	265	230	170	120
H tot SOLE gg	h	3,4	4,6	6,1	7,7	8	9,1	9	8,6	7,6	5,6	4,4
NUVOLOSITA'	%	61	49	45	22	25	15	9	11	16	28	59
VENTI		SO	SO	ONO	NNE	ONO	O	O	O	NO	SSO	SSO
INTENSITA' VENTI	m/s	8	8	9	8	8	7	7	7	7	7	8

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 08 AGOSTO 2020

T. MAX	39,6°C
U.R.	38,5 %
NUVOLOSITA'	10 %
T. MAX	T > 35°C ogni anno
VENTO	18,5 Km/h
PIOGGE	0 mm



DISTRICT OF LA FLEURIAYE, NANTES, FRANCIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Tutti gli edifici presentano misuratori energetici digitali al fine di rilevare in tempo reale i consumi e eventuali difformità

ALTO
>100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Torri di ventilazione



Tutti gli edifici realizzati sono certificati secondo lo standard **Passivhaus**

MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITE'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Sedi d'istruzione



Social Housing



Polo sportivo



Minimarket di prossimità



ALTO
Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Produzione biocompost locale



Recupero scarti lavorazioni edili



MEDIO-ALTO
Gestione efficiente della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Forte incentivo della mobilità dolce attraverso la fornitura ai residenti di **bicicletta elettrica a pedalata assistita**

ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Presenza di soluzioni nature-based e di green blue infrastructure



Materiali degli edifici con alte proprietà *embodied carbon*



Oltre l'**80%** della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

ALTO
Alta presenza di soluzioni tecnologiche green e di soluzioni tecnologiche grey

Eikenøtt ecodistrict Gland, Svizzera

Descrizione

L'eco distretto si trova a Gland, nella Svizzera occidentale tra Ginevra e Losanna, a 20 minuti dall'aeroporto internazionale di Ginevra. Nel 2013, i primi residenti hanno potuto iniziare vivere uno spazio vitale in cui tutto è incentrato attorno alla biodiversità e alla protezione dell'ambiente.

Progettato su una superficie di circa sei ettari, il progetto è stato possibile in primo luogo grazie alla federazione di interessi dei proprietari di diciannove lotti privati avviata nel 2003, e in secondo luogo attraverso una notevole sinergia tra Gland e gli sviluppatori del progetto. Un concorso di pianificazione organizzato nel 2003 da entrambe le parti interessate ha portato alla realizzazione di un Piano di vicinato nel 2011.

L'area è definita come un eco quartiere autonomo e indipendente, dove tutti i servizi sono disponibili al di sotto del km. L'idea di eco quartiere è spesso legata alla Scandinavia, sinonimo di avanguardia ed esemplare in termini di società, ecologia e design. Per il quartiere è stato quindi scelto il nome *Eikenøtt*, che è la traduzione di Gland in norvegese, evocando al tempo stesso il concetto di bosco (sostenibilità) e il villaggio (fruibilità).

Il tema *Energy Transition* è garantito da un *output* energetico proveniente da tre fonti rinnovabili quali impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici, una rete di teleriscaldamento alimentata da fotovoltaico e biomassa e *gas* e un sistema di geotermia profonda rendendo il quartiere energeticamente indipendente. Alcuni appartamenti campione dispongono di sistemi domotici in grado di monitorare i consumi energetici per elettricità e riscaldamento e il progetto si concluderà con la fornitura di tali apparati a tutto l'eco distretto.

Gli edifici, di nuova concezione e certificati secondo lo *standard* energetico svizzero *Minergie-ECO*, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness* presentano un consumo di energia inferiore a 38 kWh/mq/annuo, tenendo conto di un efficientamento dell'involu-

Bibliografia:

- Swiss Federal Office of Energy (2017), *An Overview of Cleantech Start-Ups, Bilan, Sion.*

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/city/h/eikenott-ecodistrict-gland.html>

- <https://cche.ch/en/Projects/eco-quartier-eikenott/>

- <https://www.bouygues-construction.com/en/projet-emblematic/eikenott>

- <https://www.bg-21.com/en/projects/eikenott-eco-neighborhood-gland>

cro edilizio, del suo isolamento e di integrazione con sistemi bioclimatici passivi come schermature solari, atri bioclimatici e serre solari, nonché di dispositivi tecnologici ambientali per la definizione di coperture in grado di mitigare il fenomeno del *runoff* e incrementare la biodiversità (*brown roof*).

La *Functional mixité and proximity* presenta una alta percentuale, vicina all'80% di destinazione di alloggi a *social housing* e *co-housing*, con un incremento della popolazione di oltre il 10% portandola agli attuali 1200 abitanti. Sono presenti servizi di vicinato come negozi locali, centro medico, asili nido, case per anziani e le dotazioni degli appartamenti (pareti divisorie modulari, domotica) forniscono una pluralità di richiesta al fine di rivolgersi a tutti i tipi di residenti: famiglie, giovani coppie, single o anziani, promuovendo la diversità sociale. Con alloggi che forniscono tipologie abitative flessibili da 48 a 130 mq, gli edifici si sviluppano su basi concettualmente differenziate per gruppi di edifici. La *mixité* funzionale è caratterizzata da oltre 800 mq di spazi per attività commerciali condivise, quali, per esempio, il mercato degli ortaggi provenienti dagli orti comuni realizzati nelle corti e negli spazi esterni degli edifici.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) presenta una pianificazione dettagliata volta al recupero totale delle acque piovane attraverso sistemi di captazione verso cisterne e bacini naturali di stoccaggio al fine di riutilizzo in un successivo momento di bisogno. Le acque reflue sono trattate da un innovativo digestore a metano in cui i fanghi esausti vengono utilizzati come combustibile per la vicina cementeria.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) si basa esclusivamente su una mobilità di tipo dolce definendosi come quartiere con servizi primari a breve distanza; tutto ciò a fronte di una precisa volontà da parte dell'amministrazione, di non far transitare all'interno del quartiere autovetture; esse sono disposte ai margini del quartiere mentre sono stati introdotti oltre 800 stalli per biciclette.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) sono basate esclusivamente su soluzioni di tipo *green*, definendo e riqualificando ampi spazi aperti introducendo specie arboree e arbustivo con alte capacità ambientali come frutteti, al fine di incrementare la biodiversità urbana e contribuire alla riduzione della CO₂ in atmosfera.

EIKENOTT ECODISTRICT, GLAND, SVIZZERA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: 1196 Quartier Eikenott, Allée du Communet 20, Gland, Svizzera

Progettista: Tovatt Architects & Planners, Gehl Architects, "Score for Public Space"

Coordinatore del progetto: Perdense Marazzi

Area: 5,96 ha

Abitanti: 1200 ab.

Anno di progettazione: 2003

Anno di inizio realizzazione: 2009

Anno di completamento: 2011

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

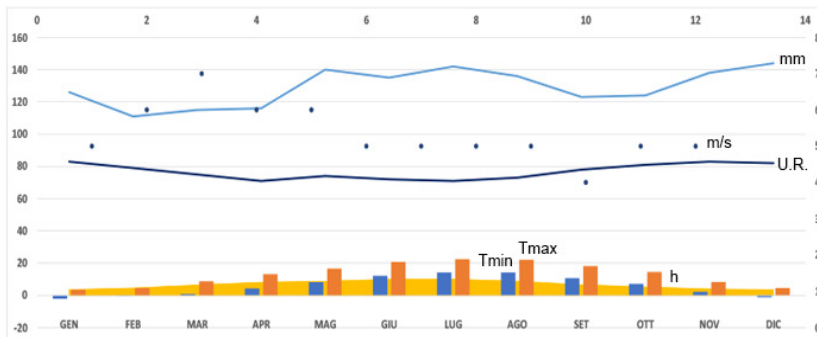
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
46°25'2"N
Longitudine
6°16'04"E

Altezza
415 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	-2,1	-0,21	0,8	4,3	8,2	12,2	14,2	14,2	10,7	7,1	2,1	-1,1
	MAX °C	3,4	4,5	8,7	13,1	16,6	20,7	22,4	22	18,2	14,5	8,3	4,5
	MEDIA °C	0,5	1	4,7	8,8	12,6	16,7	18,4	18,2	14,5	10,7	5	1,5
UR	%	83	79	75	71	74	72	71	73	78	81	83	82
PRECIPITAZIONI	mm	126	111	115	116	140	135	142	136	123	124	138	144
H tot SOLE	h	100	130	200	240	270	310	320	270	195	160	120	100
H tot SOLE gg	h	3,5	4,5	6,4	8,1	8,7	10,1	10,1	8,8	6,6	5,2	3,9	3,5
NUVOLOSITA'	%	50	45	43	40	33	24	22	24	29	39	50	52
VENTI		O	N	E	E	E	ESE	SSE	SSE	E	E	O	O50
INTENSITA' VENTI	m/s	5	6	7	6	6	5	5	5	5	4	5	5

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 27 GIUGNO 2019

T. MAX	34°C
U.R.	94,2 %
NUVOLOSITA'	60 %
T. MAX	T > 30°C ogni anno, (media 8 gg anno)
VENTO	11,1 Km/h
PIOGGE	0 mm



EIKENOTT ECODISTRICT, GLAND, SVIZZERA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianto geotermico



Impianto di teleriscaldamento alimentato a biomassa, fotovoltaico e gas



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Presenti sistemi domotici in alcuni appartamenti campione per monitorare i consumi di energia elettrica e di riscaldamento



ALTO
100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Brown roof



Tutti gli edifici realizzati presentano lo standard energetico Minergie-ECO® con consumo < 38kWh/mq/annuo



MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITÈ



Smart/Co-working



Co-housing



Social Housing



Flessibilità degli alloggi



Servizi di prossimità



ALTO
Alta presenza di mixitè sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Produzione di energia da potature forestali per teleriscaldamento



Digestore fognario a metano



ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Quartiere senza automobili



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Gli spostamenti sono basati su mobilità dolce a breve distanza 5-15 minuti



ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Introduzione specie da frutto negli spazi aperti per incremento biodiversità



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Oltre il 55% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili



MEDIO
Media presenza di soluzioni tecnologiche green

Atlantech Lagord La Rochelle, Francia

Descrizione

Questo quartiere si trova in un'area precedentemente militare e che il comune ha potuto recuperare attraverso una vendita nel 2011 nell'ambito di un contratto di rilancio dei CRSD - Contratti per il Rilancio dei Siti della Difesa. Nel 2011 il terreno è stato venduto e nel 2012 è stata creata la società *Atlantech* per garantire il raggiungimento degli obiettivi definiti nel distretto.

Interamente progettato secondo strategie "low carbon", *ATLANTECH®* è un quartiere in costruzione facente parte della città di *La Rochelle* che unisce alloggi, attività economiche, ricerca e formazione. Un attrattore tecnologico, economico e sociale per il concetto di città sostenibile del domani. La città di *La Rochelle* ha varato un ambizioso piano per divenire a emissioni zero di carbonio entro il 2040.

L'Energy Transition presenta un ciclo energetico basato su impianti fotovoltaici posti sulle coperture di edifici e parcheggi di aree industriali con una potenza complessiva di oltre 4Mw; ogni edificio produce e utilizza parte della propria autoproduzione in quanto in alcuni periodi gli uffici presentano un *surplus* energetico e in altri un *deficit*, per tale il quartiere è basato su un *mix* di usi in grado di bilanciare e distribuire uniformemente i consumi. Sono previsti sistemi di accumulo energetico derivati da eccedenze elettriche da fotovoltaico e immagazzinate sottoforma di idrogeno grazie a processi di elettrolizzazione. Sono inoltre presenti caldaie a biomassa destinate alle aree industriali da 320 Kw.

Gli edifici, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness* presentano avanzati sistemi bioclimatici passivi come serre e atrii bioclimatici, schermature solari passive fisse o mobili; tutti gli edifici, residenziali e industriali, presentano *standard* energetici E+C- con certificazioni *E3C2* (consumi energetici minori di 25 Kwh/mq/a), *Passivhaus* e *BEPOS*, con ridotte, e in alcuni casi azzerate, emissioni di carbonio.

Bibliografia:

- Eiffage Immobilier (2020), *Echo Rue Louis Tardy, Lagord, Agence the Kub, Velizy-Villacoublay, Francia.*

Sitografia:

- <https://www.atlantech-lr.fr/>

- <https://www.agglo-larochelle.fr/projets-d-amenagement/parc-bas-carbone-atlantech>

- <https://www.sudouest.fr/charente-maritime/lagord/lagord-le-parc-atlantech-doit-conceder-3-7-hectares-a-un-papillon-1854036.php>

- <https://www.construction21.org/france/articles/h/dossier-quartiers-bas-carbone-5-atlantech-une-demarche-bas-carbone-exemplaire-a-l-echelle-du-quartier.html>

La *Functional mixité and proximity* presenta poli tecnologici formativi come il centro di formazione per apprendisti, nonché da incubatori per il settore edilizio e delle città sostenibili, con forme di incentivi economici per le aziende con età inferiore ai 2 anni di esercizio. Sono presenti 330 unità abitative consegnate a fine 2020 destinate per il 20% a coppie, 40% *social housing* e 40% con cessione a titolo gratuito. Le attività commerciali presenti offrono posti di lavoro in loco per i residenti offrendo forme di supporto alla integrazione.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) si basa su un recupero completo delle acque reflue e piovane grazie a sistemi di captazione sotterranei e a stazioni di pompaggio per la nuova immissione in circolo a seguito della depurazione della stessa da centri di depurazione a fanghi. Questi ultimi una volta esausti, vengono utilizzati come biomassa per le caldaie destinate alle aree industriali. Il quartiere presenta un ciclo virtuoso dei rifiuti con la frazione organica interamente riutilizzata come *biocompost* locale o come *biomassa* per la produzione di energia elettrica.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) si basa su una mobilità esclusivamente su ferro e su gomma mediante bus elettrici e ad alimentazione a idrogeno derivato dallo stoccaggio delle eccedenze da fotovoltaico. Inoltre progetti mirati hanno messo a disposizione del quartiere oltre 30 biciclette e altrettanti *scooter* elettrici con un servizio *full service* includendo il combustibile, il costo di noleggio e la sua manutenzione.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) sono basate sulla progettazione di un parco tecnologico volto ad incrementare le superfici permeabili, a riqualificare precedentemente degradata per la presenza di rifiuti industriali introducendo masse vegetali ad alta capacità di mitigazione ambientale e con elevate proprietà di assorbimento di inquinanti e di carbonio nell'atmosfera. Inoltre sistemi tecnologici ambientali come *rain garden* riducono i fenomeni di *runoff* recuperando interamente i quantitativi di acqua meteorica. La forte presenza di aree agricole e di allevamenti permette una produzione e vendita di ortaggi in loco eliminando nuove emissioni di CO₂ derivate dai trasporti e lavorazioni nonché un completo smaltimento in loco dei rifiuti annessi trasformati in biomassa per le caldaie che alimentano le aree industriali.

ATLANTECH LAGORD, LA ROCHELLE, FRANCIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: La Rochelle, Lagord, Francia

Progettista: Amministrazione Lagord

Coordinatore del progetto: Società Atlantech (Amministrazione locale, Università, Federazione francesce costruzioni, Camera degli Artigianati)

Area: 27 ha

Abitanti: 750 ab.

Anno di progettazione: 2011

Anno di inizio realizzazione: 2012

Anno di completamento: in corso



Latitudine
46°11'N
Longitudine
1°08'W

Altezza
151 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

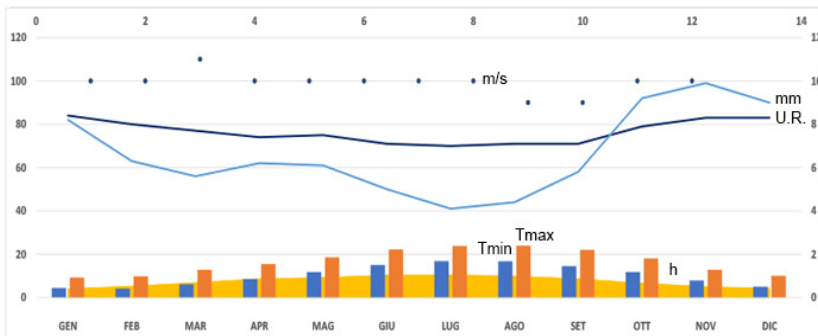
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	4,4	4,1	6,1	8,5	11,7	15	16,8	16,7	14,5	11,8	7,8	5
	MAX °C	9,2	9,8	12,8	15,4	18,5	22,2	23,8	23,9	22	18	12,8	10
	MEDIA °C	6,8	6,8	9,4	12	15,2	18,7	20,3	20,3	18,1	14,7	10,3	7,4
UR	%	84	80	77	74	75	71	70	71	71	79	83	83
PRECIPITAZIONI	mm	82	63	56	62	61	50	41	44	58	92	99	90
H tot SOLE	h	100	148	210	255	280	310	330	320	260	205	150	100
H tot SOLE ☀	h	4	5,2	6,9	8,6	9,2	10,3	10,4	9,9	8,6	6,6	5	4,3
NUVOLOSITA'	%	50	39	33	37	25	20	18	17	20	30	34	49
VENTI		OSO	O	NO	NNO	ONO	ONO	ONO	ONO	NO	S	SO	SO
INTENSITA' VENTI	m/s	10	10	11	10	10	10	10	10	9	9	10	10

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 07 SETTEMBRE 2021


T. MAX	36,9°C
U.R.	82,4 %
NUVOLOSITA'	55 %
T. MAX	T > 36°C ogni anno
VENTO	27,8 Km/h
PIOGGE	0 mm





ATLANTECH LAGORD, LA ROCHELLE, FRANCIA



STRATEGIE DI INTERVENTO


ENERGY TRANSITION




ALTO
>100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

 Sonde geotermiche
  Caldaia a biomassa



 Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pari a 4 Mw
  Sistemi di accumulo per la produzione di idrogeno


 Produzione di un **surplus** energetico destinato a controbilanciare e distribuire i consumi derivati dai mix di usi


BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

 Schermature solari passive
  Atrii bioclimatici

 Serre solari

 Tutti gli edifici realizzati presentano lo standard energetico **E3C2, Passivhaus, BEPOS**

FUNCTIONAL MIXITE'




ALTO
Alta presenza di mixité sociale



 Smart/Co-working
  Co-housing
  E-commerce
  Sedi d'Istruzione



 Social Housing
  Studentato
  Minimarket di prossimità

RESOURCES CIRCULARITY




ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti



 Utilizzo responsabile e circolare delle risorse
  Produzione biocompost locale per permacultura



 Gestione completa del ciclo dei rifiuti
  Impianto di depurazione acque reflue e smaltimento dei fanghi come biomassa per le caldaie


SUSTAINABLE MOBILITY



ALTO
>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile

 Linee bus alimentati a idrogeno
  Bike sharing

 Linee filo-tramviarie
  Car sharing a trazione elettrica

 Incentivazione alla mobilità elettrica e ad idrogeno grazie alla elettrificazione delle eccedenze elettriche da fotovoltaico

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



MEDIO-ALTO
Alta presenza di soluzioni tecnologiche green, Media presenza di soluzioni tecnologiche grey

 Gestione circolare del ciclo delle acque
  Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane
  Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche

 Incremento degli spazi aperti e delle aree permeabili
  Riqualificazione di aree fortemente degradate da rifiuti industriali

 Produzione agricola in loco al fine di ridurre gli scarti e le emissioni di CO2 derivate da trasporti e lavorazioni.

Brainport Smart District Helmond, Paesi Bassi

Descrizione

Brainport Smart District è un nuovo quartiere innovativo, situato a Helmond, nei Paesi Bassi. Questo quartiere sarà un “laboratorio vivente”: un quartiere misto organizzato attorno a un parco centrale e circondato da spazi commerciali e riserve naturali. È il risultato di una attenta pianificazione sulla base delle ultime intuizioni e tecniche, risultando quindi una proposta sperimentale e innovativa per il paesaggio e la comunità che vi si sta insediando. Qui si mira a sviluppare una nuova relazione tra edifici e paesaggio, per cui entrambi si rafforzano a vicenda qualitativamente concependolo come un ambiente produttivo per cibo, energia, acqua, trattamento dei rifiuti e biodiversità.

Il paesaggio attuale è storicamente cresciuto in un ricco mosaico di foreste, brughiere, villaggi e zone umide. Funzionano come mondi individuali all'interno di un *layout* condiviso, ma non hanno l'opportunità di essere trasformati in un ambiente collaborativo al fine di sfruttare le sinergie. Pertanto, obiettivo di questo progetto è generare un nuovo paesaggio ibrido che unisca aree urbane, naturali e agricole secondo la concezione di quattro paesaggi spaziali:

- Paesaggio mosaico: il *layout* del progetto si rifà al *landmark* storico dell'area concependo un parco centrale urbano circondato da terreni rurali; ciò definisce, secondo la gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*), un ciclo completo per Acqua, Energie e Rifiuti. I rifiuti, nello specifico, sono altamente selezionati e differenziati per la produzione, attraverso la frazione organica, di *biocompost* locale per le attività di permacultura e per la produzione di *biogas*. Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) si basano sulla salvaguardia della biodiversità locale secondo in incremento della vegetazione autoctona ad alta capacità di mitigazione ambientale, alla progettazione di sistemi tecnologici ambientali quali *rain garden* e *wetland* per la captazione delle acque meteoriche e per l'utilizzo, secondo le soluzioni *grey*, di

Bibliografia:

- Berkel, B. van (2020), 'Architecture and the impact of the fourth industrial revolution', *Architectural design*, Vol.5, pp. 126-133. Available at: <https://search.ebscohost.com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=bvh&AN=819853&lang=it&site=eds-live&scope=site>.

Sitografia:

- <https://www.unstudio.com/en/page/11722/brainport-smart-district>

- <https://brainportsmartdistrict.nl/en/>

- <https://urbannext.net/brainport-smart-district/>

- <https://www.dezeen.com/2019/03/05/smart->

[neighbourhood-brainport-smart-district-unstudio-netherlands/](https://www.dezeen.com/2019/03/05/smart-neighbourhood-brainport-smart-district-unstudio-netherlands/)

materiali da costruzione come legno e impasti di ceramica e inerti, con alte capacità di *embodied carbon*;

- Paesaggio produttivo: secondo il tema della *Functional mixitè and proximity*, il parco centrale e i terreni agricoli sono concepiti come spazi produttivi dove viene incentivato il *mix* tra vita, lavoro e tempo libero. Le attività spesso sono presenti ai piani terra di ogni singolo edificio recependo la produttività locale, incrementando così le possibilità di occupazione lavorativa in loco. Al completamento del progetto saranno realizzate 1500 nuove abitazioni con canoni di affitto calmierati e nel rispetto di ogni fascia economica presente integrando servizi primari e secondari come sedi di istruzione e poli sportivi. Per fondere tutte queste funzioni il paesaggio viene parcellizzato in una variazione di lotti con dimensioni e forme diverse rispettando il paesaggio e la biodiversità;

- Paesaggio sociale: l'organizzazione produttiva del quartiere definisce le strategie energetiche dello stesso secondo una *energy grid* automatizzata e sempre connessa. Il quartiere, secondo il tema dell'*Energy Transition*, presenta un impianto di pannelli fotovoltaici posti sulle coperture degli edifici, una rete di teleriscaldamento alimentata da pompe di calore e dalla rete idrica proveniente dal riciclo e purificazione delle acque grigie e della captazione delle acque piovane. Inoltre impianti di micro eolico completano il fabbisogno energetico e una quota di *surplus* viene generata con produzione di *biogas* dalla frazione organica dei rifiuti;

- Paesaggio Connesso: gli edifici, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness*, che compongono il quartiere, sono altamente integrati nelle strutture paesaggistiche lineari, presentando un basso consumo energetico per riscaldamento e raffrescamento derivato da strategie bioclimatiche passive come serre solari, schermature solari passive, atri bioclimatici e involucri altamente preformanti. Tutti gli edifici inoltre presentano sistemi di monitoraggio e di automazione al fine di verificare in tempo reale i consumi energetici, scambiando quindi informazioni definendo la struttura innovativa e intelligente. Le connessioni degli edifici riguardano anche il settore della mobilità locale (*Sustainable mobility*), concepita secondo spostamenti prettamente con mezzi pubblici (bus, filo-tramviarie), a guida automatica, a trazione elettrica, e con forme di *car and bike sharing*, escludendo volontariamente e strutturalmente la mobilità privata all'interno del quartiere stesso.

BRAINPORT SMART DISTRICT, HELMOND, PAESI BASSI

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Helmond, Brandevoort, Paesi Bassi

Progettista: UNStudio

Coordinatore del progetto: Brainport Smart District e Comune di Helmond

Area: 150 ha

Abitanti: 4000 ab.

Anno di progettazione: 2010

Anno di inizio realizzazione: 2018

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

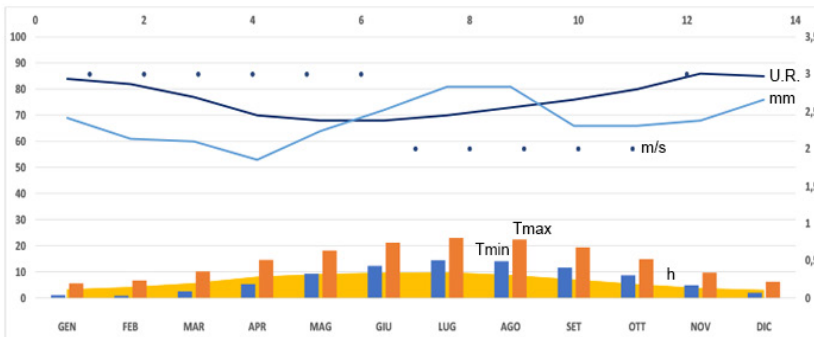
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
51°28'39.72"N
Longitudine
5°39'09.97"E

Altezza
18 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
TEMPERATURA													
MIN °C	1,1	0,9	2,5	5,3	9,3	12,3	14,5	14,1	11,7	8,7	4,9	2	
MAX °C	5,6	6,7	10,2	14,6	18,2	21,2	23	22,4	19,4	14,9	9,7	6,2	
MEDIA °C	3,3	3,6	6,3	10,1	14	17	18,9	18,3	15,4	11,7	7,3	4,1	
UR	%	84	82	77	70	68	68	70	73	76	80	86	85
PRECIPITAZIONI	mm	69	61	60	53	64	72	81	81	66	66	76	
H tot SOLE	h	100	120	170	240	270	275	305	360	210	160	110	90
H tot SOLE gg	h	3,2	4,1	5,6	8,1	9,1	9,6	9,8	8,7	7	5,2	3,7	3
NUVOLOSITA'	%	70	45	40	33	30	25	20	18	31	35	55	75
VENTI	SSO	5	SSO	SSO	SO	SO	SO	SSO	SSO	5	5	SSO	
INTENSITA' VENTI	m/s	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 25 LUGLIO 2019

T. MAX	40°C
U.R.	93,9 %
NUVOLOSITA'	30 %
T. MAX	T>35°C ogni anno
VENTO	11,1 Km/h
PIOGGE	0 mm



Scheda caso studio n.12

BRAINPORT SMART DISTRICT, HELMOND, PAESI BASSI

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianto microeolico



Impianto di teleriscaldamento



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Impianto pompe di calore



Produzione di un **surplus** energetico destinato alla grid delle colonnine elettriche per la mobilità pubblica e privata

ALTO
100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Involucri altamente performanti



Tutti gli edifici realizzati avanzati **systemi di monitoraggio** dei consumi energetici con **automazione** dei sistemi bioclimatici passivi

MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITE'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Sedi d'Istruzione



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



ALTO
Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Gestione completa del ciclo dell'acqua



Produzione di energia dai rifiuti per teleriscaldamento



Produzione biocompost locale per permacultura



ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a guida autonoma



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



Oltre il **90%** degli spostamenti pubblici sono eseguiti su ferro e su gomma a trazione elettrica.

ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Utilizzo di materiali da costruzione con proprietà embodied carbon



Concezione di un **Hybrid Urban Path** secondo il paesaggio storico esistente

ALTO
Alta presenza di soluzioni tecnologiche green, Alta presenza di soluzioni tecnologiche grey

Greencity Zurigo, Svizzera

Descrizione

L'area di tale quartiere insiste ove sono situati gli *ex* capannoni di produzione della cartiera *Sihl*. La prima pietra è stata posata a settembre 2015 e il primo appartamento, per un totale complessivo previsto di 731, è stato consegnato nell'estate del 2017. Inoltre, a completamento dell'opera, previsto per il 2030, ci sarà un bacino occupazionale di oltre 2500 posti di lavoro tra attività, uffici e hotel. *Greencity* è caratterizzato da un'alta densità abitativa e da un *mix* di usi attentamente coordinato tra abitare e lavorare. Ai piani terra vi sono negozi e servizi per migliorare la qualità dell'abitare e la convivialità.

Questa tipologia di progettazione è un esempio di stretta partecipazione e cooperazione tra diversi attori nel processo decisionale, un tema trasversale essenziale per la definizione e l'attuazione di politiche e azioni relative allo sviluppo sostenibile.

Il quartiere si integra perfettamente nella città di Zurigo: gli zurighesi hanno votato a favore della sostenibilità nel concetto di "società da 2000 watt", l'iniziativa urbana e la costruzione di alloggi comunitari. Quasi tutte le famiglie che vivono attualmente nel quartiere non dispongono di una auto privata e, con 2000 watt pro capite, il consumo di energia è inferiore alla media nazionale.

L'Energy Transition, basata secondo il concetto di contenere i consumi entro i 2000 watt a persona, è basata su un *mix* energetico costituito da impianti fotovoltaici posti sulle coperture di edifici pubblici e privati, su un impianto geotermico con 215 sonde e da un impianto a pompa di calore alimentato dall'energia fotovoltaica. Il quartiere è collegato da una *grid energy* secondo un programma basato su una app denominata per l'appunto *Greencity* e da moduli installati in ogni edificio denominati *eSMART*.

Gli edifici, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness*, rispondono agli alti *standard* energetici per raffrescamento e riscaldamento attraverso l'adozione di sistemi bioclimatici passivi come serre solari, atrii bioclimatici, sistemi di schermatura passiva e torri di ven-

Bibliografia:

- Greencity (2018), 'Greencity Zürich: das erste Schweizer 2000-Watt-Areal' Baublatt, (43), p. 16. Available at: <https://search-ebsochost-com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=132743865&lang=it&site=eds-live&scope=site>.

- Greencity (2019), 'Insieme = Together' Domus, (1032), pp. 176-177. Available at: <https://search-ebsochost-com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=bvh&AN=808300&lang=it&site=eds-live&scope=site>.

Sitografia:

- <https://www.espazium.ch/it/attualita/abitare-greencity>

- <https://www.construction21.org/city/h/greencity.html>

tilazione. Tali applicazioni, combinate da un efficiente involucro e da serramenti altamente preformanti, concorrono al raggiungimento delle certificazioni ambientali *Minergie ECO* e *LEED*.

La *Functional mixitè and proximity* risulta essere il punto di forza principale di tale quartiere in quanto ospita servizi primari e secondari, uffici, aree sport, spazi aperti ludico-ricreativi, che rigenerano un *ex sito* industriale, ottimizzando quindi gli spazi e la relativa densificazione. Ogni edificio, per naturale progettuale, dispone al piano terra di una area a servizio per la comunità locale. Gli alloggi sono destinati a ogni fasce economiche della popolazione, rispondendo quindi alla richiesta abitativa incrementando le forme di *co-housing* e *social housing*.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) si basa su un ciclo completo delle acque, ove la captazione da tetti e sistemi igienici in apposite cisterne e sottoposta a purificazione, permette il successivo riutilizzo per irrigazione degli spazi aperti. Il ciclo dei rifiuti è impostato secondo una attenta suddivisione e selezione di ogni singola frazione destinando in particolare l'organico per *biocompost* locale e produzione di *biogas*. Inoltre importante risulta l'utilizzo, per la fase di cantiere degli edifici, delle sedi viarie e degli spazi aperti, di calcestruzzo riciclato, demolito e prodotto in loco da altri scarti di lavorazione e demolizione provenienti dall'*ex sito* industriale. Ciò ha permesso una riduzione di CO₂ derivata dal trasporto di tale inerte e relativo smaltimento, quantificato in oltre 38 tonnellate.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) è incentrato esclusivamente sulla mobilità di tipo dolce e pubblica in quanto i residenti non possiedono una autovettura privata; il quartiere dista solo 6 minuti dal centro della città di Zurigo e 11 minuti dalla stazione ferroviaria principale. Per incentivare tale mobilità sono stati introdotti oltre 2500 stalli per biciclette e punti di *bike sharing* a trazione elettrica.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) si basano esclusivamente su una salvaguardia della biodiversità fortemente danneggiata dalla presenza di un *ex sito* industriale. Progetti di forestazione e riforestazione urbana con specie arboree ad alta capacità ambientale, mirano a ridurre il carico di inquinanti nel sottosuolo e ad assorbire la CO₂ in atmosfera. Progetti di recupero di materiale inerte e riutilizzo in loco permettono una drastica riduzione di emissioni di CO₂ derivate da mancati acquisti di nuovi materiali con relativo processo di produzione e trasporto.

GREEN CITY, ZURIGO, SVIZZERA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Sihl-Manegg 8000 Zurigo, Svizzera

Progettista: Losinger Marazzi AG

Coordinatore del progetto: Zurich City, SwissLife, Bricks Immobilien, Diener&Diener, Steib&Geschwentner, Peter Markli, Zach&Zund, Zita Cotti, Adrian Streich, EM2N, JSWD, Gigon Guyer, Architecture Studio

Area: 8 ha

Abitanti: 2200 ab.

Anno di progettazione: 2000

Anno di inizio realizzazione: 2001

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

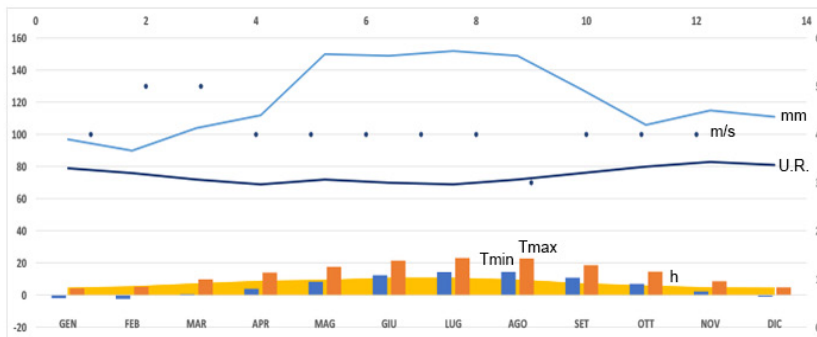
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
47°22'43"N
Longitudine
8°32'24"E

Altezza
408 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA												
MIN °C	-1,9	-2,3	0,7	3,9	8,4	12,4	14,4	14,5	10,9	7	2,3	-0,9
MAX °C	4,2	5,3	9,8	14	17,6	21,5	23,1	22,8	18,7	14,6	8,6	4,9
MEDIA °C	0,9	1,3	5,1	9,1	13,2	17,1	18,8	18,6	14,7	10,6	5,2	1,8
UR	%	79	76	72	69	72	70	69	72	76	80	83
PRECIPITAZIONI	mm	97	90	104	112	150	149	152	149	128	106	115
H tot SOLE	h	130	150	225	260	280	320	330	300	220	180	130
H tot SOLE gg	h	4,5	5,4	7,2	8,8	9,4	10,7	10,7	9,6	7,3	5,9	4,7
NUVOLOSITA'	%	45	40	35	27	25	22	20	21	22	27	37
VENTI	OSO	0	0	NO	ONO	ONO	ONO	ONO	ONO	OTT	0	OSO
INTENSITA' VENTI	m/s	4	5	5	4	4	4	4	4	3	4	4

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 27 GIUGNO 2019

T. MAX	34°C
U.R.	94,2 %
NUVOLOSITA'	60 %
T. MAX	T>30°C ogni anno
VENTO	11,1 Kn/h
PIOGGE	0 mm



GREEN CITY, ZURIGO, SVIZZERA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianto geotermico con 215 sonde



Impianto di pompe di calore



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Monitoraggio energetico mediante moduli eSMART



ALTO
100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili



Il quartiere è progettato secondo lo standard del "consumo massimo di 2000 Watt" pro capite a persona annuo

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Torri di ventilazione



MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi



Tutti gli edifici realizzati presentano lo standard energetico Minergie ECO e LEED

FUNCTIONAL MIXIT'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



MEDIO-ALTO
Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Utilizzo come materiale da costruzione di calcestruzzo riciclato



Produzione biogas dal trattamento della frazione organica



Produzione biocompost locale



ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus per/verso principali nodi di scambio



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile



Oltre l'87% degli spostamenti pubblici sono eseguiti su ferro e su gomma a trazione elettrica.

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



MEDIO
Media presenza di soluzioni tecnologiche green. Bassa presenza di soluzioni tecnologiche grey



Oltre il 40% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

Virtual City of Zero Energy House Tomiya City, Giappone

Descrizione

Sekisui House è la più grande azienda giapponese in termini di costruzione di case unifamiliari prefabbricate per nuovi distretti energeticamente autonomi. Da aprile 2013 a gennaio 2017, l'azienda stessa ha costruito oltre 26.841 case unifamiliari che soddisfano il regolamento del governo giapponese *Zero Energy House (ZEH)*.

Il Ministero dell'Economia, del Commercio e dell'Industria (METI) svolge un ruolo importante per questo progetto in quanto parte finanziatrice del progetto per la promozione di distretti autonomi, ad alta sostenibilità energetica, ambientale e sociale.

L'*Energy Transition* è basata su una *energy grid intelligente (HEMS)* che collega ogni edificio presente nel distretto migliorando la qualità della vita degli abitanti; la combinazione di celle fotovoltaiche integrate nelle tegole degli edifici (400 kW), di impianti fotovoltaici e solari posti negli edifici pubblici e nelle coperture dei parcheggi (10 kW), nonché di sistemi di cogenerazione a idrogeno (500 kW) forniscono una completa autonomia energetica, operando selettivamente, attraverso la *grid*, nelle richieste e fabbisogni dei singoli edifici. Inoltre sono presenti sistemi di stoccaggio per l'energia prodotta in eccesso per essere impiegata in momenti di maggiore fabbisogno.

Gli edifici, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness* sono modulari, prefabbricati e concepiti secondo elevati *standard* energetici giapponesi; la presenza di tegole fotovoltaiche, impianti solari e di cogenerazione, elevato isolamento termico degli involucri e dei serramenti, avanzati sistemi bioclimatici passivi come serre solari, schermature solari passive e atrii bioclimatici definiscono tali edifici a energia zero (*Zero Energy House, ZEH*). La soddisfazione degli occupanti, secondo valutazioni eseguite mediante questionari cartacei, raggiunge una percentuale vicina al 96% e oltre il 97% per il *comfort* abitativo. Essendo il Giappone uno Stato ad alta sismicità, la società costruttrice del distretto ha ideato il sistema di controllo sismico *SHEQAS* il quale converte l'energia delle onde sismiche in energia termica per assorbire il movimento dell'edificio riducendo-

Bibliografia:

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/city/h/virtual-city-of-zero-energy-house.html>

- https://quellaplentyresolute.com/zj3t52wa?key=26235aef77a90dc61a1ff7d6f1c2598c&psid=SCV_04

- https://web-japan.org/trends/11_tech-life/tec120806.html

ne la deformazione di circa il 50%. L'ammortizzatore, costituito da una speciale gomma ad alto smorzamento, mantiene la sua efficacia attraverso ripetuti terremoti e scosse di assestamento garantendo la salute e la sicurezza degli abitanti durante tali situazioni. La *Functional mixitè and proximity* presenta principalmente alloggi destinate a fasce di popolazione con redditi bassi, alloggi in vendita privata, forme di *co-working* e di *social and co-housing*; tale forma è incentivata per l'elevata età media della popolazione giapponese, la quale si trova principalmente in una o due unità in alloggi molto più grandi delle reali esigenze.

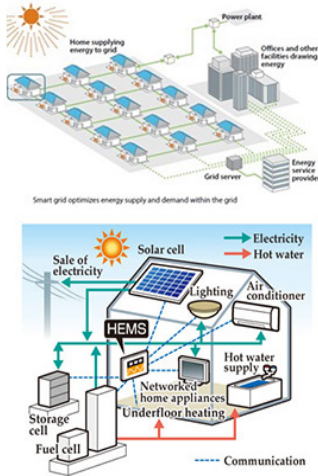
La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) si basa su una attenta gestione del ciclo delle acque, attraverso sistemi di riduzione del flusso idrico alle singole utenze e di cisterne di raccolta delle acque reflue e meteoriche per trattamento e successivo reimpiego nel ciclo dei servizi igienici e per irrigazione degli spazi aperti. Il sistema di raccolta differenziata permette uno spreco zero di risorse attraverso una selezione e lavorazione delle singole frazioni per un secondo riutilizzo (*biocompost*, biomassa) e da programmi di sensibilizzazione della cittadinanza a rispettare tali pratiche. Inoltre la costituzione del distretto esclusivamente di corpi prefabbricati permette, a fine vita, un completo uso e riuso degli scarti per un secondo futuro utilizzo.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) si basa esclusivamente su una mobilità pubblica secondo linee bus a trazione *mild hybrid*, reti filo tranviarie e metro, servizi di *car and bike sharing* e da una mobilità dolce all'interno del distretto stesso. Sono escluse, per precisa volontà progettuale, il transito di vetture private all'interno dello stesso al fine di ridurre le concentrazioni di carbonio e di inquinanti in atmosfera.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) sono in tale progetto incentrate su un incremento del patrimonio arboreo ed arbustivo attraverso progetti di riforestazione urbana al fine di assorbire CO₂ dall'atmosfera e contribuire alla purificazione dell'aria, in quanto il Giappone, per la forte presenza di industrie fossili e altamente inquinanti presenta complessivamente scarsi valori di *indoor air quality (IAQ)*. Per gli aspetti *grey*, risultando un distretto, come precedentemente illustrato, interamente costituito da corpi prefabbricati, si sono drasticamente ridotte le operazioni di cantiere, azzerando le annesse emissioni di carbonio, elevate per tale fase edilizia.

VIRTUAL CITY OF ZERO ENERGY HOUSE, TOMIYA CITY, GIAPPONE

SCHEMA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: 981-3332 7-1-6, Akaishidai, Città di Tomiya, Giappone

Progettista: Sekisui House, LTD

Coordinatore del progetto: Ministero dell'Economia, del Commercio e dell'Industria (METI)

Area: 3,62 ha

Abitanti: 2000 ab.

Anno di progettazione: 2010

Anno di inizio realizzazione: 2013

Anno di completamento: 2016

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

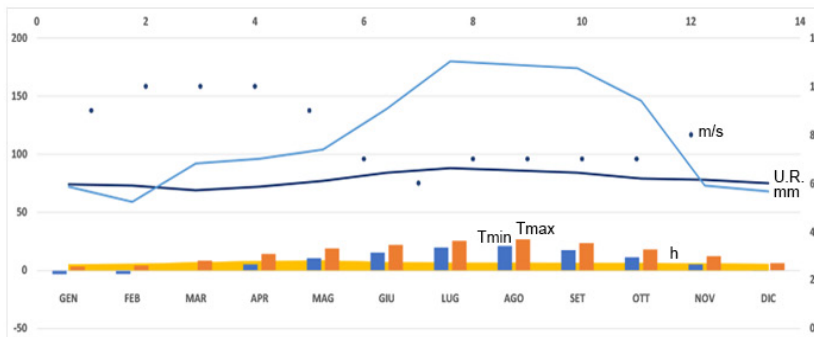
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
38°24'N
Longitudine
140°53'E

Altezza
12 m s.l.m.
Zona climatica
Cfa

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	-3,3	-3,2	0	5	10,5	15,3	19,7	21	17,4	11,2	5	-0,1
	MAX °C	3,2	4,1	8,3	14	18,8	21,9	25,3	26,7	23,3	18	12,1	6,1
	MEDIA °C	-0,3	0,1	3,8	9,2	14,4	18,4	22,2	23,5	20,1	14,3	8,2	2,6
UR	%	74	73	69	72	77	84	88	86	84	79	78	75
PRECIPITAZIONI	mm	72	59	92	96	104	139	180	177	174	146	73	68
H tot SOLE	h	110	100	210	240	260	210	190	190	180	180	160	150
H tot SOLE gg	h	5	5,4	6,7	7,9	8,4	6,9	6,3	6,3	6,2	5,7	5,2	
NUVOLOSITA'	%	20	21	25	26	29	34	48	35	34	27	24	22
VENTI		ONO	ONO	ONO	OSO	SE	SE	SE	ESE	E	NO	ONO	ONO
INTENSITA' VENTI	m/s	9	10	10	10	9	7	6	7	7	7	7	8

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 22 AGOSTO 2020

T. MAX	35°C
U.R.	88,8 %
NUVOLOSITA'	70 %
T. MAX	T > 33°C ogni anno
VENTO	18,5 Km/h
PIOGGE	0 mm



VIRTUAL CITY OF ZERO ENERGY HOUSE, TOMIYA CITY, GIAPPONE

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianto di cogenerazione a idrogeno



Impianti solari posti sulle coperture degli edifici pubblici



Impianti fotovoltaici integrati nelle tegole delle coperture



Sistema di energy information grid



ALTO
100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili



Il distretto, secondo gli standard di progettazione giapponese utilizzati, è a **Energia Zero**

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Edifici modulari prefabbricati



MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi



Tutti gli edifici realizzati presentano lo standard energetico giapponese **Zero Energy House (ZEH)**

FUNCTIONAL MIXITÈ'



Smart/Co-working



Co-housing



Social Housing



Minimarket di prossimità



MEDIO
Media presenza di mixitè' sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Gestione completa del ciclo delle acque sin dagli alloggi



Recupero completo di scarti da future demolizioni



MEDIO-ALTO
Elevata gestione della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a guida autonoma



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile



Gli spostamenti sono esclusivamente su **mezzi pubblici** o attraverso **mobilità dolce**

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione di aree urbane e periurbane



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



MEDIO
Media presenza di soluzioni tecnologiche green



Oltre il **60%** della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili secondo il progetto **Green First Zero**

Ginko district Bordeaux, Francia

Descrizione

Ginko district è una delle realizzazioni della società immobiliare di *Bouygues Immobilier UrbanEra*, la quale sostiene le comunità locali nella creazione di quartieri sostenibili che costituiranno la città di domani.

Situato di fronte al Lago Bordeaux e delimitato da *Denis e Eugène Bühler Park*, *Ginko district* è un luogo altamente connesso con 2 fermate di tram, 3 linee di autobus e numerose piste ciclabili, preservando gli spostamenti dolci per una migliore qualità della vita a pochi minuti dal centro di Bordeaux.

La sua architettura è varia e fortemente incentrata ad aspetti bioclimatici: gli edifici, secondo il tema *Energy transition*, sono certificati *BREEAM*, quindi con basso consumo energetico per riscaldamento e raffrescamento e l'integrazione di uso di energie rinnovabili, in particolare la caldaia a biomassa e impianti fotovoltaici posti sulle coperture, definiscono un quartiere con una percentuale di indipendenza energetica pari all'85%. Ogni condominio è delimitato da corridoi verdi, sentieri che attraversano il distretto stesso da nord a sud, infittendosi nel cuore dello stesso.

Come illustrato in precedenza, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness*, gli edifici che compongono il distretto stesso, sia pubblici che privati sono certificati secondo la certificazione energetica *BREEAM* disponendo di avanzati sistemi bioclimatici passivi quali schermature solari passive, atri bioclimatici, serre solari e *buffer space*; inoltre i condomini quando prendono possesso dell'alloggio per la prima volta, ricevono un *vademecum* per le buone pratiche al fine di ridurre i consumi energetici quotidiani.

La *Functional mixité* è incentrata su una serie di servizi per ogni fascia di età disponendo di poli sportivi, di istruzione, funzionali, di *e-commerce* e di servizi di prossimità; inoltre il distretto presenta oltre 25000 mq di spazi per uffici e oltre 30000 mq per servizi commerciali, sono presenti 2700 alloggi distribuiti secondo fasce economiche per canoni calmierati e alloggi privati. Tutti i servizi sono

Bibliografia:

- Flurin, C. (2017), 'Eco-districts: Development and Evaluation. A European Case Study', *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 37, pp. 34–45. doi: 10.1016/j.proenv.2017.03.012.

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/city/fr/ginko-district.html>
- <https://invisiblebordeaux.blogspot.com/2019/07/a-stroll-in-ginko-eco-district.html>
- <https://www.alamy.it/gironde-bordeaux-eco-district-ginko-nel-quartiere-de-bordeaux-lac-vista-aerea-image344767952.html>
- <https://construction.arcelormittal.com/es-en/project/eco-district-ginko-bordeaux>

collegati tra di loro da corridoi verdi e spazi aperti che confluiscono in piazze di ritrovo e convivialità ove eseguire spettacoli e attività all'aperto.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) si struttura secondo una completa gestione delle risorse idriche mediante sistemi di riduzione di flusso negli apparati di ogni singolo alloggio, di cisterne poste nei piani interrati degli edifici con funzione di recuperare le acque meteoriche e grigie; successivamente, eseguito il filtraggio e la depurazione, possono essere riutilizzate per irrigazione degli spazi verdi o per i servizi igienici dell'edificio stesso. Inoltre la raccolta differenziata è fortemente incentrata alla produzione di biomassa per la caldaia che alimenta la rete di teleriscaldamento e produzione di *biocompost* per le attività agricole locali.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) è incentrato esclusivamente su una mobilità dolce; il 50% degli spazi stradali è dedicato alle modalità *soft* e al tram, 6 km di piste ciclabili, quasi 300 stalli per biciclette nelle aree strategiche del distretto, corridoi verdi larghi tra i 15 e 25 m con funzione ciclopedonale, 30 zone nel cuore del distretto e zone di ritrovo limitate a 20 km/h.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) presentano un piano volto a difendere e incrementare la biodiversità presente in loco; sono stati salvaguardati 150 specie arboree e piantumate oltre 1500 nuove specie con alta capacità di mitigazione ambientale e assorbimento di carbonio presente in atmosfera. I corridoi verdi inoltre sono realizzati con materiali semipermeabili e ad alta capacità di assorbimento e stoccaggio di CO₂ all'interno della propria struttura molecolare. Sistemi tecnologici ambientali come impianti di fitodepurazione consentono, in modo naturale, di depurare le acque stoccate dalle cisterne, per reimmetterle successivamente negli edifici stessi. Il distretto infine presenta una copertura di spazi permeabili e semi permeabili pari al 45% dell'area complessiva del sito.

GINKO DISTRICT, BORDEAUX, FRANCIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Cour de québec 33000, Bordeaux, Francia

Progettista: Bouygues Immobilier / UrbanEra

Coordinatore del progetto: Amministrazione locale e partner privati

Area: 32 ha

Abitanti: 5400 ab.

Anno di progettazione: 2005

Anno di inizio realizzazione: 2006



Latitudine
44°50'19"N
Longitudine
0°34'42"E

Altezza
6 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

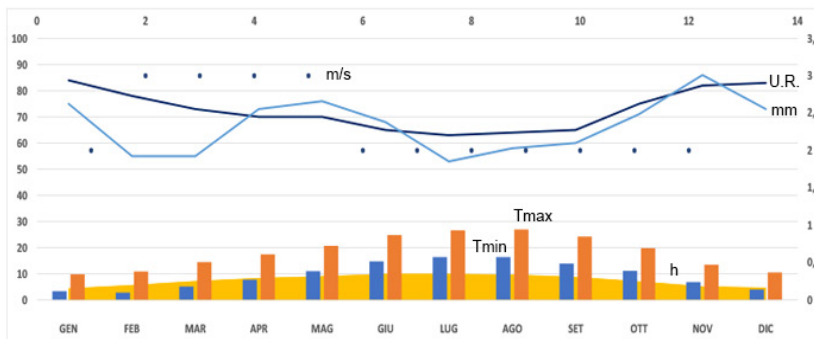
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	3,3	2,8	5,1	7,7	11	14,7	16,4	16,4	13,9	11,1	6,8	4
	MAX °C	9,8	10,9	14,5	17,4	20,7	24,8	26,6	26,9	24,2	19,8	13,5	10,5
	MEDIA °C	6,4	6,6	9,7	12,5	15,9	19,8	21,5	21,5	18,9	15,1	10	7
UR	%	84	78	73	70	70	65	63	64	65	75	82	83
PRECIPITAZIONI	mm	75	55	55	73	76	68	53	58	60	71	86	73
	h	130	155	220	250	270	290	305	295	255	220	155	140
H tot SOLE gg	h	4,3	5,6	7,1	8,3	9	9,9	9,9	9,6	8,7	7	5,1	4,6
NUVOLOSITA'	%	45	35	33	28	25	24	22	20	15	10	33	49
VENTI		50	0	050	050	0	0	0	0	0	0	550	050
INTENSITA' VENTI	m/s	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 24 LUGLIO 2019

T. MAX	38°C
U.R.	94 %
NUVOLOSITA'	20 %
T. MAX	T > 32°C ogni anno
VENTO	18,5 Km/h
PIOGGE	0 mm



GINKO DISTRICT, BORDEAUX, FRANCIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianto a biomassa



Impianto di teleriscaldamento



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Integrazione di una caldaia a biomassa con distribuzione del calore attraverso una rete di teleriscaldamento

ALTO
85%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Buffer space



Tutti gli edifici realizzati presentano la certificazione ambientale BREEAM

MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITE'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Sedi d'istruzione



Social Housing



Studentato



Centro polifunzionale



ALTO
Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Gestione e ottimizzazione del ciclo delle acque



Produzione di energia dai rifiuti organici per teleriscaldamento



Produzione biocompost



ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a trazione elettrica



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



Il 50% delle sedi viarie è destinato alla mobilità dolce

ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Presenza di bacini di fitodepurazione



Oltre il 45% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

MEDIO-ALTO
Alta presenza di soluzioni tecnologiche green, Media presenza di soluzioni tecnologiche grey

Grand Parilly district Vènisieux, Francia

Descrizione

Grand Parilly district nasce su 20 ettari di terreno agricolo: racchiuso tra una tangenziale, un'area dedicata all'industria e aree di varie attività, ma situata nel punto d'incontro di Lione e Vènisieux. La sfida di questo rinnovamento e di questo ampliamento è grande: collegare i due comuni immaginando il futuro e la metamorfosi dell'intero settore ai lati di *Boulevard Laurent Bonnevey* per i prossimi 20 anni. Si tratta di realizzare un nuovo distretto dimostrando la possibilità di far vivere un quartiere urbano che mescoli l'*habitat* residenziale con il settore terziario. Questo progetto, pur integrando due grandi marchi come Ikea e Leroy Merlin presenta tutti i criteri di un progetto sostenibile con l'obiettivo primario di realizzare un quartiere "di prossimità", in connessione con la città stessa e il paesaggio.

Si tratta di un progetto di sviluppo di iniziativa privata di interesse generale guidato da *Lionheart* (una controllata di Immobilière Leroy Merlin), sostenuto dalla *Métropole di Lione* e dal Comune di Vènisieux. L'approccio globale è nuovo e ha anche la particolarità di essere incluso nelle sfide del *Territorial Coherence Scheme* (SCOT). Fondare una multipolarità unita sullo sviluppo dell'identità e dei valori culturali è parte integrante della riflessione, proponendosi anche di ripensare le pratiche urbane.

L'*Energy Transition* viene strutturato attraverso un sistema di impianti fotovoltaici e solari poste sulle coperture di edifici pubblici e privati al fine di coprire parte del fabbisogno energetico, attualmente al 55% e ACS. Con il completamento della costruzione degli edifici, certificati *BREEM* e con ridotti fabbisogni energetici l'implementazione degli impianti attuale con il completamento di una rete di teleriscaldamento, fornirà l'indipendenza energetica da fonti energetiche di origine fossile.

Ogni progetto di costruzione che compone l'intero *Grand Parilly district* è soggetto a una consultazione secondo un capitolato d'oneri e un Capitolato Architettonico, Urbano, Paesaggistico e Am-

Bibliografia:

- MMAP (2017), *Grand Parilly, le quartier proche de vous, proche de tout*, Metropole de Lyon.

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/france/city/h/grand-parilly-district.html>

- <https://www.grandparilly.fr/>

- <https://www.ville-venissieux.fr/Developpement-de-la-ville/Projets/Grands-projets/Grand-Parilly>

bientale (CPAUPE). Questi due elementi, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness*, anticipano una avanzata progettazione bioclimatica, un approccio volto ad esaltare il *comfort* e garantire il piacere di vivere secondo serre solari, schermature solari passive, atrii bioclimatici al fine di captare l'illuminazione naturale all'interno degli edifici. Tutti gli edifici, residenziali e commerciali, sono certificati secondo lo *standard* energetico BREEAM con diversi livelli di acquisizione.

La *Functional mixité and proximity* definisce il quartiere misto negli usi; vi sono tutte le funzioni necessarie, primarie e secondarie, per una vita di quartiere comoda, sicura e di vicinato. Tutto ciò è garantito da un *mix* funzionale di abitazioni residenziali per studenti, forme di *social housing* e *cohousing*, forme di canone calmierato, servizi, strutture pubbliche, hotel, attività ricreative e spazi pubblici.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) si concentra principalmente sulla completa gestione del ciclo delle acque attraverso sistemi di recupero idrico proveniente dagli edifici a dagli spazi aperto. Vasche naturali e cisterne interrante di captazione forniscono quantitativi idrici per irrigazione degli spazi aperti e fornitura ai servizi igienici. Inoltre una attenta gestione del ciclo dei rifiuti favorisce la produzione di *biocompost* per le attività agricole locali.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) è garantito da un forte collegamento tra i principali poli logistici ed economici e il cuore della città di Lione secondo stazioni della metropolitana, del tram e dell'aeroporto posto a circa 20 minuti. L'intero progetto rientra nella concezione di "quartiere dei 15 minuti" ove la mobilità, prevalentemente pubblica e dolce, collega servizi primari e secondari con altre polarità. Forme di *car e bike sharing* incentivano la mobilità condivisa con la disposizione di parcheggi posti ai piani interrati degli edifici eliminando gli stalli a raso, quest'ultimi garantiti solo ed esclusivamente al carico e scarico merci.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) si basano principalmente su un programma di forestazione urbana con specie ad alta capacità di mitigazione ambientale e di sistemi tecnologici ambientali come *rain garden*, *wetland* e *bioswales* al fine mitigare i fenomeni di isola di calore e ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera.

GRAN PARILLY DISTRICT, VENISSIEUX, FRANCIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Rue Simone Veil 69200 Venissieux, Francia

Progettista: Lionheart

Coordinatore del progetto: D2P: AMO Developer

Area: 20 ha

Abitanti: 20000 ab.

Anno di progettazione: 2008

Anno di inizio realizzazione: 2009

Anno di completamento: in corso



Latitudine
45°41'N
Longitudine
4°53'E

Altezza
186 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

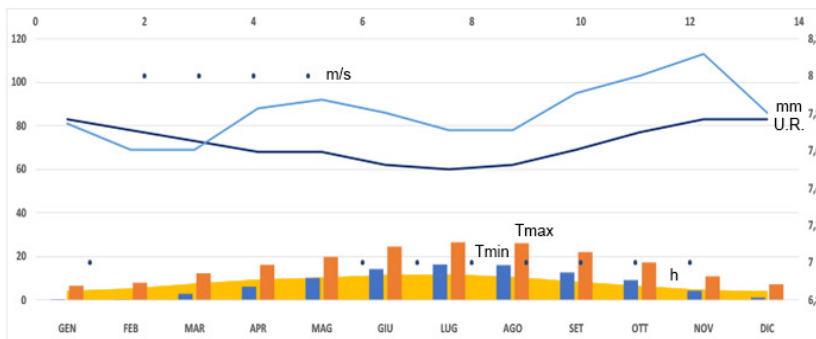
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
TEMPERATURA	MIN °C	0,2	0,1	2,8	6,1	10,1	14,2	16,3	16	12,6	9,1	4,2	1,1
	MAX °C	6,5	7,9	12,3	16,1	19,8	24,5	26,5	26,1	22	17,2	10,8	7,2
	MEDIA °C	3,2	3,9	7,5	11,3	15,2	19,5	21,6	21,1	17,2	13	7,4	4
UR	%	83	78	73	68	68	62	60	62	69	77	83	83
PRECIPITAZIONI	mm	81	69	69	88	92	86	78	78	95	103	113	86
H tot SOLE	h	130	140	230	270	320	340	360	320	250	190	130	100
H tot SOLE gg	h	4	5,2	7,4	9,3	10,1	11,4	11,7	10,5	8,3	6,3	4,5	3,9
NUVOLOSITA'	%	55	45	40	33	29	22	20	20	25	35	50	65
VENTI		0	NO	NNO	NO	NNO	NNO	N	N	N	50	5	550
INTENSITA' VENTI	m/s	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 25 LUGLIO 2019

T. MAX	41,5°C
U.R.	57,8 %
NUVOLOSITA'	44 %
T. MAX	T > 35°C ogni anno
VENTO	27,5 Km/h
PIOGGE	0 mm



GRAN PARILLY DISTRICT, VENISSIEUX, FRANCIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianti solari per la produzione di ACS



Impianto di teleriscaldamento



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



MEDIO
55%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi



Tutti gli edifici realizzati presentano lo standard energetico **BREEAM**

FUNCTIONAL MIXITE'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Sedi d'istruzione



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



ALTO
Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Produzione biocompost locale



Uso e riuso del ciclo delle acque di edifici e spazi aperti



Medio-Alto
Elevata gestione della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a trazione mild hybrid



Bike sharing



Linee filo-metro-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



ALTO
>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



MEDIO
Media presenza di soluzioni tecnologiche green



Oltre il 50% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili o semipermeabili

Montévrain Eco-District

Montévrain, Francia

Descrizione

L'eco-distretto di Montévrain si trova a sud della città di Montévrain su una superficie di circa 153 ettari. Alla fine della costruzione ospiterà quasi 3000 abitazioni, hotel, locali commerciali, uffici, servizi e negozi al piano terra degli edifici e molte strutture pubbliche (gruppi scolastici, centri ricreativi, asili nido, complessi sportivi, centro di istruzione superiore, ecc.). Oggi, la programmazione economica e residenziale è molto avanzata e vincente sia nella sua diversità funzionale che nei collegamenti creati tra l'*habitat* e le dinamiche delle aree occupazionali del settore. La sua posizione ideale vicino ai centri di lavoro di *Val d'Europe*, *Euro Disney* e diversi parchi commerciali consente la programmazione di numerosi negozi e oltre 150000 mq di terziario che si sviluppano ai piedi della stazione RER.

Una Carta per lo sviluppo sostenibile è stata firmata ad hoc dal comune di Montévrain e da *EPAMARNE* nell'ottobre 2011, che funge da guida per tutte le parti interessate pubbliche e private coinvolte nell'ecoquartiere, nonché per i residenti e gli utenti. Al momento, l'eco-distretto è impegnato nella seconda fase per l'acquisizione dell'etichettatura *Ecoquartier*.

L'*Energy Transition* viene garantita attraverso un sistema integrato di impianti fotovoltaici posti sulle coperture degli edifici con impianti solari per la produzione di ACS; tale *mix* energetico garantisce un'autonomia energetica del distretto superiore al 50%. Gli edifici inoltre sono già concepiti per rispondere ad alti parametri di certificazione energetica locale al fine di abbattere drasticamente i fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento.

Gli edifici, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness* sono concepiti secondo avanzati sistemi bioclimatici passivi come serre solari, *buffer space*, schermature solari passive e atrii bioclimatici in grado di incrementare il *comfort* bioclimatico all'interno e ridurre i carichi energetici. Gli edifici inoltre sono realizzati prevalentemente in legno, un materiale con alte capacità *embodied carbon*, contribuendo così alla riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera.

Bibliografia:

- Vivapolis (2019), *Innovative solution for sustainable cities-Nature in the city*, Ministère de la transition écologique et solidaire, Francia.

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/france/city/h/montevrain-eco-district.html>
- <https://www.pinterest.ca/pin/472737292118875872/>

La *Functional mixité and proximity* si basa principalmente sulla concezione di un parco agri urbano, un progetto eco-sostenibile ove ruotano servizi primari e secondari, uffici, e forme di alloggio sociale con canoni calmierati e compatibili con le diverse fasce economiche che compongono il quartiere. Con 40 anni di sviluppo urbano ed economico riconosciuto; seguendo tale concezione il territorio amministrativo *Marne-la-Vallée*, ove ricade l'eco quartiere, conta oggi 320000 abitanti, 19500 imprese e 142000 posti di lavoro. Ogni anno, questa zona dinamica, situata a pochi minuti dal centro di Parigi, accoglie 4.500 nuovi residenti e genera la creazione di oltre 2000 posti di lavoro. Importante risulta il programma di costruire alloggi di qualità economicamente accessibili a tutti: per consentire a chiunque di svolgere tutti i suoi corsi residenziali in città, la programmazione partecipata promuove la diversità degli alloggi (libera adesione, adesione o collocazione sociale). Il costo dell'alloggio sarà calmierato per tutte le tipologie di nuclei: famiglie, studenti, giovani professionisti, anziani, potendo contare sulla collaborazione di donatori o gestori di alloggi assistiti: ciò promuove la diversità sociale negli edifici residenziali.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) si basa principalmente su due assi portanti, il primo una attenta gestione delle risorse idriche sin dagli scarichi degli alloggi al fine di ottimizzare i consumi, gli sprechi e recuperare le stesse attraverso impianti dedicati per rendere successivamente disponibile della risorsa per irrigazione o alimentazione dei servizi igienici. Il secondo si basa su una gestione completa dei rifiuti con una raccolta differenziata attenta, mirata, ove recuperare ogni frazione. La frazione organica viene principalmente destinata come *biocompost* per il parco agri urbano.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) è costituito da una strategia di mobilità principalmente dolce, con il forte incentivo all'utilizzo di forme di *car and bike sharing* e di trasporto pubblico a trazione elettrica. Il quartiere è capillarmente collegato con reti filo-tramviarie e linee bus ai limitrofi poli economici e produttivi.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) si basano principalmente sulla conservazione della biodiversità locale attraverso la progettazione di parchi urbani con forte presenza di specie arboree locali con alte capacità di mitigazione ambientale e di stoccaggio di CO₂. Contribuiscono a tali strategie soluzioni di tipo *grey* in quanto gli edifici, costruiti con materiali naturali come il legno, costituiscono dei veri e propri *carbon sinks*.

MONTEVRAIN ECO-DISTRICT, MONTEVRAIN, FRANCIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Montevrain, Francia

Progettista: Atelier Philippe Madec

Coordinatore del progetto: EPAMARNE

Area: 153 ha

Abitanti: 10000 ab.

Anno di progettazione: 2008

Anno di inizio realizzazione: 2009

Anno di completamento: in corso



Latitudine
48°52'N
Longitudine
2°45'E

Altezza
105 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

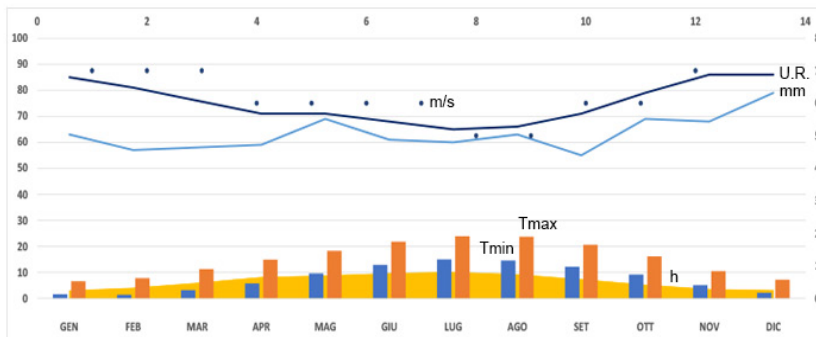
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	1,6	1,4	3,2	5,8	9,6	12,9	15	14,6	12,2	9,2	5,1	2,2
	MAX °C	6,6	7,8	11,3	14,9	18,3	21,8	23,9	23,7	20,6	16,2	10,5	7,2
	MEDIA °C	4,1	4,5	7,2	10,5	14,1	17,6	19,6	19,4	16,2	12,5	7,8	4,7
UR	%	85	81	76	71	71	68	65	66	71	79	86	86
PRECIPITAZIONI	mm	63	57	58	59	69	61	60	63	55	69	68	79
H tot SOLE	h	87	124	179	240	258	285	310	330	282	158	105	96
H tot SOLE gg	h	3	4	5,9	8,1	8,7	9,6	10,1	9,2	7,3	5,2	3,5	3,1
NUVOLOSITA'	%	61	44	40	30	31	33	15	12	20	33	49	65
VENTI		50	50	NO	NNE	ONO	NO	ONO	OSO	ONO	SO	SSO	SO
INTENSITA' VENTI	m/s	7	7	7	6	6	6	6	5	5	6	6	7

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 25 LUGLIO 2019

T. MAX	42°C
U.R.	64,9 %
NUVOLOSITA'	30 %
T. MAX	T>35°C ogni anno
VENTO	27,8 Km/h
PIOGGE	0 mm



Scheda caso studio n.17

MONTEVRAIN ECO-DISTRICT, MONTEVRAIN, FRANCIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianti solari per la produzione di ACS



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



MEDIO

60%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



MEDIO-ALTO

Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi



Tutti gli edifici realizzati presentano ridotti fabbisogni energetici

FUNCTIONAL MIXITE'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



ALTO

Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Produzione biocompost locale



MEDIO

Buona circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a guida autonoma



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



ALTO

>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile



Oltre l'87% degli spostamenti pubblici sono eseguiti su ferro e su gomma a trazione elettrica.

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Edifici realizzati con materiali ad alta capacità embodied carbon



MEDIO-ALTO

Alta presenza di soluzioni tecnologiche green. Media presenza di soluzioni tecnologiche grey



Oltre il 60% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

City-zen Amsterdam, Paesi Bassi

Descrizione

City-zen è stato un progetto congiunto di Amsterdam, Grenoble e 28 *partner* a cui sono stati concessi finanziamenti dell'UE per sviluppare e dimostrare città efficienti dal punto di vista energetico e per costruire una metodologia e strumenti per città, industrie e cittadini per raggiungere gli obiettivi 20-20-20 secondo un ambizioso obiettivo di ridurre le emissioni di CO₂ del 40% rispetto al 1990 entro il 2025.

Sebbene i progetti dimostrativi *City-zen* si svolgano nelle città intelligenti all'avanguardia di Amsterdam e Grenoble, l'obiettivo del progetto è condividere la sua conoscenza ed esperienza con altre città europee, non solo dimostrando ad altri come può essere fatto nei Paesi Bassi e in Francia, ma ragionando in modo "glocale" - combinando competenze specialistiche globali con l'energia degli *stakeholder* locali e la conoscenza del contesto e dello stile di vita sul posto. Ciò si ottiene con una metodologia unica chiamata *City-zen Roadshow*. Per un periodo di 4 anni, il *team* di *City-zen Roadshow* visiterà 10 città che cercano una guida esperta su come diventare più sostenibili e muoversi verso la neutralità energetica. Il *team* aiuterà queste città e i loro quartieri a sviluppare un'agenda sostenibile o, in altre parole, una *City Vision* sostenibile. Il *roadshow* trascorre 5 giorni in ciascuna città ospitante per offrire *workshop* sull'energia e sulla progettazione urbana in cui tutti gli *stakeholder* locali sono i benvenuti e incoraggiati a partecipare e ad assumersi la responsabilità dei risultati finali. Questi risultati consentiranno alle risorse, alle persone, alla conoscenza e al potenziale di energia rinnovabile di ogni città di essere indirizzate in modo efficace su un arco di tempo realizzabile che soddisfa la loro transizione energetica. Il processo inizia identificando lo stile di vita urbano e le sfide energetiche di un quartiere. Quindi, nel giorno finale dell'evento, viene presentata alla città una *City Vision* sostenibile definitiva che risponde a tutti i livelli del loro ambiente naturale e costruito.

L'*Energy Transition* secondo gli obiettivi europei di transizione energetica verso fonti energetiche rinnovabili presenta tre pilastri principali, una produzione di energia da solare fotovoltaico con una progressiva produzione

Bibliografia:

- CEA, CCIAG (2016), *Presentation of an innovative thermal loop combining phase change material thermal storage, solar energy and demand-side management*, 2nd international conference on smart energy systems and 4th generation district heating, 27-28 September 2016, Amsterdam.

- TU Delft (2015), *The City-zen approach for urban energy master plans addressing technical opportunities + non technical barriers*, 5th CIB international conference on smart and sustainable built environments (SASBE), 9-11 December 2015, University of Pretoria, Pretoria, South Africa.

Sitografia:

- <http://www.cityzen-smartcity.eu/home/demonstration-sites/amsterdam/>

- <https://cordis.europa.eu/project/id/608702/it>

- <https://eurocities.eu/latest/cityzen-new-urban-energy-learn-from-the-past-and-shape-the-future/>

- <https://www.rhc-platform.org/project/city-zen-a-balanced-approach-to-the-city-of-the-future/>

(9MW nel 2016, 160MW nel 2025, 1000MW nel 2040) coinvolgendo oltre 40000 abitazioni. Un secondo pilastro riguarda un progetto di energia eolica con una produzione elettrica di 250MW al 2025, 400MW al 2040. Il terzo pilastro riguarda una rete di teleriscaldamento con un incremento progressivo delle abitazioni coinvolte per arrivare al 2100 a oltre 100000 abitazioni. La città di Amsterdam si è prefissata di raggiungere la neutralità climatica intervenendo, per il *Bio-Climate Responsiveness*, alla riqualificazione energetica dei manufatti edilizi introducendo avanzati sistemi bioclimatici passivi come logge solari, *buffer spaces* e sistemi di schermatura solari passivi e la realizzazione di cappotti isolanti esterni. Oltre 1000 edifici verranno dichiarati *zero-energy* nel 2025, grazie alla riduzione e progressivo azzeramento di costi per riscaldamento e raffrescamento.

La *Functional mixité and proximity* è caratterizzata da una presenza completa di servizi primari e secondari, posti principalmente ai piani terra degli edifici, al fine di creare una *grid* di servizi per la concezione di "quartiere di 15 minuti". Sono inoltre presenti spazi aperti e piazze di condivisione di attività all'aperto con integrati sistemi di mitigazione ambientale.

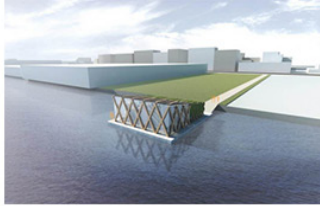
La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) sarà completata entro il 2050 raggiungendo un ciclo completo, virtuoso e sostenibile utilizzando tutte le risorse quali acqua, energia, materiali, cibo e scarti associati. Grazie ad un sistema circolare di nutrienti, la città e la sua regione al 2050 saranno diventate particolarmente efficaci nella produzione di cibo e acqua pulita, compreso un sistematico *urban farming* che sta cominciando fin d'ora ad essere realizzato in spazi liberi esterni, sui tetti degli edifici, e in edifici sfitti o in disuso sotto forma di *Vertical farming*, anche a servizio del bisogno di spazi verdi all'aperto e di biodiversità.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) si basa su piano di *Mobility Grid* incentrato su tre programmi pilota: *Vehicle-to-Grid (V2G)*, *Virtual Powerplant (VPP)* e *End-to-End Smartification (E2E)*. Quest'ultimo si concentrerà sull'inserimento di unità terminali remote intelligenti (RTU) e sensori in posizioni cruciali in tutta la rete elettrica di Amsterdam. Nello specifico il *VPP* sarà sperimentato nel quartiere appositamente selezionato di *Brouwersgracht*, mentre il *V2G* si concentrerà sul quartiere di *Slotermeer*.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey (Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions)* sono costituite da ampie superfici verdi riqualificate grazie a programmi di rimboschimento e imboschimento con specie ad alta capacità di mitigazione ambientale. I percorsi pedonali inoltre sono realizzati con superfici semi-permeabili e con alta capacità di assorbimento e cattura di CO₂.

CITY-ZEN, AMSTERDAM, PAESI BASSI

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Amsterdam, Paesi Bassi

Progettista: Amministrazione locale con partner pubblici e privati

Coordinatore del progetto: Unione Europea

Area: 2,5 ha

Abitanti: 2000 ab.

Anno di progettazione: 2014

Anno di inizio realizzazione: 2016

Anno di completamento: in corso

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

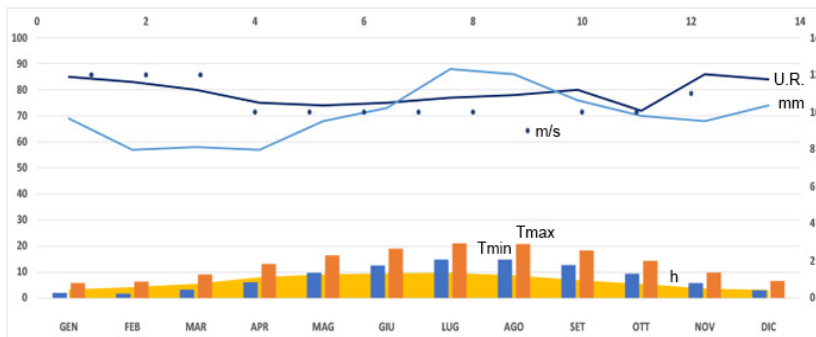
- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento



Latitudine
52°22'N
Longitudine
4°52'E

Altezza
-2 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

DATI CLIMATICI



		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
TEMPERATURA	MIN °C	2	1,7	3,2	6,1	9,7	12,5	14,8	14,8	12,7	9,4	5,8	3
	MAX °C	5,8	6,3	9,1	13,1	16,4	19	21	20,8	18,3	14,3	9,8	6,6
	MEDIA °C	3,9	3,9	6,1	9,6	13,1	15,8	18	17,8	15,4	11,8	7,8	4,9
UR	%	85	83	80	75	74	75	77	78	80	72	86	84
PRECIPITAZIONI	mm	69	57	58	57	68	73	88	86	76	70	68	74
H tot SOLE	h	100	120	160	240	280	290	300	265	210	165	120	80
H tot SOLE gg	h	3,3	4,2	5,5	8	9,1	9,5	9,7	8,7	6,9	5,4	3,7	3,1
NUVOLOSITA'	%	80	49	48	33	30	27	25	25	31	40	54	78
VENTI		50	550	050	NO	0NO	0	0	050	050	550	550	550
INTENSITA' VENTI	m/s	12	12	12	10	10	10	10	10	9	10	10	11

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 25 LUGLIO 2019

T. MAX	36°C
U.R.	94 %
NUVOLOSITA'	30 %
T. MAX	T>30°C ogni anno
VENTO	18,5 Km/h
PIOGGE	0 mm



Scheda caso studio n.18

CITY-ZEN, AMSTERDAM, PAESI BASSI

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianto eolico da 250 MW entro il 2025



Impianto di teleriscaldamento



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali con una produzione al 2040 di 1000 MW



1000 abitazioni entro il 2025 verranno certificate Zero emission per i costi di energia

ALTO
>100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Miglioramento delle performance energetiche degli involucri



MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXIT'



Smart/Co-working



Co-housing



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



MEDIO-ALTO
Elevata presenza di mixitè sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Urban farming



Produzione di energia dai rifiuti per teleriscaldamento



Produzione biocompost



ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a guida autonoma



Bike sharing



Linee filo-tramviarie



Car sharing a trazione elettrica



La mobilità si basa sul concetto di Mobility Grid



ALTO
>80% sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti



Incremento di superfici semipermeabili con capacità di assorbimento inquinanti



MEDIO
Media presenza di soluzioni tecnologiche green, Media presenza di soluzioni tecnologiche grey

Helsingborg - Oceanhamnen Malmo, Svezia

Descrizione

H22 è la principale iniziativa di città intelligente di Helsingborg, che fa di Helsingborg la seconda città in *iCapital - European Capital of Innovation Award 2020*. Il piano comunale per il clima e l'energia definisce linee strategiche per rendere Helsingborg climaticamente neutrale entro il 2035. Oltre a vantaggi ambientali, la collaborazione con società che hanno costituito nel tempo la *Samvärme Helsingborg*, ha avuto un altro effetto positivo: la riduzione delle emissioni di *gas* climalteranti. In uno studio scientifico 2014 di Gustav Lindström e Christoffer Ohlander presso il Dipartimento di Economia e Sviluppo Industriale dell'Università di Linköping, si è quantificato che il risparmio di CO₂ è stato calcolato in circa 1,6 milioni di tonnellate dal 1974 al 2012. Ciò equivale a 42.000 viaggi di passeggeri aerei tra Stoccolma e New York ogni anno.

Il tema *Energy Transition* presenta un articolato sistema di teleriscaldamento e teleraffrescamento alimentato dal recupero e trattamento delle acque grigie; il fabbisogno energetico è soddisfatto mediante un *mix* energetico costituito da pannelli fotovoltaici (220 mq) in copertura agli edifici, impianti di micro eolico da 2 MW, e da una caldaia a biomassa da 5,5 MW. Inoltre i residenti sono in grado, da remoto, di conoscere in tempo reale il consumo energetico della propria abitazione secondo un sistema di *energy grid* tra gli edifici. Gli edifici, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness* presenta avanzati sistemi bioclimatici passivi in grado di captare l'illuminazione naturale all'interno delle abitazioni. La progettazione degli edifici, a seguito di specifiche analisi fluidodinamiche, ha incluso sistemi di serre solari, *buffer space* nelle aree a nord e ampie superfici vetrate a sud, seguendo quindi il percorso solare. Le abitazioni inoltre sono certificate secondo lo *standard* energetico nazionale *ECO* per i consumi in riscaldamento e raffrescamento.

La *Functional mixité and proximity* è progettata secondo una piattaforma di collaborazione e partecipazione tra le aziende locali e i residenti con l'obiettivo di migliorare la vita dei fruitori e dei lavoratori.

Bibliografia:

- Van der Grijp, N. et al. (2019), 'Demonstration projects of Nearly Zero Energy Buildings: Lessons from end-user experiences in Amsterdam, Helsingborg, and Lyon', *Energy Research & Social Science*, Vol. 49, pp. 10–15. doi: 10.1016/j.erss.2018.10.006.

- Semadeni-Davies, A. et al. (2008), 'The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system', *Journal of Hydrology*, Vol. 350, pp. 100–113. doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.05.028.

Sitografia:

- <https://hplus.helsingborg.se/etapper/oceanhamnen/>

- <https://www.sernekebostad.se/hitta-bostad/vara-omraden/oceanhamnen-helsingborg/>

- <https://www.castellum.se/vara-projekt/greenhaus-oceanhamnen-helsingborg/>

- <https://run4life-project.eu/demosites/helsingborg-se/>

Sono presenti nello specifico 543 nuove abitazioni residenziali con canoni concordati con l'amministrazione in funzione delle fasce economiche sociali, 259 abitazioni ristrutturate secondo gli odierni *standard* energetici e oltre 38000 mq di servizi terziari posti principalmente al piano terra degli edifici fornendo concrete opportunità di posti di lavoro in loco per i residenti. Entro il 2035 il progetto prevede oltre 5000 nuove residenze e edifici per servizi quali scuole e servizi comunali, 1000 nuove residenze per un indotto complessivo di 40000 potenziali nuovi abitanti.

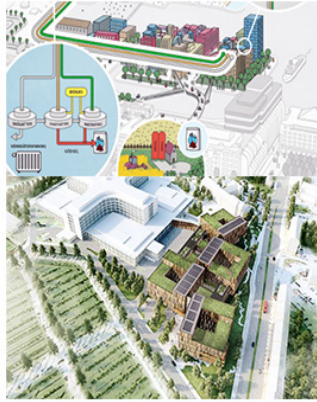
La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) si basa principalmente sulla concezione innovativa di progettare una linea a tre condotti di scarico, un condotto raccoglie i rifiuti alimentari organici destinati alla produzione di *biogas*, un secondo per il recupero e trattamento delle acque nere e un terzo per le acque grigie; quest'ultime vengono trattate e reimmesse in circolo degli edifici per gli scarichi o per alimentare la rete di teleriscaldamento e teleraffreddamento.

Il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) è incentrato sulla concezione di mobilità dolce attraverso impiego di capillari sistemi di *car* e *bike sharing* e di piste ciclopedonali. Sono inoltre presenti linee bus a trazione *biogas* e traghetti a trazione elettrica per collegare il quartiere con i principali nodi di scambio posti a nord.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) hanno posto come obiettivo principale il recupero degli spazi aperti fortemente degradati in quanto prima destinati a discarica. Soluzioni tecnologico-ambientali mirano quindi alla bonifica e alla riforestazione urbana con oltre 8000 specie arboree in grado di assorbire gli inquinanti nel sottosuolo e al tempo stesso ridurre le concentrazioni di CO₂ in atmosfera.

HELSINGBORG, OCEANHAMNEN, MALMO, SVEZIA

SCHEMA PILOTA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Helsingborg, Oceanhamnen, Svezia

Progettista: Amministrazione comunale

Coordinatore del progetto: Oltre 50 partner pubblici e privati con la collaborazione del governo centrale e delle pubbliche università

Area: 78 ha

Abitanti: 40000 ab.

Anno di progettazione: 2012

Anno di inizio realizzazione: 2018

Anno di completamento: in corso



Latitudine
55°35'35.48"N
Longitudine
13°01'17.12"E

Altezza
12 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

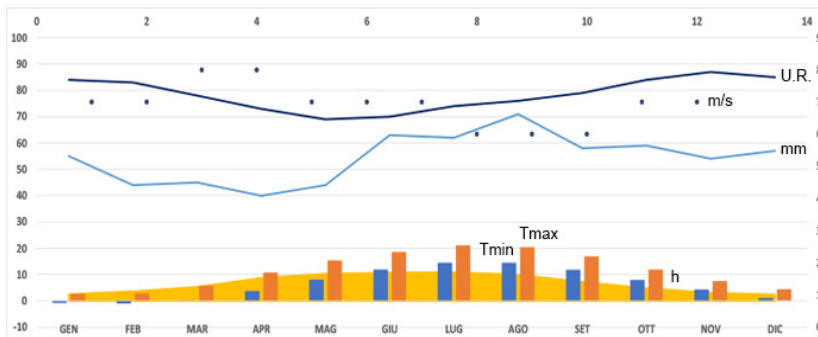
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

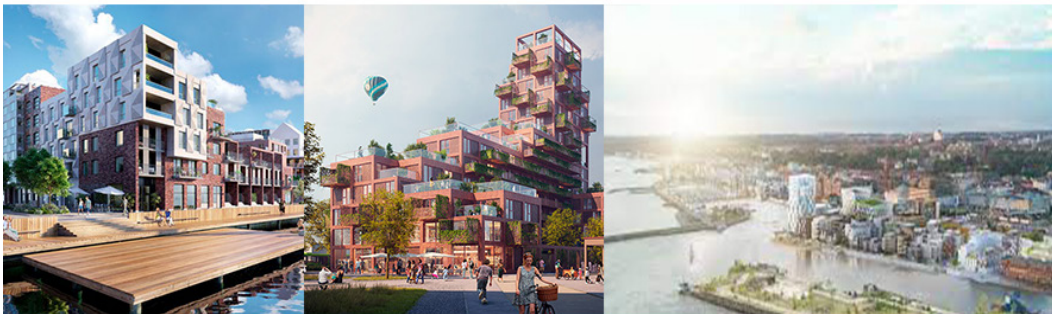
DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
MIN °C	-0,8	-1	0,1	3,7	8,1	11,9	14,5	14,5	11,8	7,9	4,3	1,1
MAX °C	2,7	2,9	5,7	10,8	15,4	18,6	21,1	20,4	16,9	11,9	7,5	4,4
MEDIA °C	1	1	2,9	7,2	11,9	15,5	18	17,5	14,3	9,9	6	2,8
UR %	84	83	80	74	71	70	72	75	78	82	86	86
H tot SOLE h	60	100	160	260	320	325	330	310	220	150	80	60
H tot SOLE gg	2,5	3,6	5,3	8,7	10,3	10,7	10,9	9,9	7,2	4,8	3,1	2,4
NUVOLOSITA' %	70	65	45	30	27	25	23	20	29	40	55	71
VENTI INTENSITA' VENTI m/s	7	7	8	8	7	7	7	6	6	6	7	7

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 16 LUGLIO 2021

T. MAX	29°C
U.R.	88,4 %
NUVOLOSITA'	70 %
T. MAX	T > 29°C ogni anno
VENTO	22,2 Km/h
PIOGGE	0 mm



HELSINGBORG, OCEANHAMNEN, MALMO, SVEZIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION



Impianto geotermico da 40 Mw



Impianto di teleriscaldamento e teleraffreddamento



Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Impianto di micro eolico



Fabbisogno energetico soddisfatto da un preciso e mirato **mix energetico**

ALTO
100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS



Schermature solari passive



Atrii bioclimatici



Serre solari



Buffer space



Tutti gli edifici realizzati presentano lo standard energetico **ECO**

ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITÈ'



Smart/Co-working



Co-housing



E-commerce



Sedi d'istruzione



Social Housing



Studentato



Minimarket di prossimità



ALTO
Alta presenza di mixitè sociale

RESOURCES CIRCULARITY



Utilizzo responsabile e circolare delle risorse



Gestione completa del ciclo dei rifiuti



Innovativo sistema di scarico a tre condotti



Produzione di energia dai rifiuti per teleriscaldamento



Produzione biocompost



ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY



Linee bus a trazione biogas



Bike sharing



Traghetti a trazione elettrica



Car sharing a trazione elettrica



Oltre l'**85%** degli spostamenti sono pubblici con mezzi a trazione elettrica



ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS



Gestione circolare del ciclo delle acque



Forestazione e riforestazione di aree urbane e periurbane



Riqualificazione di spazi aperti precedentemente destinati a discarica



MEDIO
soluzioni tecnologiche green

Hammarby Sjöstad Stoccolma, Svezia

Descrizione

Hammarby Sjöstad è un quartiere di 200 ettari, 160 ettari di superficie terrestre e 40 di superficie acquatica, situato nella parte meridionale della città di Stoccolma, a circa 4 km dal centro urbano, e si affaccia su una sponda del lago Hammarby Sjö per il quale è anche definito "*Hammarby Lake City*". Il nuovo quartiere sorge su di una vecchia area portuale e industriale, che è stata bonificata e riconvertita in una zona residenziale, commerciale e per i servizi terziari, al cui completamento, ospiterà circa 26.000 abitanti e 10.000 posti di lavoro. L'area, in precedenza impiegata da famiglie benestanti come zona residenziale di campagna, fu acquistata negli anni '20 dalla municipalità di Stoccolma, allo scopo di essere destinata a zona produttiva. Nel 1990 il Piano Regolatore convertì quest'area in una zona di recupero ed espansione residenziale, necessaria per affrontare il notevole aumento demografico cittadino conseguente all'aumento della natalità e all'immigrazione interna e dall'estero. Le dimensioni dell'intervento resero necessaria l'attivazione di un sistema gestionale innovativo in cui la Municipalità di Stoccolma si è riservata il ruolo di coordinamento, coinvolgendo efficacemente soggetti pubblici e privati. La qualità architettonica e paesaggistica venne costantemente monitorata tramite strumenti di pianificazione/progettazione condivisi tra l'Amministrazione e i costruttori definiti "*Quality Program*". Particolare attenzione venne dedicata alla conformazione urbana, ai fronti edificati su aree pubbliche e private, alla progettazione degli spazi a uso pubblico, delle strade e dei giardini. Imponendo rigidi *standard* ecologici. Per il tema *Energy Transition* le abitazioni progettate raggiungono mediamente un consumo energetico pari a 72 kWh/mq/anno di cui la metà deriva dall'incenerimento di rifiuti domestici non riciclabili; la quota restante viene soddisfatta attraverso impianti fotovoltaici posti sulle coperture, un impianto di cogenerazione che alimenta una rete di teleriscaldamento per tutto il quartiere e parte della città di Stoccolma e da bio-olio derivato dalla energia idrica delle acque di scarico trattate. Inoltre le cucine degli alloggi sono alimentate al 50% da *biogas*. Gli edifici, secondo il tema del *Bio-Climate Responsiveness* sono

Bibliografia:

- Iveroth, S. P., Johansson, S. and Brandt, N. (2013), ‘The potential of the infrastructural system of Hammarby Sjöstad in Stockholm, Sweden’, *Energy Policy*, vol. 59, pp. 716–726. doi: 10.1016/j.enpol.2013.04.027.

- Olson, P., Svane, Ö. and Gullström, C. (2021), ‘Mind the gap! Backcasting local actors’ climate transition in Hammarby Sjöstad, Stockholm’, *Futures*, vol. 128. doi: 10.1016/j.futures.2021.102703.

- Pandis Iveroth, S. et al. (2013), ‘Implications of systems integration at the urban level: the case of Hammarby Sjöstad, Stockholm’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 48, pp. 220–231. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.09.012.

- Pandis Iverot, S. and Brandt, N. (2011), ‘The development of a sustainable urban district in Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden?’, *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*, vol. 13, p. 1043. doi: 10.1007/s10668-011-9304-x.

Sitografia:

- <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/hammarby-sjostad-stockholm-sweden/>
 - <https://www.ohga.it/hammarby-sjostad-il-quartiere-ecologico-e-sostenibile-di-stoccolma/>
 - <https://ecodistricts.org/information-exchange/hammarby-sjostad-sweden/>
 - <https://smartcitysweden.com/best-practice/60/successful-renewal-from-industrial-area-to-a-model-sustainable-district/>

concepiti a blocco con corti all’interno e diversificate a seconda della tipologia di alloggio, la conformazione a corte protegge dalla ventilazione del lavoro e incrementa il *microcomfort* ambientale. Tra le case a blocco vi sono spazi semi collettivi a forma di pertinenza degli abitanti con verde attrezzato e vasche laminari d’acqua. Sono presenti soluzioni bioclimatiche passive come atrii solari, serre solari per favorire una riduzione complessiva dei carichi energetici in inverno e in estate; inoltre gli edifici sono quasi tutti prefabbricati riducendo così le operazioni di cantiere in loco e complessivamente le alte emissioni di CO₂. Hammarby presenta una *Functional mixité and proximity* variegata con spazi moderni, flessibili e tecnologici con oltre 10000 unità abitative per ogni tipologia familiare e oltre 10000 posti di lavoro per zone commerciali, servizi e uffici. Gli edifici mediamente sono da quattro a cinque piani lungo il canale e da sei a otto piani lungo le strade. Ciò permette di incrementare il concetto di prossimità in quanto ogni piano terra degli edifici è destinato a servizi per l’edificio stesso o per il quartiere definendo una strategica e funzionale *governance* urbana.

La gestione circolare delle risorse (*Resources circularity and self-sufficiency*) presenta un sistema innovativo, circolare ed efficiente; gli edifici sono completamente trattati e la frazione indifferenziata viene utilizzata come combustibile per la produzione di energia, la frazione organica, trasformata in biomassa, viene utilizzata per la produzione di *biogas* per le cucine e il trasporto pubblico locale. I fanghi derivati dal trattamento di depurazione delle acque concorrono alla fertilizzazione dei terreni e alla produzione di *biofuel* per l’impianto di cogenerazione, l’acqua calda derivata dal trattamento viene utilizzata per la rete di teleriscaldamento. Inoltre una completa captazione e gestione delle acque meteoriche e dei reflui fognari, riduce il fabbisogno giornaliero per abitante a 100 litri. Riguardo il tema della mobilità (*Sustainable mobility*) Hammarby presenta una fitta rete di collegamenti con Stoccolma tramite tramvia su ferro, linee bus e linee di traghetti gratuiti. Il servizio di *bus* è a trazione *bifuel mild hybrid* e ad idrogeno. Completano il servizio pubblico servizi di *car and bike sharing* disposti su tutto il quartiere portando i residenti a un tasso di utilizzo delle forme pubbliche di trasporto oltre il 90%.

Le soluzioni di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di tipo *green and grey* (*Green and Grey CO₂ subtraction and storage solutions*) vertono soprattutto sulla completa gestione del ciclo delle acque, captate e recuperate attraverso un sistema di canali in superficie e sotterranei; inoltre tetti verdi e *raingarden* mitigano il fenomeno del *runoff*. Gli edifici progettati con materiali sostenibili e ad alte capacità *embodied carbon*, contribuiscono fattivamente alla riduzione di emissioni di CO₂ in atmosfera.

HAMMARBY, STOCCOLMA, SVEZIA

PLANIMETRIA DI PROGETTO



DATI DEL PROGETTO

Localizzazione: Stoccolma, Svezia

Progettista: Amministrazione di Stoccolma

Coordinatore del progetto: Comitato di coordinamento urbanistico e ambientale, Stockholm Water Company

Area: 200 ha

Abitanti: 26000 ab.

Anno di progettazione: 1990

Anno di inizio realizzazione: 1190

Anno di completamento: in corso



Latitudine
59°18'11.88"N
Longitudine
18°05'29.54"E

Altezza
15 m s.l.m.
Zona climatica
Cfb

Tipologia di intervento

- Puntuale
- Lineare
- Diffuso

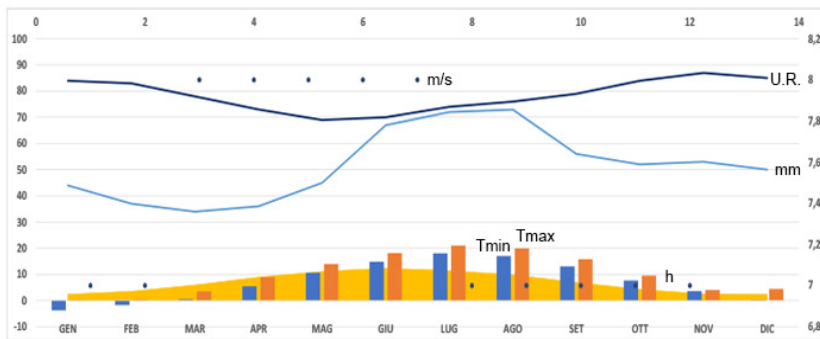
Scala di intervento

- Città
- Distretto urbano
- Quartiere
- Isolato

Ambito di intervento

- Tessuto industriale-produttivo
- Tessuto residenziale consolidato
- Tessuto residenziale in trasformazione-completamento

DATI CLIMATICI



	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
TEMPERATURA	MIN °C	-3,7	-1,7	0,5	5,4	10,6	14,8	18	17	13,1	7,6	3,6	0,2
	MAX °C	-0,1	0,4	3,5	9	14	18,1	21	19,9	15,8	9,5	4	4,4
	MEDIA °C	-1,8	-1,7	0,5	5,4	10,6	14,8	18	17	13,1	7,6	5	1,8
UR	%	84	83	78	73	69	70	74	76	79	84	87	85
PRECIPITAZIONI	mm	44	37	34	36	45	67	72	73	56	52	53	50
	h	50	100	180	265	345	360	355	300	210	130	80	70
H tot SOLE	h	2,4	3,5	5,9	8,9	11,1	12,3	11,4	9,8	6,9	4,2	2,5	2,3
NUVOLOSITA'	%	72	61	48	33	26	25	22	25	29	48	66	71
VENTI		50	50	0	0	50	50	50	50	50	50	50	50
INTENSITA' VENTI	m/s	7	7	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7

EVENTI CLIMATICI ECCEZIONALI 10 GIUGNO 2018

T. MAX	29°C
U.R.	87,8 %
NUVOLOSITA'	40 %
T. MAX	T _{>30°C} ogni 2 anni
VENTO	18,5 Km/h
PIOGGE	0 mm



Scheda caso studio n.20

HAMMARBY, STOCCOLMA, SVEZIA

STRATEGIE DI INTERVENTO

ENERGY TRANSITION

- Impianto di cogenerazione di rifiuti domestici non riciclabili
- Impianto di teleriscaldamento
- Impianti fotovoltaici posti in copertura degli edifici pubblici e residenziali



Oltre il 50% delle cucine del quartiere sono alimentate a biogas

ALTO
100%
Indipendenza energetica da fonti rinnovabili

BIO-CLIMATE RESPONSIVENESS

- Schermature solari passive
- Atrii bioclimatici
- Serre solari



Gli edifici sono prevalentemente prefabbricati riducendo interventi in cantiere e conseguentemente le emissioni di CO2

MEDIO-ALTO
Alta presenza di dispositivi bioclimatici passivi

FUNCTIONAL MIXITE'

- Smart/Co-working
- Co-housing
- E-commerce
- Sedi d'istruzione
- Social Housing
- Studentato
- Minimarket di prossimità



ALTO
Alta presenza di mixité sociale

RESOURCES CIRCULARITY

- Utilizzo responsabile e circolare delle risorse
- Gestione completa del ciclo dei rifiuti
- Produzione di biogas da trattamento rifiuti
- Produzione di energia dai rifiuti per teleriscaldamento
- Produzione biocompost locale



ALTO
Gestione completa della circolarità delle risorse Acqua, Energia, Rifiuti

SUSTAINABLE MOBILITY

- Linee bus a trazione mild hybrid e a idrogeno
- Bike sharing
- Linea traghetti per trasporto pubblico
- Linee filo-tramviarie
- Car sharing a trazione elettrica



Oltre il 90% degli spostamenti pubblici sono eseguiti su ferro e su gomma a trazione elettrica.

ALTO
>80%
sistemi di mobilità pubblica sostenibile

GREEN AND GREY CO2 SUBTRACTION AND STORAGE SOLUTIONS

- Gestione circolare del ciclo delle acque
- Green roof per efficientamento energetico e riduzione del runoff
- Recupero, gestione e riutilizzo delle acque meteoriche
- Valorizzazione dei parchi e degli spazi aperti
- Presenza laghi artificiali come dispositivo tecnologico-ambientale



Oltre il 50% della superficie totale del sito è costituita da spazi aperti permeabili

MEDIO-ALTO
Alta presenza di soluzioni tecnologiche green, Media presenza di soluzioni tecnologiche grey

2.2 Bibliografia

Beck, C., Grieser, J. and Kottek, M. (2005), '*Characterizing global climate change by means of Köppen Climate Classification*', Klimastatusbericht, (April 2016), pp. 181–190. Available at: http://user.uni-frankfurt.de/~grieser/publications/publications_pdf/Beck_etal_KSB_Koeppen_ClimChan.pdf.

European Commission (2011), *Cities of tomorrow - Challenges, visions, ways forward*, Publications Office of the European Union, doi: 10.2776/41803.

European Environment Agency (2018), '*Climate-ADAPT 10 case studies - How Europe is adapting to climate change*', p. 28. doi: 10.2800/097442.

Framework, E. R. (2015), '*Implementing the European Regional Framework for Action to protect health from climate change*', *European Environment and Health process*, p. 50.

Hausladen, G. and Tucci, F. (2017), '*Cultura tecnologica, ambiente, energia: prospettive della ricerca e della sperimentazione*', *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, 13, pp. 63–71.

Kottek, M. et al. (2006), '*World map of the Köppen-Geiger climate classification updated*', *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), pp. 259–263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

Luo, Y. et al. (2008), '*Modeled interactive effects of precipitation, temperature, and CO₂ on ecosystem carbon and water dynamics in different climatic zones*', *Global Change Biology*, 14(9), pp. 1986–1999. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01629.x.

Tucci, F. (2018), *Costruire e abitare green. Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale*, Altralinea Edizioni.

2.3 Sitografia

<http://climate.onebuilding.org/>

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

<https://it.climate-data.org/>

<https://ghhin.org/>

<https://weatherspark.com/>

<https://www.accuweather.com/en/weather-news/europe-heat-wave-by-the-numbers-record-breaking-temperatures-blasted-france-belgium-germany-netherlands-britain/465642>

<https://www.c40.org/>

<https://www.climatedata.eu/>

<https://www.euromediterranee.fr/>

<https://www.green4cities.com/>

<https://www.ilmeteo.net/>

https://www.meteoblue.com/it/tempo/maps/roma_italia_3169070#coords=4/41.89/12.51&map=windAnimation~rainbow~auto~10%20m%20above%20gnd~none

<https://www.meteosvizzera.admin.ch/home/clima/i-cambiamenti-climatici-in-svizzera.html>

https://www.swissinfo.ch/eng/weather_what--dangerously-hot--means-in-switzerland/45052898

<https://www.timeanddate.com/>

<https://www.windfinder.com/>

<https://www.wunderground.com/>

PARTE II

Le soluzioni *green* e *grey* in
ambito urbano per la
sottrazione, conversione e
stoccaggio di CO₂

ABSTRACT (INGLESE)

This chapter introduces the strategic axis of green solutions able to remove and convert, at a multi-scalar level, carbon from the atmosphere. These solutions, falling within the field of forestry and forestry, and present in the most recent instruments adopted by the European Union, can play a key role in the conservation, restoration and increase of biodiversity, the achievement of carbon neutrality and circular economy according to a different regulation of land use. The masses of trees and shrubs play an increasingly central and strategic role for the environmental and anthropogenic ecosystem balance, providing the world community with natural resources and a capacity to absorb carbon from the atmosphere, acting as a natural global reservoir. However, this carbon sink is threatened by the anthropogenic component; fires, extreme weather events, uncontrolled deforestation and land uses often unregulated, exponentially increase carbon emissions, worsening the natural carbon cycle due to the aging of trees. The chapter analyzes the recent reports on the state of global, European and Italian forests, highlighting an impoverishment of their environmental quality and a lack of common structural plans aimed at replanting native species, native of the place and with high environmental sustainability, often referred to individual decisions of political administrations. In the second part of the chapter we want to highlight the models, software and projects of public-private partnership, applied in an Italian municipality as a pilot project, available to date able to verify and quantify the ecosystem benefits in the planning and design phase of forestation and reforestation works in urban areas. For these, the components and dynamics of adoption and use, as well as limitations present, for some of them, in the Italian territory have been analyzed. In the third part, the principles of natural decarbonization of tree and shrub heritage such as forestry and land uses, forest carbon sinks and the process of biochar, counted as a porous carbon-based material in the process of natural biomass, have been described, describing its formation and the benefits recognized by this practice in the most recent dedicated reports.

CAPITOLO 3 Topic di indagine. Le soluzioni *green* in ottica multi-scalare urbana per la sottrazione e conversione di CO₂

ABSTRACT

Il presente capitolo introduce l'asse strategico delle soluzioni *green* in grado di sottrarre e convertire, a livello multi-scalare, il carbonio dall'atmosfera. Tali soluzioni, rientranti nel campo della silvicoltura e del forestale, e presenti nei più recenti strumenti adottati dall'Unione Europea, possono svolgere un ruolo fondamentale ai fini della conservazione, ripristino e incremento della biodiversità, al raggiungimento della neutralità carbonica e alla economia circolare secondo una diversa regolamentazione dell'uso del suolo. Le masse arboree e arbustive svolgono sempre più un ruolo centrale e strategico per l'equilibrio ecosistemico ambientale ed antropico, mettendo a disposizione della comunità mondiale risorse naturali e una capacità di assorbimento di carbonio dall'atmosfera fungendo da vero e proprio serbatoio naturale globale. Tale *carbon sink* però è minacciato dalla componente antropica; incendi, eventi climatici estremi, disboscamenti incontrollati e usi del suolo spesso non regimentati, incrementano esponenzialmente le emissioni di carbonio, aggravando il naturale ciclo del carbonio dovuto all'invecchiamento delle masse arboree. Il capitolo analizza i recenti *report* sullo stato delle foreste globali, europee e italiane evidenziando un impoverimento della qualità ambientale delle stesse e una mancanza di piani strutturali comuni volti alla ripiantumazione di specie autoctone, native del luogo e ad alta sostenibilità ambientale, rimandati spesso alle singole decisioni delle amministrazioni politiche. Nella seconda parte del capitolo si vogliono evidenziare i modelli, *software* e progetti di *partnership* tra pubblico e privato, applicato in un comune italiano quale progetto pilota, ad oggi disponibili in grado di verificare e quantificare i benefici ecosistemici in fase di programmazione e progettazione di opere di forestazione e riforestazione in ambito urbano. Per tali sono stati analizzati le componenti e le dinamiche di adozione e utilizzo, nonché di limitazioni presenti, per alcuni di loro, nel territorio italiano. Nella terza parte sono stati descritti i principi di decarbonizzazione naturale del patrimonio arboreo e arbustivo quali essere la silvicoltura e gli usi del suolo, i *carbon sink* forestali e il processo di *biochar*, annoverato come materiale poroso a base di carbonio nel processo della biomassa naturale, descrivendone la formazione e i benefici riconosciuti da tale pratica nei più recenti *report* dedicati.

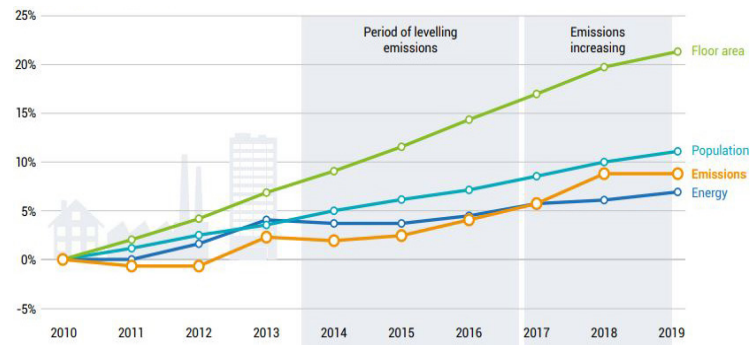
3.1 Soluzioni di sottrazione-conversione di CO₂ di tipo “green” - il settore forestale

Secondo l'ultimo rapporto delle Nazioni Unite (*World population prospects 2021*) si certifica che la percentuale di popolazione urbana supera quella della popolazione rurale anche nei Paesi meno sviluppati ove risiede oltre l'80% della popolazione globale. Complessivamente la popolazione mondiale è ripartita per 4,2 miliardi persone che vivono nei centri urbani (55%) e 3,4 miliardi di persone che vivono in campagna o piccoli centri rurali. La proiezione è che circa l'1% dei 7,6 miliardi di persone che popolano la Terra lasci le campagne ogni anno; una percentuale in rapida crescita, venti anni fa era pari al 0,70% e quarant'anni fa del 0,53%. La previsione è che nel 2045 oltre 2/3 della popolazione mondiale vivrà in città ponendo questioni centrali i temi legati allo sviluppo sostenibile delle città in relazione alle sfide globali quali i cambiamenti climatici. Tali incrementi nelle città generano maggiori consumi di energia e risorse, nonché di produzione di inquinanti nell'atmosfera dovuti al traffico veicolare e alle abitazioni spesso poco efficienti nelle soluzioni di efficientamento energetico. (United Nation, 2021)

Secondo l'*Environmental European Agency* i trasporti consumano un terzo di tutta la produzione energetica finale dell'UE, quest'ultima derivata principalmente da petrolio (EEA, 2020). Ciò deriva che i trasporti sono responsabili per oltre il 25% delle emissioni di gas ad effetto serra nell'UE e non sono previste inversioni di tendenza. Mezzi pubblici e privati, insieme, producono oltre il 70% delle emissioni di gas serra generate complessivamente dal settore dei trasporti e il 60,7% delle emissioni totali di CO₂. Tale settore, inoltre, contribuisce significativamente all'inquinamento atmosferico delle città; inquinanti come il particolato e il biossido di azoto (NO₂) contribuiscono a deteriorare la salute umana e gli ecosistemi. L'ultimo rapporto sullo stato globale per edifici e costruzioni della *Global Alliance for Buildings and Construction 2020 (Global ABC)*, ha rilevato che mentre il consumo globale di energia degli edifici è rimasto costante anno dopo anno, le emissioni di CO₂ legate all'energia sono aumentate a 9,95 GtCO₂ nel 2019, il valore ad oggi più alto mai raggiunto che mina in modo significativo il raggiungimento degli obiettivi

Figura 1 - Trend analizzato nel periodo 2010-2019 dell'aumento percentuale delle emissioni di carbonio in atmosfera; si denota come le emissioni derivate dal settore delle costruzioni abbiano un aumento più del doppio rispetto altri principali settori emettitori di CO₂.

Fonte: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>



In questo capitolo si vogliono analizzare le metodologie e le strategie ad oggi disponibili al fine di quantificare i benefici ambientali ed economici delle forestazioni e riforestazioni urbane e periurbane, attraverso *software* dedicati e *partnership* tra pubblico e privato in casi pilota di applicazione di tali *best practise*, analizzare le capacità attuali delle foreste in Italia, Europa e in casi specifici del globo di assorbire e stoccare carbonio nel sottosuolo attraverso la pratica della silvicoltura, del censimento dei *carbon sink* attuali e della produzione di *biochar*.

Sebbene l'Unione Europea non sia dotata attualmente di leggi e strumenti legali che regolino la silvicoltura, l'attuale sfida climatica ci impone di adottare una serie di azioni e strategie che considerano il settore forestale. Nel più recente strumento adottato dall'UE, il *Green Deal Europeo*, la silvicoltura può svolgere un ruolo fondamentale ai fini della conservazione e ripristino della biodiversità, al raggiungimento della neutralità carbonica, alla mitigazione climatica e all'economia circolare che regola il cambiamento dell'uso del suolo e della silvicoltura (*LULUCF - Land-Use, Land Use Change and Forestry*) (European Commission, 2020).

Adottare strategie con l'obiettivo di zero emissioni nette di *gas serra* entro il 2050 coinvolgendo tutti i settori e le attività inerenti, significa porre al centro delle stesse le pratiche di forestazione e riforestazione urbana al fine di realizzare una revisione delle direttive ad

dell'Accordo di Parigi. L'aumento è dovuto allo spostamento dall'uso diretto di carbone, petrolio e biomasse tradizionali come combustibile verso la produzione di l'elettricità, il quale aveva un contenuto di CO₂ in partenza già più elevato a causa dell'elevata percentuale di combustibili fossili utilizzati nella generazione (UN, 2020).

oggi presenti rispettivamente per la produzione di materie prime (legno) o per la produzione di biocarburanti o bioenergie. Quest'ultime rappresentano circa il 60% del consumo totale di energia nell'UE provenienti per oltre il 70% da biomassa. Il raggiungimento dell'obiettivo entro il 2030, stabilito dalle recenti normative europee, del 32% di energia consumata complessivamente dagli stati membri da fonti energetiche rinnovabili, riducendo drasticamente le emissioni di carbonio nell'atmosfera, dipenderanno in modo significativo dalla capacità delle foreste e del settore forestale di fornire materia prima in modo sostenibile (European Commission, 2020).

Serbatoio di carbonio nell'economia forestale

Le masse arboree e arbustive svolgono un ruolo centrale per l'equilibrio tra ecosistema ambientale e quello antropico, poiché tale mette a disposizione della comunità *habitat* e risorse naturale, ove il nostro compito risulta quello di proteggerli. Tale ecosistema non solo fornisce materie prime quali il legno ma, in virtù di capacità di assorbimento di inquinanti quali la CO₂, contribuisce a mantenere in equilibrio diversi parametri ecosistemici (acqua, suolo, clima) Grazie alle capacità ampiamente riconosciute di assorbire e stoccare carbonio, contribuisce a ridurre la concentrazione CO₂ nell'atmosfera, fungendo da vero e proprio serbatoio naturale di anidride carbonica. Tali funzioni, definite e riconosciute nei più recenti accordi mondiali (Accordo di Parigi) ed Europei (Legge Europea sul Clima) definiscono il quadro di soluzioni *green* in grado di ridurre, assorbire e stoccare carbonio dall'atmosfera.

Tuttavia le capacità delle masse arboree di fungere come serbatoi naturali non sono illimitate; l'invecchiamento degli alberi, se non seguito da un piano di ripiantumazione diminuisce l'effetto di assorbimento esercitato dal bosco stesso, attenuandone i benefici.

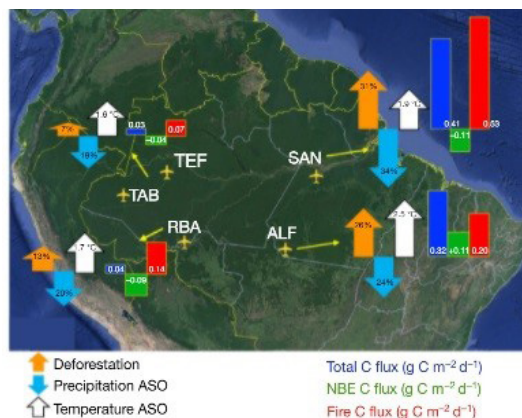
La morte degli alberi e l'azione di calamità naturali sempre più frequenti ed accentuate dai cambiamenti climatici come tempeste, incendi di bosco o infestazioni di scolitidi liberano nell'atmosfera il CO₂ precedentemente fissato nella materia organica. Se il rilascio di carbonio prevale sull'assorbimento, il bosco può addirittura diventare una fonte d'emissione di tale *gas*. Nell'ambito del censimento delle aree boschive che fungono da serbatoi di carbonio è quindi necessario tenere conto di queste circostanze (Forest Europe, 2020).

1. Il debbio o addebitatura è una pratica rudimentale di fertilizzazione del terreno che consiste nell'incendio dei residui colturali o della vegetazione. Viene infatti più spesso indicata con il termine di agricoltura taglia-e-brucia.

Un esempio, ultimo per cronologia, risulta essere la foresta Amazzonica, che ha per lungo tempo contribuito, con il suo ecosistema unico al mondo, a ridurre la presenza di CO₂ nell'atmosfera del pianeta; uno studio specifico pubblicato nello *Special Report IPCC Climate Change and Land* indica come la crisi climatica stia intaccando anche la funzionalità del più grande polmone verde del mondo. La foresta amazzonica, con un'ampiezza di oltre 5,5 mln di Km², non solo non è più in grado di trattenere diossido di carbonio, ma ha iniziato a rilasciarlo nell'atmosfera, diventando anch'essa fonte di inquinamento dell'aria. Secondo i ricercatori del *National Institute for Space Research (INPE)* in Brasile, la foresta amazzonica rilascia nell'atmosfera 0,3 milioni di tonnellate di anidride carbonica ogni anno, in particolare la regione sudest dell'Amazzonia in pochi anni è passata dall'essere un assorbitore di CO₂ a un produttore: già nel 2010 (un anno risultato arido per le scarse precipitazioni avvenute in tale area) si erano registrate alte emissioni di anidride carbonica. In Amazzonia, gli alberi della foresta vengono spesso tagliati durante la stagione delle piogge e bruciati nella stagione secca per far posto alle coltivazioni o ai pascoli per il bestiame. Secondo tale studio citato, le emissioni derivanti dagli incendi sono tre volte superiori alla capacità di assorbimento di CO₂ della foresta stessa: se si interrompessero tali pratiche, definite debbio¹, l'Amazzonia potrebbe tornare ad essere un deposito strategico per la CO₂. La deforestazione in Amazzonia prosegue ormai a ritmi sempre più esponenziali da decenni, accentuati da politiche locali discutibili e un aumento della domanda di terreni per agricoltura e pascolo, come gli incendi, aggravati ora dalla crisi climatica che causano un allungamento delle stagioni secche e periodi di estrema siccità sempre più frequenti (Gatti et al, 2021).

Figura 2 - Grafico della situazione attuale dell'Amazzonia dalle centrali di rilevamento poste nei principali scali aeroportuali; in arancio l'aumento delle opere di deforestazione, in blu la riduzione delle precipitazioni nell'area, in bianco l'incremento medio delle temperature, in blu scuro l'incremento delle emissioni di carbonio, in rosso l'incremento degli incendi, in verde le opere di rimboschimento.

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Google-Earth-satellite-image-Landsat-Copernicus-2020-seen-on-30-July-2020-showing-the_fig1_343831582

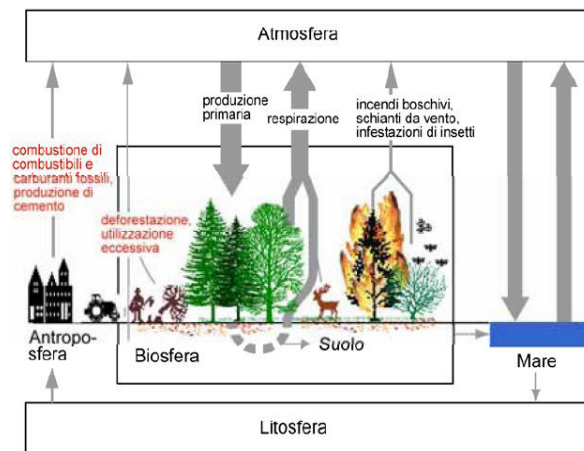


Negli ultimi anni sempre più studi hanno dimostrato che la capacità della regione amazzonica di assorbire l'anidride carbonica presente nell'aria e trattenerla è andata diminuendo: un'osservazione durata 30 anni e conclusasi nel 2015 ha messo in evidenza come la capacità della foresta amazzonica di assorbire diossido di carbonio stia dimostrando un *trend* decrescente nel lungo periodo, sia a causa dei cambiamenti nel clima sia per la deforestazione dell'area (Denning, 2021). Recenti studi e pubblicazioni inoltre, evidenziano la tragica situazione dell'Amazzonia – devastata da deforestazione, crisi climatica e incendi che stanno progressivamente trasformando il polmone verde del Pianeta in una savana (Denning, 2021).

Anche la capacità di assorbimento di CO₂ delle foreste africane, seconde al mondo dopo quelle amazzoniche per estensione e qualità del patrimonio arboreo, va saturandosi; entro il 2030 diminuirà del 14%. Tale valore di picco risulta essere in ordine temporale venti anni dopo il dato delle foreste amazzoniche; tale ritardo, oltre alla maggior quantità di foreste intatte presenti nel continente africano, risulta essere nella differenza di temperatura: le foreste tropicali africane sono meno calde perché situate, in media, 200 metri sopra il livello del mare, con una crescita vegetazionale più lenta e quindi un decadimento altrettanto lento (Denning, 2021). Le foreste svolgono quindi un ruolo strategico al fine del mantenimento degli equilibri ambientali strettamente legati alla componente antropica. I livelli di crescita economica e demografica condizionano tali equilibri, modificando, tra l'altro, i sistemi urbani come gli spazi verdi, determinando quindi azioni mirate di forestazione o riforestazione urbana capaci di contribuire alla decarbonizzazione di grandi distretti urbani, mostrando risultati quantificabili anche in termini economici in U.S.A. (Nowak e Crane, 2002), Canada (Pascher et al, 2014), Inghilterra (Ward et al, 2015), Corea del Sud (Park et al, 2013) e Sud Africa (Stoffberg et al, 2010). Le riforestazioni urbane divengono quindi ecosistema capace di includere edifici, sistemi di trasporto e, tramite la loro gestione e monitoraggio, produzione di legname (Knuth, 2005). Tenendo conto del potenziale impiego del legno l'effetto del bosco nell'ambito della politica climatica potrà essere considerato nella sua globalità, in quanto l'azione positiva del bosco sul clima non è dovuta soltanto alla sua funzione di serbatoio di stoccaggio di CO₂. Grazie alla capacità del legno di assorbire carbonio (*embodied carbon*) l'utilizzazione sostenibile delle foreste per la produzione di legname e l'impiego dello stesso per la costruzione di edifici, mobili o altri oggetti di uso quotidiano contribuiscono a neutralizzare

le emissioni di CO₂ per diversi decenni. Il maggiore effetto legato all'uso del legname è comunque dovuto al fatto che il suo utilizzo libera molto meno CO₂ rispetto a quello rilasciato ad esempio con l'impiego di cemento, materiali metallici o vetro. Bruciando legno al posto di combustibili fossili come quelli derivati dal petrolio, le emissioni di CO₂ vengono limitate grazie ad un «effetto di sostituzione». Dato che il carbonio rilasciato con la combustione del legno viene nuovamente assorbito dalle piante legnose durante la loro crescita, esso non deve essere contabilizzato nei bilanci nazionali dei *gas serra*. Azioni di forestazione e riforestazione urbana contribuiscono a lungo termine alla riduzione delle emissioni di CO₂ specialmente quando il suo legname viene utilizzato e trasformato in oggetti che durano nel tempo (Forest Europe, 2020). Le attività dell'uomo hanno causato uno squilibrio nel ciclo del carbonio della Terra emettendo nell'atmosfera più CO₂ (dios-

Figura 3 - Ciclo delle attività antropiche e relative emissioni di carbonio nella Foresta Amazzonica
Fonte: (Clais et al, 2013)



sido di carbonio o anidride carbonica) di quanto possa essere accumulata dalle masse arbustive e dal mare; in questo modo l'atmosfera si arricchisce di *gas serra* provocando un riscaldamento della Terra. Gli ecosistemi che assorbono più CO₂ di quanto ne rilascino possono mitigare parzialmente questo processo, quando un bosco assorbe CO₂ ed accumula il carbonio in modo permanente nella sua biomassa, la concentrazione di diossido di carbonio nell'atmosfera diminuisce assumendo così la funzione di serbatoio di carbonio (*carbon sink*). Di tutti gli ecosistemi terrestri, i boschi sono quelli che hanno il maggiore potenziale di stoccaggio; tuttavia però al tempo stesso possono diventare anche una fonte d'emissione di CO₂, come attualmente sta accadendo con la Foresta Amazzonica (Forest Europe, 2020).

Ciclo del carbonio

L’anidride carbonica (CO₂) svolge un ruolo chiave per l’ecosistema ambientale del pianeta. Le specie arboree e arbustive presenti sui continenti e nei mari scambiano grandi quantitativi di CO₂ con l’atmosfera. Grazie al processo biochimico della fotosintesi, le masse arboree accumulano nella loro biomassa CO₂ in forma di composti di carbonio ricchi di energia. L’ecosistema antropico, gli animali e i microrganismi, respirando, producono CO₂; in questo modo, a livello mondiale, si crea un ciclo definito “chiuso”. Anche le specie arboree respirano, processo che nel contesto dei serbatoi di carbonio (*carbon sink*) assume un ruolo particolarmente importante; infatti, respirando emettono, sotto forma di CO₂, grandi quantità di carbonio fissato in precedenza, il quale viene rilasciato nuovamente nell’atmosfera.

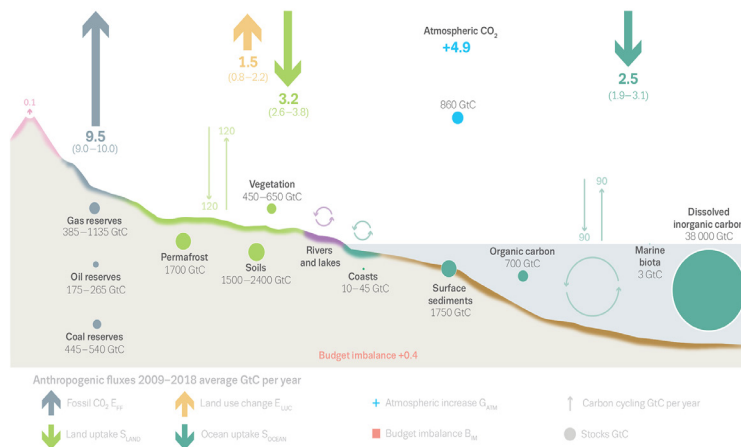
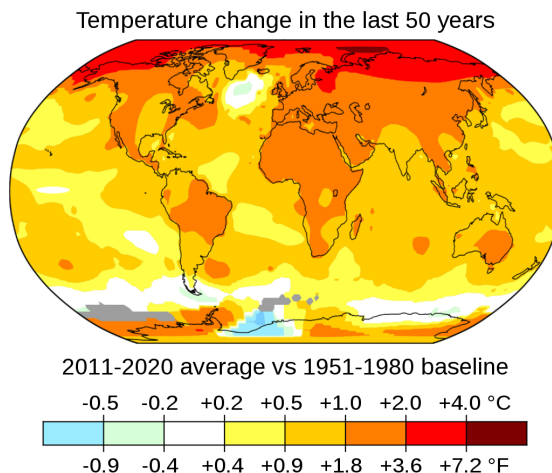


Figura 4 - Rappresentazione schematica degli scambi complessivi rientranti nel ciclo globale del carbonio causato dalle attività antropiche, per il periodo 2009-2018. L’incertezza nel tasso di crescita della CO₂ atmosferica è molto piccola ($\pm 0.02 \text{ GtCyr}^{-1}$) ed è trascurata per il grafico in questione. Fonte: (Clais et al, 2013), (Price & Warren, 2016)

Inoltre, il carbonio viene rilasciato anche con la distruzione di biomassa, ad esempio da parte di insetti, di incendi boschivi e di disboscamenti (Price & Warren, 2016). Con la combustione di carburanti e di combustibili fossili l’uomo contribuisce a creare uno squilibrio nel ciclo del carbonio. Anche se il contributo di origine antropica risulta essere una piccola parte rispetto all’intero movimento di biomassa, dall’inizio dell’industrializzazione (1800) la concentrazione di CO₂ nell’atmosfera è aumentata di circa il 30%. La CO₂ che non rientra nel ciclo, divenendo quindi un *surplus* negativo, rimane nell’atmosfera stessa, mentre un quarto di essa è assorbita dalle piante e un ulteriore quarto dagli oceani. Nei decenni, a seguito dell’aumento della concentrazione dei diversi *gas serra*, in combi-

Figura 5 - Variazione termografica delle temperature globali negli ultimi 50 anni, Copernicus.
 Fonte: <https://www.climate.gov/news-features/videos/history-earths-temperature-1880#:~:text=For%20the%20last%2050%20years,over%20the%20previous%20half%2Dcentury.>

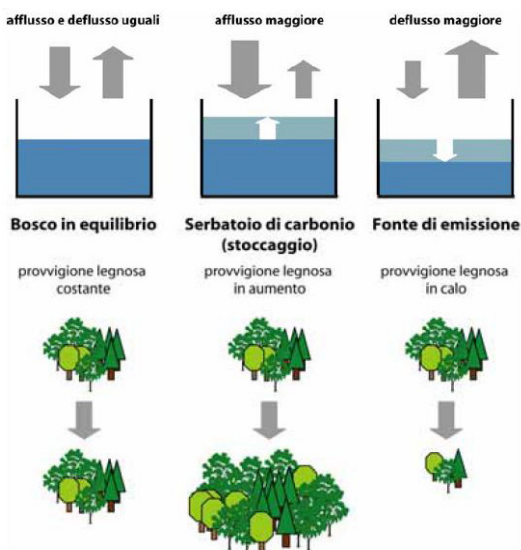


nazione con valori sempre più elevati di CO₂ non più assorbita, la Terra ha iniziato a riscaldarsi sempre di più generando il cosiddetto riscaldamento globale (Clais et al, 2013).

I boschi assorbono CO₂ integrando il carbonio nella loro biomassa:

- nelle foglie, per un periodo di alcune ore fino a qualche mese;
- all'interno di rami e germogli, per diversi anni;
- nel tronco, per decenni e secoli;
- nel suolo, per secoli e millenni.

Figura 6 - Equilibrio del sistema forestale tra emissioni e serbatoi naturali di carbonio.
 Fonte: (Price & Warren, 2016)

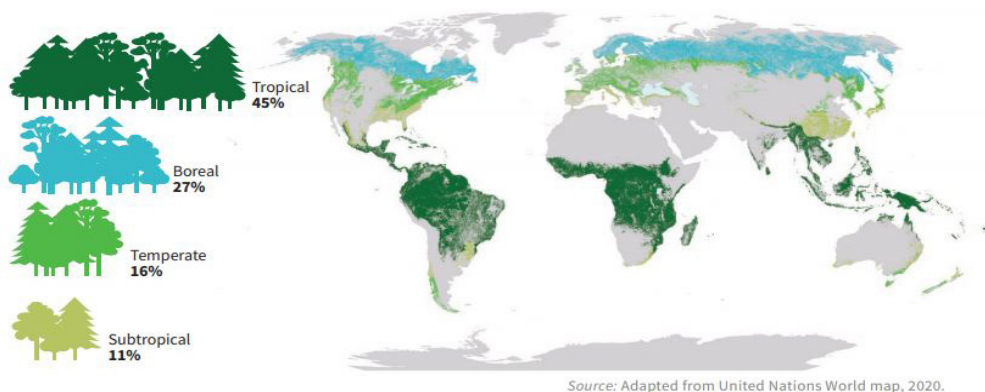


Stato delle Risorse Forestali Globali (*Global Forest Resources Assessment*) 2020

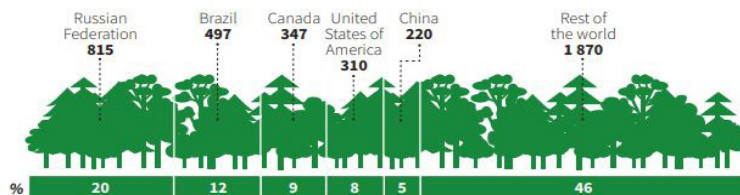
Nel mese di Agosto 2020 è stato rilasciato dalla FAO il nuovo *Global Forest Resources (FRA) 2020* volto a definire e mappare la struttura e l'estensione delle foreste globali evidenziando i *trend* di crescita o di diminuzione dei diversi Stati del Mondo, la produttività e le proprietà che le compongono. Il pianeta ha una superficie forestale totale di 4,06 miliardi di ettari, pari al 31% della superficie globale, rapporto che equivale a 0,52 ha per abitante², sebbene le foreste non siano distribuite equamente tra i popoli del mondo o geograficamente. Il dominio tropicale ha la maggior parte delle foreste del mondo (45%), seguito dai domini boreale, temperato e subtropicale. Più della metà (54%) delle foreste mondiali si trova in soli cinque paesi: Federazione Russa, Brasile, Canada, Stati Uniti d'America e Cina. La massa vegetazionale mondiale è in diminuzione, seppur con un tasso di perdita in rallentamento; il pianeta ha perso 178 milioni di ha di foresta dal 1990, un'area pari alle dimensioni geografiche della Libia, il tasso di perdita netta forestale è diminuito nel periodo 1990-2020 a causa di una riduzione della deforestazione

2. Calcolato secondo una popolazione globale di 7,79 miliardi di persone, come stimato dalle Nazioni Unite, Dipartimento degli affari economici e sociali, Divisione popolazione. 2020. Prospettive della popolazione mondiale 2020, edizione online.

Figura 7 - Distribuzione forestale per zone climatiche e quantità delle principali aree forestate del globo. Fonte: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>



Top five countries for forest area, 2020 (million ha)



in alcuni paesi, oltre all'aumento di aree forestali in altri attraverso l'imboschimento e l'espansione naturale delle foreste. Il tasso di perdita netta di foreste è sceso da 7,8 milioni di ettari l'anno nel decennio 1990-2000 a 5,2 milioni di ettari l'anno nel 2000-2010 e a 4,7 milioni di ettari all'anno nel 2010-2020. Il tasso di declino della perdita netta di foreste è rallentato nell'ultimo decennio a causa di una riduzione del tasso di espansione forestale (FAO, 2020).

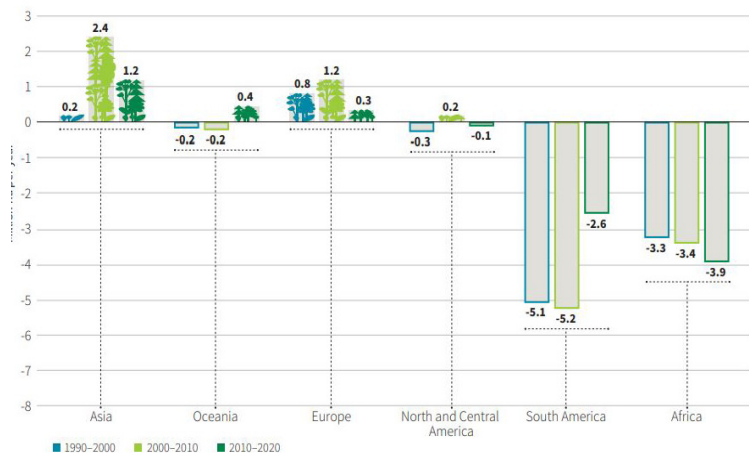
L'Africa presenta il tasso annuo di perdita netta di foreste maggiore nel periodo 2010-2020, pari a 3,9 milioni di ettari, seguita dal Sud America, 2,6 milioni di ettari. L'Asia invece ha avuto il più alto guadagno netto di superficie forestale nel periodo 2010-2020, seguita dall'Oceania ed Europa; tuttavia, sia l'Europa che l'Asia hanno registrato tassi di guadagno netto sostanzialmente inferiori nel periodo 2010-2020 rispetto al periodo 2000-2010. Il 93% (3,75 miliardi di ettari) della superficie forestale mondiale è composta da foreste che si rigenerano naturalmente e il 7% (290 milioni di ettari) è piantumato; l'area delle foreste a rigenerazione naturale è diminuita dal 1990, ma l'area delle foreste piantate è aumentata di 123 milioni di ettari. Le piantagioni forestali globali coprono attualmente circa 131 milioni di ettari, pari al 3% della superficie globale forestale e il 45% delle superfici totali delle foreste piantumate.

Tali piantagioni forestali sono gestite in modo intensivo, composte da una o due specie, di pari età, piantumate a sesto regolare e principalmente a fini produttivi (FAO, 2020).

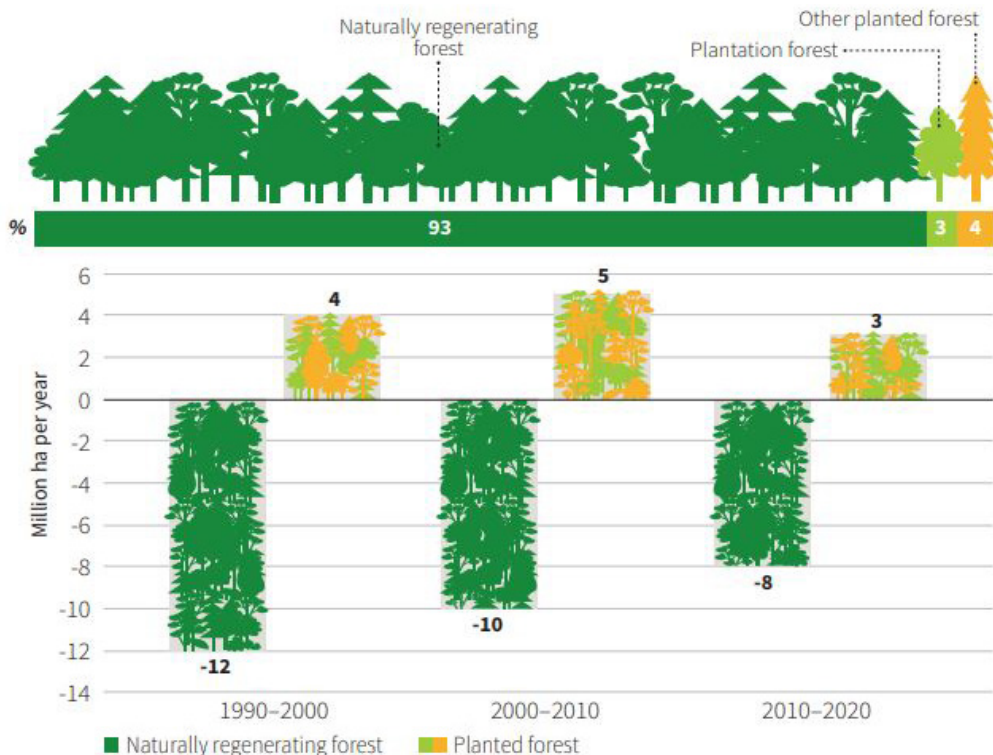
Altre tipologie, che costituiscono il 55% di tutte le foreste piantate, non sono gestite in modo intensivo e possono assomigliare a foreste

Figura 8 - Variazioni delle economie forestali globali suddivise per continenti, nei tre decenni 1990-2000, 2000-2010, 2010-2020.

Fonte: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>



naturali a maturità avanzata; gli scopi di quest'ultime possono includere il ripristino dell'ecosistema e la protezione dell'uso del suolo e dell'acqua. La maggior parte delle foreste presenti in Europa presenta piani di gestione, in altri continenti la percentuale di piani presenti non supera il 20% (Africa) e meno di tale percentuale in Sud America. Le aree soggette a piani di gestione stanno subendo un incremento in tutte le regioni; sono aumentate di 233 milioni di ettari dal



2000, raggiungendo i 2,05 miliardi di ettari nel 2020. Le foreste mondiali affrontano molti disturbi che possono influire negativamente sulla loro salute e vitalità e riducendone la loro capacità di fornire una gamma completa di beni e servizi ecosistemici; 98 milioni di ettari di foresta sono stati colpiti da un incendio nel 2015³, principalmente di dominio tropicale, dove il fuoco ha bruciato circa il 4% della superficie totale della foresta in quell'anno. Più di due terzi dell'area forestale totale colpita si trovava in Africa e Sud America (FAO, 2020).

Figura 9 - Variazione in percentuale e quantitativa (mln. ha per anno) tra le nuove riforestazioni e la rigenerazione spontanea delle foreste nel periodo 1990-2020. Fonte: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>

3. Ultimo anno per il quale sono disponibili tali dati.

Insetti, malattie ed eventi meteorologici gravi hanno danneggiato circa 40 milioni di ettari di foreste nel 2015, principalmente nei domini temperati e boreali. La maggior parte del carbonio inglobato nelle foreste mondiali si trova nella biomassa vivente (44%) e nella materia organica del suolo (45%), la restante quota è presente nel legno morto e nella lettiera. Lo stock di carbonio totale nelle foreste

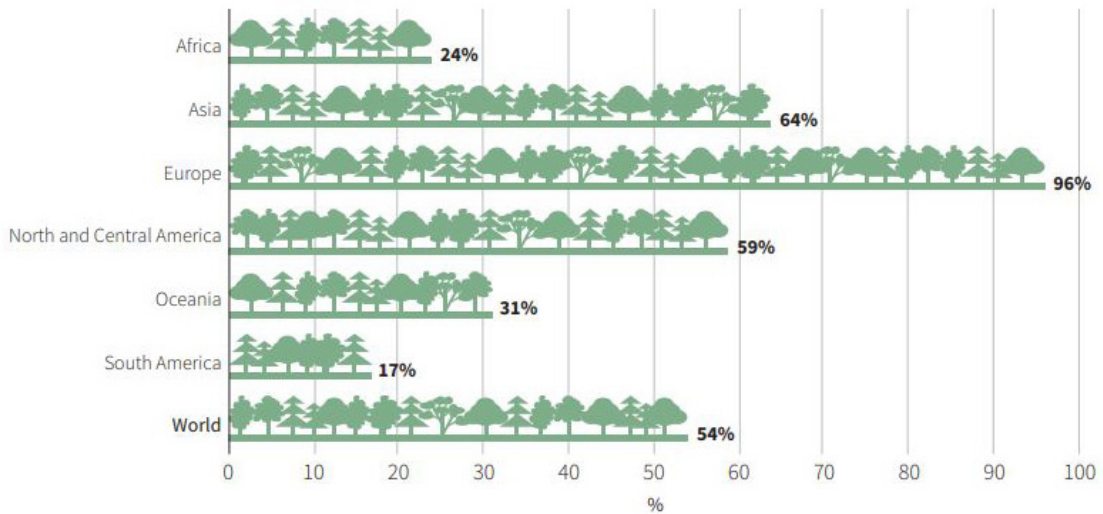


Figura 10 - Proporzione, per continente, di programmi di gestione a lungo termine delle aree forestali nell'anno 2020.

Fonte: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>

è diminuito da 668 giga tonnellate nel 1990 a 662 giga tonnellate nel 2020; la densità del carbonio infine è aumentata leggermente nello stesso periodo, da 159 tonnellate a 163 tonnellate per ha (FAO, 2020).

Rapporto sullo stato delle foreste europee 2020

“Per gestione forestale sostenibile si intende la gestione e l’uso delle foreste e dei terreni forestali in un modo e a un ritmo che ne mantenga la biodiversità, la produttività, la capacità di rigenerazione, la vitalità e il loro potenziale per soddisfare, ora e in futuro, rilevanti aspetti ecologici, economici e funzioni sociali, a livello locale, nazionale e globale, e che non causi danni ad altri ecosistemi” (Risoluzione H1 della Conferenza Ministeriale di Helsinki sulla protezione delle foreste in Europa, 1992).

Dagli anni '90, *FORESTEUROPE* fornisce una piattaforma intergovernativa per promuovere la gestione sostenibile delle foreste presenti nel territorio europeo e, in collaborazione con numerosi

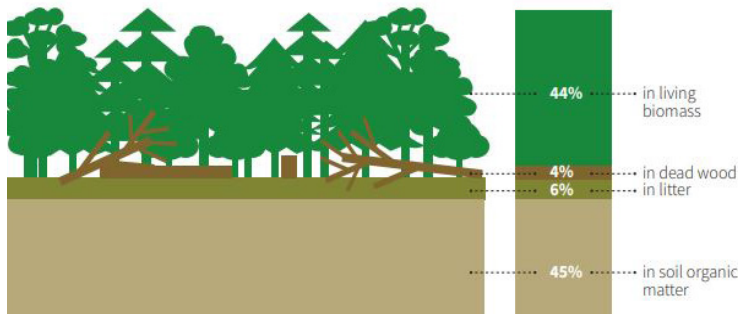


Figura 11 - Proporzione, in percentuale, della localizzazione dei carbon stock nelle foreste.
Fonte: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>

partner, ne monitora l'attuazione utilizzando una serie di criteri e indicatori concordati a livello internazionale.

Lo Stato delle foreste europee 2020 (*SoEF 2020*) si basa sulle migliori informazioni disponibili e sul lavoro di oltre cento corrispondenti nazionali, scienziati ed esperti.

Il 17 dicembre 2020 ne è stato pubblicato l'ultimo rapporto che illustra i dati e informazioni ufficiali recenti sulle foreste europee, la loro gestione, le politiche, i quadri istituzionali e legali nei paesi firmatari di suddetto programma.

Il rapporto si basa sui criteri paneuropei per la gestione forestale sostenibile e affronta lo stato delle foreste europee secondo 6 categorie chiave:

- risorse forestali e loro contributo ai cicli globali del carbonio;
- salute e vitalità dell'ecosistema forestale;
- funzioni Produttive delle Foreste;
- diversità biologica negli ecosistemi forestali;
- funzioni di protezione nella gestione forestale (in particolare suolo e acqua) e funzioni e condizioni socioeconomiche.

In alcuni indicatori le foreste europee sono rimaste stabili negli ultimi anni; attualmente vi è una predominanza di popolamenti composti da due o più specie arboree, occupando il 67% della superficie forestale. Il restante 33% delle foreste è invece composto da boschi dominati da singole specie arboree, monocolture o foreste naturalmente omogenee (Forest Europe, 2020).

Nella maggior parte dei paesi membri, oltre il 90% delle foreste è accessibile al pubblico, con una media di circa il 70%, circa il 6% delle foreste è principalmente destinato o gestito per la ricreazione pubblica, con una intensità media della ricreazione

Figura 12 - Indicatori foreste europee; percentuale di presenza di due o più specie o singole specie.
Fonte: <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2020-report/>



stimata in 16 visite per abitante all'anno (Forest Europe, 2020). Ad oggi circa il 53% delle foreste in Europa è di proprietà pubblica e il 47% di proprietà privata; nello specifico le partecipazioni private sono, in generale, molto più ridotte di quelle pubbliche. La superficie forestale europea è aumentata del 9% negli ultimi 30 anni; con

Figura 13 - Indicatori foreste europee; percentuale di accessibilità pubblica nelle aree forestali.
Fonte: <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2020-report/>



gli attuali 227 milioni di ettari di foreste oltre un terzo della superficie terrestre europea è coperta da masse arboree. Il 46% delle foreste europee è prevalentemente costituito da conifere, il 37% da latifoglie e il resto misto (Forest Europe, 2020).

Circa tre quarti delle foreste in Europa sono di pari età, di cui circa il 64% ha superato la fase di rigenerazione e non ha ancora raggiunto la fase matura; quasi un quarto delle foreste europee ha un'età non uniforme. Le specie arboree introdotte coprono il 3% della superficie forestale totale quest'ultime utilizzate in modo piuttosto marginale nella silvicoltura europea, coprendo il 3,1% della superficie forestale totale. L'area forestale dominata da specie arboree aliene invasive è circa lo 0,5% delle foreste europee ed è in lieve aumento. Tra il 2010 e il 2020, il sequestro medio annuo di carbonio nella biomassa forestale europea ha raggiunto 155 milioni di tonnellate. Nell'Europa, il sequestro corrisponde a circa il 10% delle emissioni lorde di gas serra; nel periodo 1990-2015, lo stock di carbonio nei prodotti del legno raccolto (*embodied carbon*) è aumentato da 2,5 a 2,8 tonnellate di carbonio pro capite, contribuendo così alla riduzione delle emissioni di carbonio stesse in atmosfera. Il volume di legno e il carbonio immagazzinato nelle foreste europee è cresciuto del 50% negli ultimi 30 anni grazie a politiche di espansio-

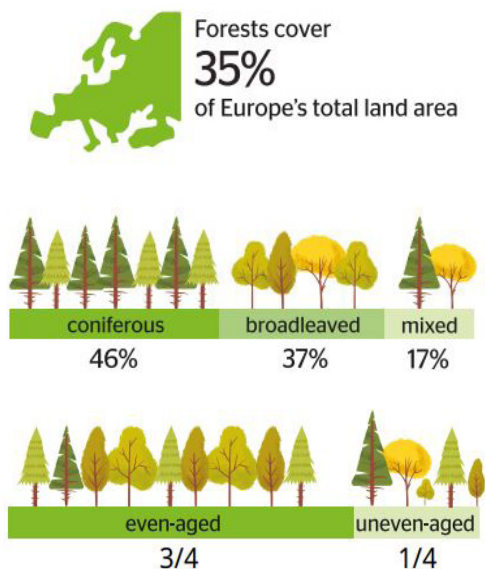


Figura 14 - Indicatori foreste europee; percentuale di copertura forestale in Europa, rapporto in percentuale della tipologia delle specie arboree e del grado di vetustà delle stesse.

Fonte: <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2020-report/>

ne delle foreste seguite da un sistema di abbattimento annuo pari al 75% delle alberature piantumate (Forest Europe, 2020).

Il consumo comprende legno segato, pannelli a base di legno, carta, cartone e legno energetico, il consumo annuo pro capite varia tra le regioni europee, da 0,7 m³ nel sud-est Europa a 2,6 m³ in Nord Europa nel 2015, con una media di 1,1 m³. Complessivamente il consumo

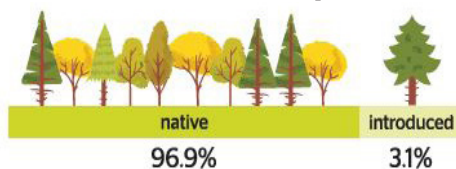


Figura 15 - Indicatori foreste europee; percentuale della origine delle specie arboree presenti (native o introdotte).

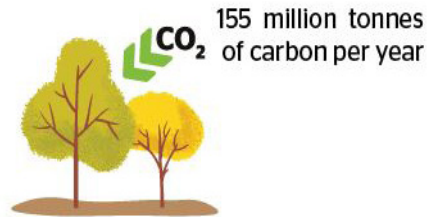
Fonte: <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2020-report/>

è aumentato in tutte le regioni tra il 1990 e il 2015, ad eccezione dell'Europa centro-occidentale dove, tuttavia, è ancora la seconda più alta dopo il Nord Europa. Il volume di legno prodotto dalle foreste è notevolmente aumentato raggiungendo i 550 milioni di m³, il 40% in più rispetto i valori del 1990, le aree destinate al mantenimento e alla salvaguardia della biodiversità sono aumentate del 65% in 20 anni e quelle per il paesaggio dell'8% (Forest Europe, 2020).

Complessivamente nel comparto europeo è cresciuta, raggiungendo il picco di 550 milioni di m³ annuo nel 2015. Anche il valore totale comunicato del legname in tronchi commercializzato è in continuo aumento e ha raggiunto circa 21 000 milioni di EUR all'anno nel 2016.

Figura 16 - Indicatori foreste europee; capacità di stoccaggio delle foreste europee nel periodo 2010-2020.

Fonte: <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2020-report/>



Il legno inoltre è una delle fonti energetiche rinnovabili, coprendo il 6,4% dell'approvvigionamento totale di energia primaria in Europa nel 2015. Riflettendo lo stato di sviluppo nel settore della lavorazione del legno, circa la metà dell'energia dal legno è fornita direttamente dalla foresta, notevolmente integrata da co-prodotti e residui delle industrie di lavorazione del legno e da legno di recupero *post-consumo*. Le principali sfide e ostacoli segnalati nella produzione e vendita del legno includono la bassa efficienza economica e le prestazioni del settore forestale, la mancanza di un ambiente favorevole all'imprenditorialità, il sostegno alle innovazioni, l'aumento della concorrenza per le risorse forestali e i loro servizi e mercati sottosviluppati per i servizi ecosistemici. Le misure segnalate si concentrano sul *marketing* e sulla promozione di prodotti e servizi forestali. Il 3% delle foreste europee attualmente risulta danneggiato principalmente da eventi atmosferici, insetti, attività degli ungulati e da incendi boschivi, con un aumento esponenziale nell'ultimo decennio di frequenti "perturbazioni forestali" a larga scala come, ad esempio, ondate di calore, epidemie di insetti nocivi e incendi boschivi. Le misure messe in campo dagli Stati membri a tali problemi riguardano principalmente la prevenzione e il controllo dei pericoli, la gestione delle crisi e la riduzione del degrado del suolo; principali ostacoli a tali programmi sono la crescente minaccia di danni causati alle foreste da organismi nocivi ed eventi meteorologici estremi e la morte di massa di specie arboree forestali (Forest Europe, 2020).

Le deposizioni di inquinamento atmosferico sono in continua diminuzione dal 1997, nonostante tale diminuzione complessiva le foreste in Europa sono ancora esposte a livelli eccessivi di deposizione di azoto e ozono troposferico. Un confronto dei dati del 2015 con quelli di un'indagine condotta nel periodo 2009-2012 ha rivelato cambiamenti limitati nelle proprietà del suolo, con il solo l'azoto totale che mostra un aumento generalizzato in tutta Europa (Forest Europe, 2020). Nel *report* finale si evidenzia come i paesi europei confermino di disporre di un quadro istituzionale per la selvicoltura, con differen-

ze di legislazioni per ogni paese; gli obiettivi di ogni singolo stato membro includono l'aumento delle aree forestali protette e dei volumi di legno morto, nonché l'arresto della perdita di diversità delle specie. Le misure si concentrano sull'integrazione della protezione della biodiversità nella pianificazione della gestione forestale, sulla conservazione delle foreste di alto valore conservativo e su un maggiore coordinamento e collaborazione tra i rispettivi uffici sulle questioni della biodiversità, nonché sulla conservazione delle risorse genetiche forestali. Le principali sfide e ostacoli a tali misure risultano essere una efficacia limitata della conservazione e protezione della biodiversità, sistemi di gestione più esigenti e una mancanza di convergenza tra la conservazione della natura e gli obiettivi della politica forestali; per tale aspetto fondamentali risultano essere gli inventari forestali nazionali (Forest Europe, 2020).



Rapporto sullo stato delle foreste italiane. Secondo Inventario Forestale Nazionale in Italia – INFC 2005

L'inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC) prevede un sistema di campionamento a tre sistemi; i primi due permettono di quantificare l'estensione della superficie forestale ed inventariare le diverse categorie di portamento (boschi, boschi radi, arbusti, piantagioni) e di specie (boschi di abete, faggio, carpino, etc.), definiti anche strati; il terzo sistema è dedicato al campionamento della biomassa morta, allo stato di rinnovamento degli strati inferiori della vegetazione, inventariando le tipologie di strato stesso e i relativi valori medi (numero di specie arboree, volumi di biomassa rilevata, incremento del diametro dei fusti analizzati, etc.). Le prime stime nazionali sulla estensione della superficie forestale italiana è stata attuata per fotointerpretazione (prima fase dell'inventario) e successivamente per rilievi al suolo (seconda fase dell'inventario). La prima fase è avvenuta nel corso del 2003 e la seconda fase si è svolta tra il 2004 e il 2005. Tali stime sono state presentate in forma tabellare e riportano le estensioni delle diverse categorie, nelle quali si articola la superficie occupata dalle formazioni forestali, accompagnate dalla stima dell'incertezza campionaria espressa in termini di coefficiente di variazione percentuale.

Le stime degli attributi quantitativi derivano da rilievi di eseguiti in terza fase ed effettuati nella stagione vegetativa 2006 (Fattorini et al, 2006); i risultati sono presentati in specifiche tabelle che riportano le stime dei valori totali di strato e dei valori medi per unità di

superficie associate al loro errore campionario espresso in termini di coefficiente di variazione percentuale (INFC, 2005).

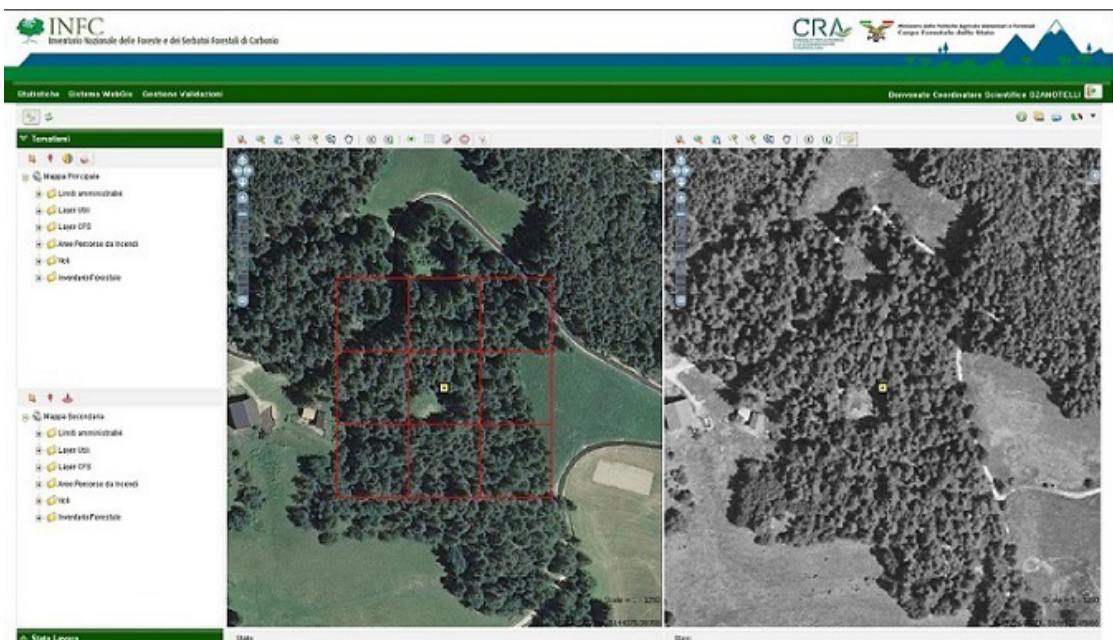
Obiettivi e organizzazione del Terzo Inventario Nazionale in Italia - INFC 2015

Il terzo inventario forestale nazionale (INFC 2015) ha preso avvio nel 2013 con la progettazione e realizzazione della prima fase inventariale (fotointerpretazione) conclusasi nel 2014 grazie alla società SIN che ha sviluppato per tale fase un applicativo *webGIS*; ad oggi la seconda fase (rilievo al suolo) risulta tutt'ora in corso.

La disponibilità di dati aggiornati e affidabili, infatti, risponde agli impegni che l'Italia ha assunto a livello internazionale, nell'ambito degli accordi sul clima, sulla conservazione della biodiversità e sulla gestione sostenibile delle risorse forestali, e consente la programmazione dell'utilizzo delle risorse a livello interno, sia a livello regionale sia nazionale. L'Inventario Nazionale INFC 2015 viene realizzato dal personale del CUTFAA (comando unità tutela forestale ambientale e agroalimentare) già Corpo forestale dello Stato, che

Figura 17 - Database informatico in GIS dell'Inventario Nazionale delle foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio-INFC.

Fonte: https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/obiettivi_intro_inventario2013.jsp?menu=2.



coordina e finanzia il progetto; il CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Centro di ricerca Foreste e Legno, Trento (già CRA-MPF), cura gli aspetti tecnico-scientifici, la formazione del personale, l'elaborazione dei dati e la presentazione dei risultati.

Gli obiettivi specifici che il terzo inventario forestale nazionale si pone con l'aggiornamento delle statistiche nazionali forestali sono quelli di:

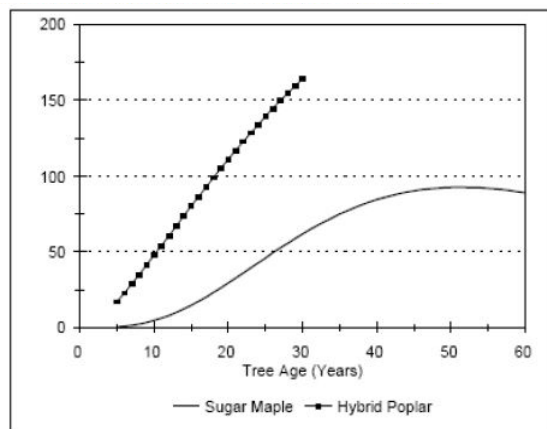
- fornire alla società civile, agli studi e agli studiosi un quadro di conoscenza completo e attuale sul patrimonio forestale nazionale;
- fornire un elenco relativo alle foreste presenti sul territorio nazionale in coerenza con gli *standard* internazionali, alla luce degli impegni assunti dall'Italia nell'ambito di accordi e convenzioni internazionali sulla conservazione dell'ambiente e della biodiversità, la lotta alla desertificazione, il contenimento dei *gas* ad effetto serra;
- fornire un elenco all'Amministrazione Statale e alle Regioni contenente informazioni necessarie per una politica di gestione sostenibile delle risorse forestali;
- valorizzare la rete di monitoraggio delle risorse forestali, mantenendo un ambito di indagine ampio e su tutte le componenti ecosistemiche;
- arricchire la base dei dati del sistema informativo forestale (SIF).

Come le foreste urbane possono influenzare la CO₂ atmosferica

Le foreste urbane (*urban forest*) possono sottrarre, assorbire e stoccare carbonio in due modi; fin quando la specie vegetazionale è in crescita l'assorbimento di carbonio, per mezzo della fotosintesi nella fase diurna, è maggiore rispetto la quantità rilasciata per respirazione durante la fase notturna, definendo quindi un bilancio positivo di riduzione di carbonio nell'atmosfera. Il sequestro di carbonio è riferito al bilancio annuale di CO₂ accumulata nella massa ipogea ed epigea della pianta; durante la fotosintesi la CO₂ atmosferica entra nei pori delle foglie, si combina con l'acqua, trasformandosi in cellulosa, zuccheri e altri nutrienti derivati dalle reazioni chimiche catalizzate dalla luce solare. Molti di tali prodotti vengono successivamente fissati nei tessuti legnosi della pianta o nella produzione dell'apparato fogliare (Larcher, 1980). Le quantità di carbonio assorbite e stoccate dipendono dalla *performance* dalla massa vegetazione e dal tasso di mortalità annuo, parametri quindi fondamentali per tali analisi divengono l'età, la struttura e la tipologia della massa vegetazionale e il grado di salute. Foreste giovani accumulano carbonio molto rapidamente per anni prima

di raggiungere un bilancio neutro o negativo (Harmon et al, 1990); le foreste adulte, (*old growth forest*), possono rilasciare una quantità di CO₂ pari alla quantità fissata con la nuova crescita, inoltre stagioni aride diverse dal microclima cui sono radicate, possono compromettere le normali capacità di fissare carbonio. Mediamente, un'essenza arborea di medie dimensioni che ha raggiunto la propria maturità e che vegeta in un clima temperato in un contesto urbano e periurbano, sottoposto quindi a *stress* microclimatici ed ambientali, assorbe in media tra i 10 e i 20 kg CO₂ all'anno. Se collocata invece in un bosco o comunque in un contesto più naturale e idoneo, può assorbire tra i 20 e i 50 kg CO₂ all'anno. Questo evidenzia l'importanza di tutelare il patrimonio forestale inserito nel proprio ecosistema (Cernusak et al, 2019). Anche le specie arboree a rapido accrescimento possono concorrere a un rapido stoccaggio di carbonio ma con una prospettiva di vita molto ridotta; ciò può minare i vantaggi beneficiati in quanto un giovane decesso di una specie vegetale, non bilanciato da nuove piantumazioni, può rilasciare di colpo tutto il carbonio stoccato negli anni. Mediamente il tasso di mortalità delle alberature è influenzato dalla localizzazione (ambito urbano o spazio aperto *extra urba-*

Figura 18 - Confronto tra due tipologie di specie arboree nella capacità di stoccaggio di CO₂ durante il ciclo di vita, specie arboree a crescita lenta stoccano meno carbonio rispetto tipologie arboree a crescita rapida, ma di contro con una vita molto più breve. Fonte: (Cernusak et al, 2019)



no); il tasso di mortalità per le alberature stradali in ambito urbano è nel range del 10-30% nei primi 5 anni e del 0,5-3% per ogni anno seguente (McPherson et al, 2003, Miller et al, 1991). Per mitigare tale indice importante risulta essere una corretta scelta delle specie arboree in grado di sopravvivere a tali condizioni ambientali (*stress* resistenti) e al contempo di possedere elevate capacità di mitigazione ambientale (assorbimento di carbonio e dei principali inquinanti gassosi in ambito urbano) (McPherson et al, 2003, Miller et al, 1991).

Politiche di forestazione o riforestazione degli spazi interstiziali i distretti urbani possono concorrere alla riduzione di domanda per riscaldamento e raffrescamento, riducendo di conseguenza le emissioni di carbonio per la richiesta di energia elettrica. Nel bilancio negativo sono presenti i fattori di emissioni che le foreste emettono, la più importante è costituita dalla decomposizione della biomassa legnosa a seguito della morte di alberi vetusti o ammalati, inoltre vi è il contributo da parte della componente antropica a seguito della manutenzione durante il processo di impianto iniziale e gestione.

Una tipica specie arborea le frazioni di CO₂ accumulate sono mediamente collocate per il 51% nel tronco, 30% rami, e 3% in foglie. Le radici grosse ($x > 2\text{mm}$) accumulano circa il 15-20% del carbonio totale, mentre nelle radici fini vi è una quantità di carbonio comparabile a quella delle foglie (Miller et al, 1997).

Risultano al momento poche informazioni relativamente alle emissioni di CO₂ derivate dalla piantumazione in ambito urbano e relativa cura delle essenze arboree; mediamente nella foresta una massa arborea impiega dai 30 ai 60 anni per trasferire il carbonio accumulato nell'*humus* del suolo e ai relativi organismi; tale componente varia in funzione delle caratteristiche del legno e del fine ultimo di utilizzo (pacciamatura, biomassa, cippato, pannelli per impiego nell'edilizia, etc.)

La frequenza e l'intensità di potatura possono influenzare complessivamente il quantitativo di CO₂ rilasciata nell'atmosfera. Uno studio condotto a Chicago nello spazio verde residenziale ha rilevato che circa il 15% della CO₂ sequestrata viene rilasciata annualmente con le potature e la loro conseguente decomposizione (Jo et al, 2001); una idonea scelta di specie arboree con coefficienti di taglia e potatura bassi, contribuisce ad abbattere tali emissioni di carbonio.

Gli spazi verdi, definiti in progetti di *urban greening*, svolgono oggi un ruolo cruciale nel miglioramento dei parametri di adattamento e mitigazione delle aree urbane nonchè alla decarbonizzazione grazie al potenziale di cattura e immagazzinamento di carbonio dall'atmosfera; alla attuazione di tali progetti di rigenerazione urbana devono altresì seguire azioni relative agli aspetti di benessere ambientale e vivibilità dei fruitori dei tessuti urbani attraverso mirate pianificazioni volte al controllo dei parametri ambientali e microclimatici, in *primis* l'umidità relativa e le sue ricadute, potenzialmente negative, in aree urbane e periurbane con scarsa ventilazione naturale.

3.2 Il Concetto di forestazione e riforestazione *urban greening*

4. La Valutazione degli ecosistemi del millennio, tradotto dall'inglese Millennium Ecosystem Assessment, è un progetto di ricerca che ha cercato di identificare i cambiamenti subiti dagli ecosistemi e di sviluppare degli scenari per il futuro, basandosi sul trend dei cambiamenti. È stato lanciato nel 2001 con il supporto delle Nazioni Unite ed è costato 24 milioni di dollari.

A partire dal 2001 il MEA (*Millennium Ecosystem Assessment*)⁴, ha condotto un *report* internazionale con lo scopo di "individuare lo stato degli ecosistemi globali, valutare le conseguenze dei cambiamenti negli ecosistemi sul benessere umano e fornire una valida base scientifica per la formulazione di azioni necessarie alla conservazione e all'uso sostenibile degli ecosistemi". Da esso hanno preso vita numerose ricerche scientifiche che hanno fornito una chiara e precisa definizione del concetto di Servizi Ecosistemici. Tali sono stati suddivisi in quattro macro categorie :

- 1) Servizi di supporto: necessari per la realizzazione di tutti i servizi primari; includono la componente antropica sul lungo periodo e in tali rientrano la creazione di suolo e minerali, il supporto alla riproduzione, alimentazione, rifugio ed evoluzione delle specie animali;
- 2) Servizi di approvvigionamento: sono i beni di consumo direttamente prelevabili dagli ecosistemi come cibo, materie prime (legname, minerali, metalli, fibre, resine, combustibili), variabilità biologica (variabilità genetica e di principi attivi), acqua dolce;
- 3) Servizi di regolazione: sono servizi più o meno diretti e riguardano la regolazione dei processi ecosistemici quali la regolazione dei *gas* in atmosfera (O_2 , CO_2 , O_3), la regolazione del ciclo dell'acqua, la regolazione del clima in funzione delle componenti vegetazionali e idrogeologiche, la regolazione dei dissesti idrogeologici che riducono le superfici destinate all'agricoltura, la regolazione dell'erosione dei suoli e la regolazione degli *habitat*.
- 4) Servizi culturali: sono benefici immateriali offerti all'uomo, offrendo ispirazione per arte, musica, simbolismi, architettura, dando significato a valori estetici e ricreativi.

Gli ambienti che maggiormente garantiscono Servizi Ecosistemici sono legati alle foreste, macchie vegetate e bacini idrici, ma tali si stanno degradando rapidamente con conseguente diminuzione dei servizi garantiti all'essere umano, per questo risulta fondamentale coordinare le scelte politiche e di mercato a livello globale (MEA, 2005).

I servizi legati all'uso del suolo vedono cambiamenti drastici del paesaggio a causa di scelte umane nella gestione del territorio e nell'influenza nei processi dei cambiamenti climatici, oltre a cause naturali come gli incendi. I cambiamenti del paesaggio vengono analizzati attraverso l'uso che se ne fa, da uso naturale a uso semi-naturale, a causa di un incremento nella richiesta di nuove zone residenziali e l'espansione delle industrie forestali e dell'agricoltura. Nella maggior parte dei casi questi cambiamenti d'uso di suolo fertile risultano permanenti e irreversibili, la crescita e la diffusione delle aree urbane e delle loro infrastrutture creano un impatto negativo aumentando fabbisogno di trasporto, consumo di energia, inquinamento acustico ed emissione di inquinanti in atmosfera. Inoltre, l'agricoltura crea frammentazione del territorio, riduzione della biodiversità, alterazioni del ciclo idrogeologico e modificazioni microclimatiche.

3.2.1 I modelli di crescita forestale. Il software 3-PG

I modelli di crescita delle foreste sono utilizzati da professionisti e scienziati per comprendere la produttività delle foreste, gli effetti di gestione e la vulnerabilità, in particolare in caso di cambiamenti climatici. Attualmente sono in uso più di 50 diversi modelli di elaborazione forestale, che operano a diverse scale (Pretzsch et al, 2015) (Fontes et al, 2010) (Forrester et al, 2016). Uno dei modelli più utilizzati al mondo è lo *Physiological Processes Predicting Growth* (3-PG) (Landsberg et al, 1997). La sua struttura è relativamente semplice, i dati di *input* facilmente ottenibili e un numero relativamente basso di parametri hanno facilitato l'uso diffuso del 3-PG in molti tipi di foreste, come descritto in oltre 90 articoli internazionali *peer-reviewed* (Gupta et al, 2019). Nonostante la popolarità nell'utilizzo, le implementazioni 3-PG attualmente disponibili possiedono dei limiti che impediscono una perfetta integrazione del modello nel flusso di lavoro tradizionalmente utilizzati. Il *software* è stato originariamente progettato per foreste monospecifiche, pari età e sempreverdi e implementato in *Visual Basic* (Sands, 2004). Questa implementazione del modello è stata recentemente estesa per descrivere anche foreste decidue, di età non uniforme o miste (Forrester et al, 2016) e per calcolarne la produzione di legno. Per ottemperare a tali problematiche nel 2018 è stata rilasciata commercializzata una *release*, la quale fornisce un'interfaccia flessibile e di facile utilizzo, comprensiva di importanti estensioni.

Con tale aggiornamento, gli utenti possono avviare comodamente le simulazioni del modello (R Core Team, 2018) e passare in modo flessibile tra varie opzioni e sotto moduli. 3-PG descrive lo sviluppo di un popolamento forestale attraverso cinque sotto moduli:

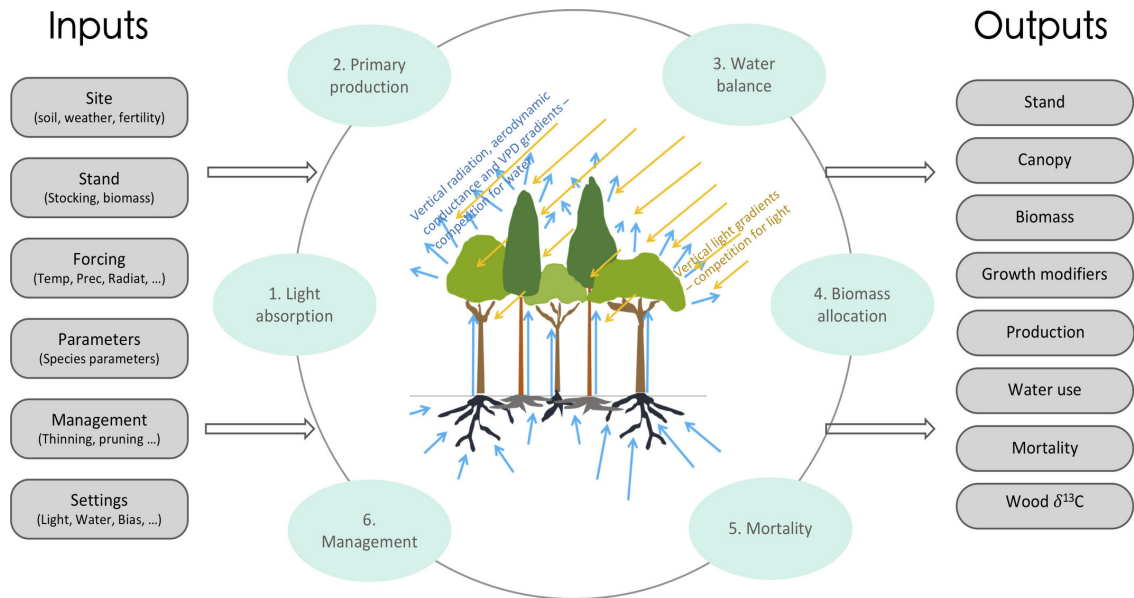


Figura 19 - La struttura del modello 3-PG.
 Fonte: (Gupta & Sharma, 2019)

luce, produttività, acqua, allocazione e mortalità. Questi sotto moduli aggiornano la struttura della foresta in fasi temporali mensili. Il sotto modulo luce calcola l'assorbimento della luce utilizzando coefficienti di estinzione della luce specifici per specie e indice di area fogliare, la struttura della chioma orizzontale è quantificata utilizzando la copertura del suolo frazionata della chioma (Landsberg et al, 2011). L'estensione 3-PG per le varietà di specie calcola l'assorbimento della luce di ciascuna specie o classe di età considerando la struttura verticale e orizzontale della chioma e può essere utilizzata per specie decidue e sempreverdi. In questo caso, la struttura della chioma orizzontale dipende dall'area fogliare del dato strato di chioma, dall'architettura della chioma e dalla latitudine (Forrester et al, 2016). La considerazione della struttura della chioma permette anche il calcolo dei gradienti verticali in radiazione, deficit di pressione di vapore (VPD) e conduttanza aerodinamica. Il sotto modulo della produttività calcola la produttività primaria lorda (GPP) in base a un'efficienza quantistica della chioma specie-

specifiche che è ridotta a causa delle limitazioni imposte da temperatura, gelo, VPD, umidità del suolo, stato dei nutrienti del suolo, CO₂ atmosferica ed età del suolo (Landsberg et al, 1997). La produttività primaria netta (NPP) viene quindi calcolata come frazione costante del GPP (Waring et al, 1998). Nel sotto modello dell'acqua, l'equazione di *Penman-Monteith*⁵ viene utilizzata per calcolare la traspirazione degli alberi e l'evaporazione del suolo e, insieme all'intercettazione della chioma, prevede l'evapotraspirazione. Qui, la produzione di frazione legnosa può essere calcolata per facilitare il confronto con le osservazioni puntuali sul posto. Il sotto modulo di allocazione distribuisce la NPP a radici, steli e fogliame a seconda dello stato dei nutrienti del suolo, della VPD e dell'umidità del suolo. Il sotto modello di mortalità calcola la mortalità dipendente dalla densità in base alla legge di auto diradamento e mortalità indipendente dalla densità, ad esempio causata da parassiti, malattie o siccità (Sands, 2004).

Dopo ogni fase temporale, la biomassa simulata viene convertita in variabili di *output* come il diametro medio dell'albero, l'altezza, l'area basale, il volume del legno, le distribuzioni dimensionali, ecc., utilizzando relazioni allometriche. In questa fase è possibile infine eseguire anche il diradamento, la defogliazione e l'irrigazione.

3.2.2 Benefici ambientali ed economici. Il software i-Tree

Si tratta di una *suite* di *software*, sviluppata principalmente dall'USDA (*United States Department of Agriculture*), gratuita e fruibile, a seguito di una registrazione, sul sito www.itreetool.org.

I *tool* forniti dalla *suite* permettono ad amministrazioni, privati, associazioni, studiosi, di conoscere nel dettaglio i Servizi Ecosistemici forniti da uno spazio aperto preso come analisi e migliorare la gestione dello stesso attraverso interventi mirati. *i-Tree* consente, inoltre, di

5. L'equazione di Penman-Monteith consiste in un modello analitico che considera sia le equazioni del bilancio energetico sia del trasporto turbolento, ed introduce, sviluppando perciò la formulazione originaria di Penman, due termini, la resistenza del manto vegetale e la resistenza aerodinamica. Tali parametri tengono conto dell'insieme dei processi che controllano la diffusione del vapore acqueo nell'atmosfera.

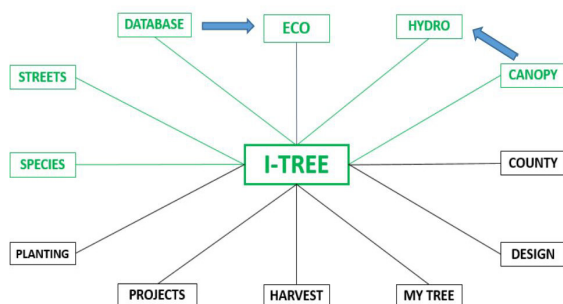


Figura 20 - Mappa tool i-Tree. In verde quelli disponibili per l'Italia. Le frecce rappresentano le interazioni tra i tool. Fonte: <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-manuals-workbooks>

lavorare su piccola e grande scala, passando dall'analisi di un singolo albero a ambiti di spazio urbano di città, di regione e di stato.

La suite di *i-Tree* scaricabile dal relativo sito *internet* permette di accedere a svariati *tool*: per alcuni viene creato un collegamento *internet* e per altri si apre una interfaccia sul *desktop*. Gli applicativi utilizzabili *online*, in ordine alfabetico, sono i seguenti:

- *i-Tree Canopy*: fruibile anche in Italia, realizza una stima statistica della copertura del suolo e fornisce un primo indirizzo sui Servizi Ecosistemici procurati dall'area, aiutando l'utilizzatore nella pianificazione di un possibile intervento sull'area. Le informazioni fornite da questo *tool* vengono usate all'interno della simulazione di *i-Tree Hydro*;

- *i-Tree County*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, permette di avere immediato accesso, per ogni contea, a dati di sequestro di carbonio, rimozione annuale di inquinamento atmosferico e al loro valore economico. Fa inoltre riferimento a valori corrispondenti ai danni evitati alla salute per aumento della qualità dell'aria, intercettazione e traspirazione annue e deflusso annuo evitato;

- *i-Tree Database*: fruibile in Italia, è stato realizzato per gli utenti internazionali al fine di utilizzare il *tool Eco* a cui è subordinato. Si possono inserire, rispettando un formato pre-impostato, informazioni sulla località da studiare, quali dati di inquinamento dell'aria e serie storiche delle piogge. È presente, inoltre, una sezione in cui sono presenti tutte le specie arboree da cui *i-Tree* attinge per processare i calcoli. Questa sezione è consultabile e si possono fare delle integrazioni personalizzabili. I tempi di elaborazione dei dati inseriti, per entrambe le sezioni, sono molto lunghi, raggiungendo, per progetti di alta elaborazione, anche mesi. Questo dipende dal fatto che i dati devono essere validati e resi disponibili per tutti gli utenti a livello globale;

- *i-Tree Design*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, fornisce un collegamento a *Google Maps* che indica gli effetti sull'uso dell'energia e altri benefici attorno a un edificio in funzione della selezione del tipo di albero, dimensione e posizione, permettendo di fare una stima a più anni;

- *i-Tree Landscape*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, rende possibile la consultazione dei dati locali di un'area tra cui la popolazione, la copertura del suolo, i benefici degli alberi presenti, e programmare eventi di piantumazione per migliorare i servizi ecosistemici forniti dall'area verde;

- *i-Tree My Tree*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, è un *tool* accessibile da dispositivo mobile e fornisce delle informazioni di base sugli alberi vicini all'utilizzatore;

- *i-Tree Planting Calculator*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, stima i benefici di un progetto di piantumazione su lungo periodo;
- *i-Tree Species*: fruibile anche in Italia, aiuta l'utilizzatore nel progettare una nuova area verde. Permette di definire l'importanza (da 0 a 10) dei servizi ambientali che si vogliono ottenere dalla stessa, fornendo così una lista di piante che maggiormente possano garantire le aspettative una volta raggiunta la maturità;
- *i-Tree Storm*: fruibile anche in Italia, è utilizzabile su varie scale e tipi di comunità e fornisce informazioni riguardanti tempi e fondi per mitigare i danni causati da un evento temporalesco.

Gli applicativi con interfaccia *desktop*, in ordine alfabetico, risultano:

- *i-Tree Eco*: fruibile anche in Italia, questo *tool* fornisce informazioni sulla struttura della foresta urbana e sui suoi effetti ambientali ed economici (es. sequestro di carbonio e il suo valore economico, VOC, deflusso minimo evitato, ossigeno fornito, etc.). Ciò è possibile per l'area d'interesse di piccola o grande scala, in seguito all'inserimento di dati di campo e dati orari di pioggia e degli inquinanti presenti;
- *i-Tree Hydro*: fruibile anche in Italia, è un modello idrologico specifico per la vegetazione. Considerando eventi di piena orari, mostra come questi vengano influenzati dalla vegetazione e da un terreno più o meno impermeabile, valutando anche la qualità dell'acqua;
- *i-Tree Streets*: fruibile anche in Italia e simile a *Eco*, si concentra sulla valutazione ambientale, culturale ed economica dei Servizi Ecosistemici di una strada urbana;
- *i-Tree Vue*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, dà libero accesso alle immagini di copertura del suolo e dei Servizi Ecosistemici forniti dalle foreste urbane presenti nel NLCD (*National Land Cover Database*), con la possibilità di modellare scenari futuri di piantumazione, mostrando come cambiano i servizi forniti.

Relativamente all'ambito delle soluzioni *green* volte alla riduzione, sottrazione e stoccaggio di CO₂ dall'atmosfera, la ricerca si è concentrata nell'approfondimento dei programmi *Canopy* ed *Eco*, di quest'ultimo relativamente al modulo *UFORE-C*: Stoccaggio del carbonio e sequestro annuale.

i-Tree Canopy Model

Questo *tool* permette agli utenti di definire puntualmente, su una mappa cittadina o non, la classe di copertura del terreno (albero, erba, edificio, strada, etc.). I risultati forniti dal programma riguardano le percentuali di copertura del terreno, esportabili e utilizzabili

li in altri programmi, valutate attraverso una analisi statistica che ne definisce l'errore *standard* (SE, ovvero l'intervallo di confidenza delle variabili) ad esse associato. Il *tool* inoltre, in funzione dell'area di copertura fogliare corrispondente alla classe "Tree", mostra il valore annuale degli inquinanti intercettato dagli alberi per deposizione secca (valutato in $g \cdot m \cdot yr^{-1}$) e ad esso associa un valore monetario ($\$ \cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$) (Hirabayashi, 2014). I valori annuali di rimozione e il loro corrispettivo economico sono incrementati da moltiplicatori forniti dal modello con cui è stato sviluppato il *tool* stesso. Per i Paesi al di fuori degli Stati Uniti, sono usati gli stessi moltiplicatori disponibili entro i confini statunitensi. L'EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*) ha definito i sei inquinanti che vengono stimati dal programma: CO, NO₂, O₃, SO₂, PM (particolato) che include PM_{2.5} e PM₁₀, ottenuto sottraendo la concentrazione del particolato PM_{2.5} da quella di PM₁₀. Per stimare l'incidenza degli effetti negativi sulla salute risultanti da cambiamenti di concentrazione degli inquinanti, viene utilizzato il *software BenMAP (Environmental Benefits Mapping and Analysis Program)*, ovvero un programma *open source* che calcola la quantità di inquinanti e il loro valore economico in funzione della qualità dell'aria. I valori dei moltiplicatori della rimozione e del corrispettivo economico, usati di *default* dal programma, sono stati calcolati negli Stati Uniti nel 2010 attraverso tre analisi riguardanti:

- il valore di copertura totale arborea, il calcolo della percentuale di sempreverde e dell'indice d'area fogliare (*LAI o Leaf Area Index*);
- una stima della rimozione degli inquinanti e dei cambiamenti di concentrazione dovuti alla deposizione;
- un calcolo della rimozione degli inquinanti.

Queste analisi, condotte in tutte le contee statunitensi per ogni area urbana (i cui confini sono stati stabiliti attraverso le informazioni reperibili dall'*U.S. Census Bureau*) e rurale (tutte quelle non urbane), sono state poi sovrapposte a quelle disponibili a livello di contea. Nello specifico, per ogni area è stato calcolato il quantitativo totale di rimozione e il corrispettivo economico, divisi per l'area totale di copertura arborea per ottenere i moltiplicatori. A livello di contea, invece, i moltiplicatori sono stati derivati aggregando i valori ottenuti per le aree urbane e per quelle rurali.

Per la copertura arborea sono state usate delle mappe (USGS, 2008) a cui sono state applicate delle modifiche, i valori di rimozione degli inquinanti e del cambio di concentrazione, dato dal deposito sulle

fronde degli alberi degli inquinanti, derivano da una stima oraria, poi ricondotta a un calcolo annuale tramite *i-Tree Eco*. I valori monetari di rimozione degli inquinanti in area urbana derivano dai valori medi di esternalità statunitensi, modificati secondo l'indice di prezzo del produttore, mentre quelli relativi alle aree rurali derivano dai precedenti secondo delle modifiche.

In alcune contee, però, dei moltiplicatori dell'inquinante PM_{2,5} sono risultati negativi in quanto, dai calcoli *BenMAP*, si evidenzia che in particolari situazioni gli alberi contribuiscono a un decremento della qualità dell'aria, aumentando gli effetti negativi sulla salute. Questi dati sono spiegabili in quanto viene valutata la deposizione a secco sulle fronde degli alberi, cosicché il particolato PM_{2,5} possa facilmente essere disperso nell'atmosfera circostante a causa di un vento di normale entità o possa depositarsi sul terreno attraverso un acquazzone sporadico o ancora con la caduta fogliare (USGS, 2008).

i-Tree Eco: UFORE Model

Il modello matematico, validato da innumerevoli sperimentazioni e supportato da *review* e manuali consultabili, con il quale è stato programmato il modulo Eco di *i-Tree*, è denominato "*The Urban Forest Effects (UFORE) model*". Esso permette di monitorare la struttura della foresta urbana e stimarne i Servizi Ecosistemici. I dati acquisiti in indagini di campo (*DBH* o *Diameter at Breast Height*, numero e tipo di alberi) vengono combinati per stimare altri elementi strutturali della foresta urbana (ad esempio: la copertura fogliare o la biomassa fogliare). Il modello integra inoltre dei dati ambientali locali, come concentrazione degli inquinanti e dati meteorologici orari, per restituire ulteriori stime riguardo lo stoccaggio del carbonio, la riduzione degli inquinanti, etc. Più è elevata la conoscenza della struttura della foresta urbana, maggiore sarà la precisione della stima dei benefici offerti e del loro valore economico. Quest'ultimo si ottiene utilizzando fattori moltiplicativi che provengono dalla letteratura scientifica, quindi, questo permette di personalizzarli in relazione al caso studio. I moduli associabili al presente modello matematico risultano essere: *UFORE-A (Anatomy of the Urban Forest)*, *UFORE-B (Emissioni Biogeniche)*, *UFORE-C (Stoccaggio del carbonio e sequestro annuale)*, *UFORE-D (Rimozione degli inquinanti)*, *UFORE-E (Effetti sull'uso dell'energia dell'edificio)* (Nowak et al, 2008).

6. La partnership pubblico-privato (PPP) è un modello innovativo di governance che si propone di rispondere ad un bisogno collettivo e di perseguire obiettivi condivisi attraverso la messa in comune delle loro risorse e competenze. Essa comporta un aumento del benessere sociale ed economico per la collettività, grazie anche al miglioramento della qualità e quantità dei servizi, contribuendo all'innovazione politica e promuovendo un processo di sviluppo territoriale sostenibile.

UFORE-C: Stoccaggio del carbonio e sequestro annuale

La rimozione della CO₂ e lo stoccaggio di carbonio sono permessi dai processi di crescita delle piante attraverso la loro biomassa fogliare; questi *gas*, intercettando alcune radiazioni nella atmosfera per via della loro lunghezza d'onda, contribuiscono all'aumento delle temperature. La quantità lorda di carbonio sequestrato annualmente viene stimata come differenza tra quella valutata nell'anno successivo e in quello precedente. Per migliorare la stima della variabilità regionale nella crescita arborea in funzione delle condizioni locali, è stata constatata la necessità di coinvolgere nel modello più dati di crescita degli alberi della foresta urbana.

Infatti, nell'attuale modello vengono considerati principalmente dati standardizzati sulla lunghezza della stagione di crescita delle piante e sulle dimensioni della chioma. All'interno del modello le molteplici equazioni impiegate per il calcolo del sequestro in tutte le specie sono state combinate per ottenerne una unica utilizzabile per un numero limitato di diametri in ciascuna specie, questo per evitare di avere stime disgiunte a causa della promiscuità delle stesse. Qualora non siano disponibili le equazioni allometriche specifiche per la singola pianta, vengono utilizzate quelle della famiglia, oppure quelle relative a conifere o latifoglie.

Relativamente alle specie arboree morte, che perdono il carbonio stoccato a causa della decomposizione o a causa di processi di rimozione, come la loro conversione in concime o la loro combustione, se non rimossi dal censimento iniziale possono essere annoverati erroneamente nel campionamento di stima dello stoccaggio: per questo motivo il modello stesso tiene conto di un periodo più o meno lungo (da 1 a 20 anni in funzione della localizzazione geografica) di rimozione di una certa percentuale di alberi che si definiscono a fine vita (Nowak et al, 2008)..

3.2.2 Partnership tra pubblico e privato: il programma GAIA e l'applicazione nel comune di Bologna

Il progetto GAIA è un innovativo esempio di *partnership* pubblico privato (PPP)⁶, uno strumento di *governance* nuovo e di supporto nella realizzazione di politiche pubbliche di sviluppo locale; tale programma si fonda principalmente su tre strumenti: un protocollo d'intesa e 3 allegati tecnici (aree, specie arboree e piano di comunicazione) oltre ad uno strumento che permette di calcolare la CO₂ prodotta dalle attività.

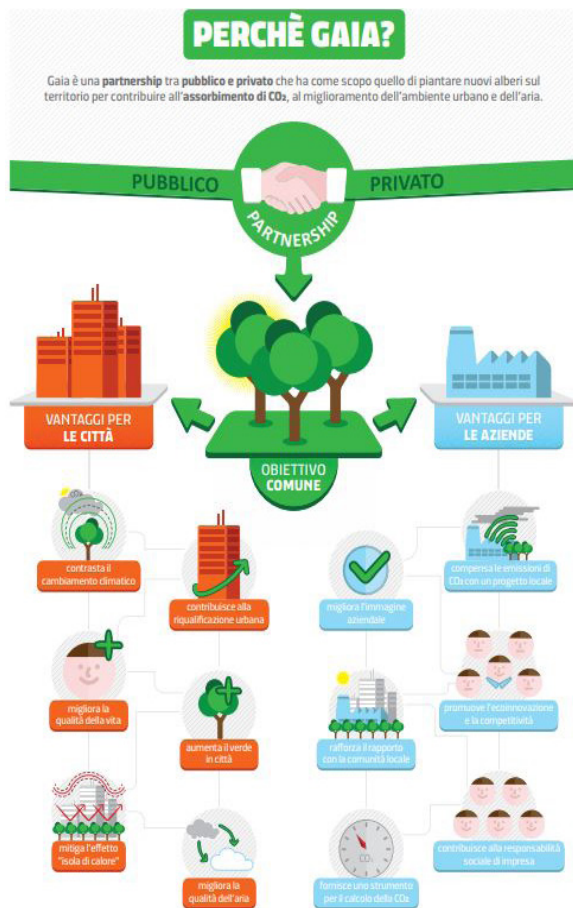


Figura 21 - Gli obiettivi del programma GAIA.

Fonte: <http://lifegaia.eu>

7. Life+ è lo strumento finanziario dell'Unione Europea a sostegno dei progetti di azione ambientale, conservazione della natura e del clima in tutta l'Unione Europea.

Il progetto, nato sotto lo slogan *"Chi inquina...pianta alberi"* è nato grazie al contributo del programma *Life+*⁷ della Commissione Europea, che ha puntato a coinvolgere le imprese private e pubbliche in una *partnership* pubblico-privato al fine di compensare parte delle loro emissioni di *gas* serra attraverso la messa a dimora di nuovi alberi. Le metodologie di *urban greening* possono infatti apportare grandi benefici in termini di mitigazione e adattamento alle emissioni di *gas* climateranti grazie alle funzioni biologiche delle specie, che consentono l'assorbimento di CO₂ e la depurazione dell'aria dagli inquinanti, contrastando l'effetto "isola di calore" tipico in ambiti urbani e periurbani. L'attività di forestazione urbana può, inoltre, favorire la riqualificazione degli spazi cittadini e migliorare la vivibilità delle città con ricadute positive anche di carattere sociale.

La necessità di ampliare gli spazi aperti al fine di migliorare la qualità della vita dei fruitori si coniuga al sempre maggior interesse delle aziende ad intraprendere un percorso volontario verso la sostenibilità ambientale. Il progetto GAIA ha per scopo la creazione di una sinergia tra attori locali (in particolare pubblica amministrazione e imprese) che si sono impegnate ad unire le proprie competenze e risorse per raggiungere un obiettivo comune, mettendo a punto strumenti e modalità operative innovative per l'utilizzo della forestazione urbana come strumento di *governance* ambientale.

Grazie ai risultati raggiunti con l'iniziativa, nel 2013 il Comune di Bologna con una delibera di giunta (PG.147297/2013) ha deciso di farne uno degli strumenti dell'amministrazione per ridurre le emissioni di CO₂.

Nello specifico gli obiettivi principali del progetto conseguiti dalla città sono stati:

- fornire alle aziende strumenti e competenze per diminuire la propria *carbon footprint* con azioni di compensazione che generino benefici ambientali e sociali nel territorio di riferimento;
- definire una metodologia, comune e replicabile, per la misurazione del potenziale di assorbimento degli inquinanti atmosferici delle nuove piantumazioni per quantificarne i benefici ambientali;
- sensibilizzare gli *stakeholder* sui vantaggi per l'ambiente che le politiche di contrasto ai cambiamenti climatici possono avere a livello locale.

Le principali attività progettuali hanno riguardato la raccolta di buone pratiche e la definizione del modello di *partnership*. La ricerca di esperienze virtuose si è concentrata, in particolare, nel settore della silvicoltura che ha portato all'analisi di 60 casi studio. Inoltre è stato definito il modello di *partnership* pubblico-privato, individuando gli attori da coinvolgere, gli obiettivi comuni, i *target* e i vantaggi per ciascuna categoria. Sono stati poi successivamente definiti gli strumenti tecnici necessari per supportare la *partnership* pubblico - privato e renderla replicabile; sono state selezionate dal *partner* scientifico *Ibimet-CNR* le 24 specie arboree utilizzate per il progetto GAIA-forestazione urbana partendo dal Regolamento del verde del Comune di Bologna e valutando fattori importanti quali il potenziale di assorbimento di inquinanti (CO₂ e PM₁₀), il rilascio di sostanze volatili e il fattore allergenico specifico. Le specie arboree individuate sono state raccolte in un *database*, elaborando, in un secondo momento, il Protocollo di gestione delle aree urbane verdi, il Protocollo di monitoraggio delle aree urbane verdi e il Protocollo

di comunicazione e delle opportunità di visibilità delle aziende. Un elemento importante per massimizzare gli obiettivi generali della *partnership* è quello di selezionare le specie arboree dando priorità a quelle che consentono di assorbire una maggiore quantità di CO₂ e di altri inquinanti. L'approccio del progetto GAIA prevede un concetto del verde urbano come di vero e proprio ecosistema, elemento biologico attivo, dinamico e multifunzionale per la mitigazione ambientale, risultando un servizio al cittadino per migliorare la salubrità della vita in città. Per selezionare le specie più idonee ad ogni contesto locale è indispensabile considerare alcuni aspetti, tra i quali:

- ricognizione delle specie consentite nelle aree territoriali oggetto di intervento;
- selezione, tra le specie autorizzate, quelle che hanno le migliori caratteristiche atte a compensare la CO₂ emessa dalle attività antropiche e a mitigare l'ambiente;
- accertamento dei tassi di emissione di composti organici volatili (VOC) per limitare l'adozione di specie arboree con alto potenziale di formazione dell'ozono.

Una volta considerati i precedenti aspetti si definisce una scheda per ogni specie selezionata che identifichi parametri come tipologia, caratteristiche, CO₂ media assorbita dalla pianta, allergenicità.

Suddetti parametri sono necessari a selezionare le specie arboree in modo tale da privilegiare alcuni aspetti, fra cui:

- assorbimento di CO₂: focalizzare la scelta su specie con un'elevata o media capacità di sequestro di CO₂ permette di ottenere i migliori risultati di compensazione della CO₂ derivante dalle attività antropiche;
- potenziale assorbimento di inquinanti gassosi: in ambiente urbano, generalmente caratterizzato da elevate concentrazione di inquinanti gassosi, è bene favorire la piantagione di alberi che hanno valori potenziali medio/alti di assorbimento di *gas* climalteranti;
- potenziale cattura delle polveri: in ambienti caratterizzati da un elevato inquinamento da polveri sottili è consigliabile favorire quelle specie arboree che presentano valori potenziali medio-alti di cattura delle polveri;
- emissione di VOC e potenziale di formazione di ozono: in aree inquinate, quali quelle urbane o industriali caratterizzati da elevate concentrazioni di ossidi di azoto, è buona pratica scegliere sempre specie a bassa o nulla emissione di VOC, limitando l'utilizzo su vasta

scala di quelle che invece presentano elevata emissione di VOC e che potrebbero incrementare la formazione di ozono;

- mitigazione della temperatura in aree dove il particolare tessuto urbano determina incrementi di temperatura, la scelta di specie con elevati valori medi di evapotraspirazione potenziale sono più opportuni per una efficace mitigazione delle aree urbane e periurbane;
- conservazione della biodiversità: anche nelle aree urbane e periurbane è necessaria una scelta oculata delle specie che abbia come obiettivo la conservazione della biodiversità per un corretto funzionamento di questi ecosistemi.

Relativamente al costo degli alberi impiegati ciò corrisponde ad un valore medio, e la metodologia per il calcolo del costo medio è stata sviluppata nell'ambito degli incontri che vengono eseguiti nella fase di coinvolgimento delle imprese interessate. Ogni albero ha in origine un costo diverso che varia a seconda della specie, dell'età dell'albero stesso e dalla manutenzione di cui necessita, per far sì che il costo medio dell'albero (comprensivo di manutenzione per tre anni e di messa a dimora) non risulti troppo elevato per le aziende e competitivo anche rispetto al costo medio di una tonnellata di CO₂ proveniente dal mercato volontario dei crediti (circa 15 €) è importante calcolare il costo medio su un *mix* di alberi di età e tipologia diversa. In questo modo il processo è trasparente e ogni azienda, a parità di contributo, ha la possibilità di piantare lo stesso numero di alberi e assorbire il medesimo quantitativo di CO₂. Ogni azienda può contribuire con almeno un albero, 200 € o multipli di esso; mediamente un albero, nel progetto adottato a Bologna, assorbe circa 3 tonnellate di CO₂ nel suo ciclo di vita che in ambiente urbano è stato definito essere di 30 anni.

Selezionate le specie arboree con maggiori capacità di assorbimento di inquinanti e di capacità di mitigazione, sono state selezionate le aree dove effettuare le piantumazioni; le aziende interessate si sono impegnate in forma volontaria a contribuire alla realizzazione delle aree verdi, compensando così le emissioni derivanti da alcune loro attività o prodotti selezionati. I *partner* scientifici in tale fase hanno svolto un ruolo molto importante in quanto hanno contribuito attivamente alla definizione degli allegati tecnici di GAIA ed alla realizzazione dei primi tre interventi pilota nella medesima città (Villa Angeletti, Palazzo d'Accursio e parte delle Roveri).

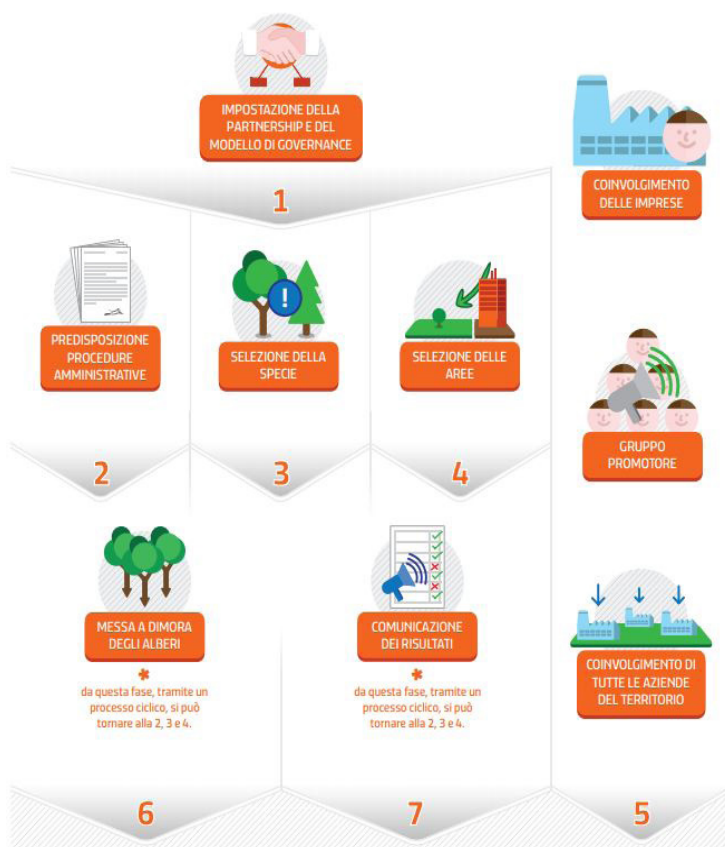


Figura 22 - Le fasi di processo del programma GAIA.

Fonte: <http://lifegaia.eu>

3.3 La capacità di decarbonizzazione del patrimonio arboreo e arbustivo - i processi *carbon farming*

Tra le innumerevoli capacità del patrimonio arboreo e arbustivo nell'ottica di forestazione e riforestazione urbana al fine di contribuire a una drastica riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera mediante assorbimento e stoccaggio nelle masse vegetali, si vuole analizzare a tal punto due delle principali strategie ad oggi adottate quali la pratica delle silvicoltura e della produzione di *biochar* dalla biomassa vegetale provenienti da foreste urbane e periurbane.

3.3.1 Silvicoltura e altri usi del suolo (LULUCF)

Tra le principali azioni previste negli Accordi di Parigi del 2015 per la mitigazione dei cambiamenti climatici, vi è quella di aumentare lo *stock* di carbonio nella biomassa forestale. (Friedlingstein et al, 2019) Il contributo degli alberi come assorbitori di CO₂ potrebbe ulteriormente aumentare in futuro, grazie all'effetto fertilizzante legato all'aumento della concentrazione di questo *gas* serra in atmosfera. Le emissioni antropiche di anidride carbonica potrebbero quindi essere controbilanciate, almeno parzialmente, da un incremento nella crescita degli alberi; esperimenti specifici identificati con l'acronimo *FACE (Free Air CO₂ Enrichment)* (Hsien et al, 2013) hanno effettivamente dimostrato che un aumento della concentrazione di CO₂ aumenta l'accrescimento e quindi lo stoccaggio netto di carbonio, soprattutto nelle foreste da poco messe a dimora. I dati per foreste mature o vetuste sono tuttavia attualmente pochi e molto spesso contrastanti tra loro (UNFCCC, 2020).

Ai sensi della legislazione dell'UE adottata nel maggio 2018, gli Stati membri dell'UE sono tenuti a garantire che le emissioni di *gas* a effetto serra derivanti dall'uso del suolo, dal cambiamento di uso del suolo o dalla silvicoltura siano compensate almeno da un assorbimento equivalente di CO₂ dall'atmosfera nel periodo 2021-2030. Il regolamento, relativo all'inclusione delle emissioni e degli assorbimenti di *gas* a effetto serra risultanti dall'uso del suolo, dal cambiamento di uso del suolo e dalla silvicoltura (LULUCF) nel quadro 2030 per il clima e l'energia, è stato adottato dal Consiglio il 14

maggio 2018, a seguito del voto del Parlamento europeo il 17 aprile 2018, attuando l'accordo tra i *leader* dell'UE svoltosi nell'ottobre 2014 in base al quale tutti i settori dovrebbero contribuire all'obiettivo di riduzione delle emissioni dell'UE per il 2030, compreso il settore dell'uso del suolo. Tali norme forniscono agli Stati membri un quadro per incentivare un uso più rispettoso delle risorse del pianeta, senza imporre nuove restrizioni ai singoli soggetti. Ciò aiuterà gli agricoltori a sviluppare pratiche di agricoltura ecocompatibili e a sostenere i silvicoltori attraverso una maggiore visibilità dei benefici climatici dei prodotti in legno, che possono immagazzinare il carbonio sequestrato dall'atmosfera e sostituire i materiali ad alta intensità di emissione.

Oltre alla regola del "*no-debit*"⁸, l'articolo 8 del Regolamento prevede che, entro il 31 dicembre 2018, gli Stati membri presentano alla Commissione i loro piani nazionali di contabilizzazione forestale, che includono un livello di riferimento proposto per le foreste, per il periodo dal 2021 al 2025 (UNFCCC, 2020).

Il livello di riferimento per le foreste è basato sulla continuazione di pratiche sostenibili di gestione forestale, come documentate nel periodo dal 2000 al 2009 (*reference period-RP*) e tengono conto del futuro impatto delle caratteristiche dinamiche delle foreste collegate all'età.

Tale elemento è infatti ritenuto fondamentale per lo sviluppo di pratiche sostenibili di gestione forestale e quindi al mantenimento o al rafforzamento dei pozzi di assorbimento del carbonio a lungo termine. I metodi ed i dati utilizzati per determinare il livello di riferimento proposto per le foreste sono riportati nel piano nazionale di contabilizzazione forestale (NFAP) e sono coerenti con quelli utilizzati per la comunicazione nazionale relativa ai terreni forestali gestiti. Successivamente all'invio, la Commissione, in consultazione con gli esperti nominati dagli Stati membri, effettua una valutazione tecnica dei piani nazionali di contabilizzazione forestale e dei livelli di riferimento proposti per le foreste anche consultando le parti interessate e la società civile. Al termine delle consultazioni, la Commissione pubblica una sintesi dei lavori svolti, inclusi i pareri espressi dagli esperti nominati dagli Stati membri, e le relative conclusioni (UNFCCC, 2020).

Nel 2019 in Italia, nel settore della silvicoltura, si è registrato un saldo positivo pari a 42 Mton CO_{2eq}, in linea con i precedenti anni ma inferiore di circa 2 Mton CO_{2eq} rispetto al picco registrato nel 2015. Tale valore è influenzato come illustrato nei precedenti paragrafi

8. Regola del "non debito" dell'Unione Europea che impone gli Stati membri di contabilizzare le emissioni (debiti) provenienti da tutte le categorie di uso del suolo all'interno del settore LULUCF.

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
LULUCF	-3,56	-23,67	-20,90	-35,10	-41,97	-33,95	-25,02	-39,97	-41,09	-43,61	-40,23	-21,36	-36,27	-41,56
Forest Land (foreste)	-17,36	-31,12	-25,72	-34,56	-36,59	-32,57	-28,23	-37,47	-38,62	-39,95	-36,89	-21,43	-33,39	-37,27
Cropland (seminativi e coltivazioni legnose)	2,43	1,05	-0,12	-1,61	-0,84	0,82	2,06	1,81	1,35	0,60	-0,74	-0,49	-0,03	-1,40
Grassland (prati, pascoli e terre boscate)	4,59	-2,41	-1,61	-6,26	-9,22	-7,17	-4,03	-9,53	-8,97	-9,31	-8,25	-4,85	-8,27	-8,26
Wetlands (zone umide)	0,00	0,00	0,01	0,01	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05
Settlements (insediamenti urbani)	7,14	8,27	6,98	7,80	4,68	4,69	4,69	4,70	4,71	4,73	5,54	5,54	5,55	5,19
Harvested wood production (prodotti legnosi)	-0,39	-0,40	-0,45	-0,50	-0,14	0,15	0,35	0,38	0,30	0,20	0,06	-0,20	-0,18	-0,19
Other land (altre terre)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 1 - Settore LULUCF -
Evoluzione storica emissioni di gas serra in Mton CO₂eq.

Fonte: Rielaborazione su dati ISPRA, National Inventory Report 2020 - Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019.

9. Il suolo è un corpo naturale costituito da particelle minerali ed organiche che si originano dall'alterazione chimico - fisica delle rocce e dalla trasformazione biologica e biochimica dei residui organici. Al suolo sono correlati i seguenti servizi ecosistemici: la produzione di cibo e di biomasse; la regolazione del microclima, dei cicli biogeochimici, del deflusso superficiale e dell'infiltrazione dell'acqua; il controllo

dalla variabilità di frequenza ed intensità degli incendi, dal disboscamento e degli usi del suolo.

La gestione sostenibile dei suoli e della silvicoltura risulta fondamentale per le tre Convenzioni principali delle Nazioni Unite per la biodiversità (UNCBD), i cambiamenti climatici (UNFCCC) e la lotta alla desertificazione (UNCCD).

Mediamente, a livello mondiale, si rinvencono nel primo metro di suolo⁹ circa 1500 Pg di carbonio organico, più di quanto ne sia presente nell'atmosfera (760 Pg di carbonio organico) e nella vegetazione (560 Pg di carbonio organico).

Al fine di favorire la capacità di stoccaggio di CO₂ nei suoli agricoli e ridurre le emissioni in atmosfera sono di seguito elencate le principali strategie di decarbonizzazione, principalmente basate sulla riduzione delle emissioni derivate dalla gestione dei suoli agricoli (Grassi et al, 2018).

	Strategie
Stoccaggio di carbonio nel suolo	Inserimento di colture in grado di favorire la più ampia copertura vegetativa nell'annata agraria, come quelle di integrazione, intercalari, consociate (erba medica, trifoglio, etc.), catch crop e cover crop nelle rotazioni; Introduzione di una quota maggiore di colture da foraggio; Piantumazione di siepi, macchie e fasce tampone arbustive; Aumentare la conversione dei seminativi a prati; Attuare schemi di rotazione lunghi; Gestire e recuperare i terreni marginali con l'introduzione di nuove colture; Privilegiare la pacciamatura organica e migliorare l'attività sia della macrofauna che della microflora, specialmente quella fungina, per incrementare la porosità del suolo garantendo un'ottima aereazione, infiltrazione dell'acqua, trasferimento di calore e crescita delle radici; Monitorare gli indicatori agronomici (rese colturali, qualità delle produzioni, costi per coltura, etc.) ed ambientali (contenuto in sostanza organica dei suoli, attività microbiologica, presenza di anellidi e microartropodi, etc.) per verificare il miglioramento delle funzioni agro-ecologiche dei suoli apportato dalle pratiche attuate e di promuovere progetti di ricerca, di trasferimento di conoscenze e supporto all'adozione di tecniche innovative specifiche tra ricercatori, tecnici ed agricoltori; Incentivare il supporto, la formazione e la sensibilizzazione in ambito scolastico e professionale delle pratiche di gestione sostenibile del suolo.
Prevenzione Incendi	Realizzazione e potenziamento delle infrastrutture di protezione; Implementazione dei sistemi di allerta.

dell'erosione; la ricarica delle falde; la cattura e lo stoccaggio del carbonio; la mitigazione dei fenomeni idrologici estremi e la conservazione della biodiversità.

*Tabella 2 - Settore LULUCF
 – Principali contributi alla decarbonizzazione
 Fonte: Rielaborazione su dati ISPRA, National Inventory Report 2020 - Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019.*

Stimare il contributo alla mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici nel settore forestale è più difficile rispetto ad equiparabili settori analoghi. Nel settore forestale, il conteggio di emissioni e assorbimenti di *Ghg* è complicato dalla necessità di distinguere l'effetto degli interventi dell'uomo (per es. la gestione forestale attiva) da quello derivante dall'evoluzione naturale degli ecosistemi forestali. Inoltre, l'andamento futuro di emissioni e assorbimenti di *Ghg* dipende anche dalle caratteristiche di ciascun popolamento forestale, quali composizione specifica ed età, a loro volta legate alla gestione forestale pregressa e/o a disturbi naturali (Grassi et al, 2018). Considerando questa complessità, la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (*UNFCCC*) definisce approcci diversi per la rendicontazione (*reporting*) e la contabilizzazione (*accounting*) di *Ghg* nel caso del settore *LULUCF*. Per il *reporting*, i paesi devono descrivere e quantificare le emissioni e gli assorbimenti di *Ghg* di origine antropica nelle aree gestite, rispetto all'uso e al cambiamento d'uso del suolo, basandosi sulla metodologia delineata dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC,2006). L'*accounting*, invece, ha lo scopo di calcolare, attraverso specifiche regole, la quantità di emissioni e assorbimenti di *Ghg* imputabili alle azioni antropiche dirette volte al raggiungimento degli obiettivi di

riduzione delle emissioni fissati per ciascun paese. Il nuovo Regolamento europeo ha lo scopo di rendere la contabilizzazione per il settore forestale più oggettiva e comparabile a quella di altri settori, includendo così il settore *LULUCF* negli obiettivi di riduzione delle emissioni di *Ghg* fissati a livello europeo per il 2030 (-40% rispetto al 1990) (European Commission, 2014) e validi anche nell'ambito dell'Accordo di Parigi.

Per capire le motivazioni che hanno portato alla formulazione del Regolamento, possiamo ricordare che, nell'attuale sistema di contabilizzazione, per il settore *LULUCF* nel secondo periodo di impegno del Protocollo di Kyoto (2013-2020), le emissioni e assorbimenti di *Ghg* legati alla gestione delle foreste esistenti sono calcolati mediante confronto con un livello di riferimento (*reference level, RL*) obbligatorio per tutti i paesi sviluppati (Krug, 2018). Questo livello è stato stimato da ogni paese nel 2011, proiettando al 2020 le emissioni o assorbimenti di *Ghg* attesi sulla base non solo delle dinamiche di crescita delle proprie foreste, ma anche dell'eventuale effetto di politiche economiche ed energetiche e dell'evoluzione del mercato dei prodotti legnosi. Poiché tali variabili, di per sé difficili da verificare oggettivamente in sede di revisione, sono risultate estremamente aleatorie, anche la credibilità complessiva dei crediti generati dal settore forestale è stata in parte minata da questi stessi elementi (Grassi et al, 2018).

L'approccio neutro rispetto ad eventuali scenari politico-economici richiesto per il calcolo del RL nel nuovo Regolamento europeo rende il settore forestale più confrontabile con altri, come quello agricolo o energetico, seppur con alcune limitazioni imposte alla contabilizzazione dei crediti che di fatto possono indebolire le azioni di mitigazione generate dal settore forestale (Grassi et al, 2017) . Nel contesto degli obiettivi di mitigazione definiti dall'Accordo di Parigi (European Commission, 2016) , il nuovo Regolamento va nella direzione di esplicitare non solo i crediti del settore forestale, ma anche i debiti generati da una riduzione del *sink* nel medio-lungo periodo. Da un punto di vista strategico, gli effetti di mitigazione conseguiti nel settore forestale dovranno essere combinati con quelli relativi al settore bioenergetico, favorendo così il processo di decarbonizzazione e il raggiungimento della neutralità tra emissioni-assorbimenti di carbonio nel lungo periodo.

L'attuazione del nuovo Regolamento comunitario, in combinazione anche con il Testo Unico forestale, può quindi contribuire alla valorizzazione del settore forestale nazionale, non solo rispetto

alla mitigazione dei cambiamenti climatici, ma anche nei riguardi dello sviluppo economico dell'intera filiera, anche attraverso l'esplicitazione dei beni e servizi ad essa sottesi (Krug, 2018).

3.3.2 Sequestro del carbonio nel suolo - i *carbon sink*

L'UNFCCC (*United Nation Framework Convention on Climate Change* - Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici) definisce *carbon sink* come "come qualsiasi processo, attività o meccanismo per rimuovere *gas* ad effetto serra, *aerosol* o un precursore di *gas* serra dall'atmosfera. *Sink* di carbonio (*carbon sink*) sono quindi attività, processi, o meccanismi di rimozione (e sequestro) di biossido di carbonio (CO₂) dall'atmosfera" (Lal, 2016).

Alla luce delle definizioni sopra citate, si evince che i *carbon sink* forestali (*forestry carbon sink* - pozzi di assorbimento forestali) sono quindi luoghi ove si verifica il processo di assorbimento di CO₂ dall'atmosfera e suo sequestro mediante fissazione nelle molecole organiche vegetali (organizzazione della CO₂). Le specie arboree, infatti, assorbendo anidride carbonica nel processo di fotosintesi, fissano il carbonio nella propria biomassa e nel suolo, le quali esse stesse divengono vere e proprie riserve di carbonio (*carbon stock*) sulla superficie terrestre. Secondo l'UNFCCC, "Nell'ambito del Protocollo di Kyoto alcune specifiche attività antropiche negli usi del suolo, nei cambiamenti degli usi del suolo e nella forestazione che rimuovono i *gas* serra dall'atmosfera (*carbon sinks*, pozzi di assorbimento di carbonio), possono essere adottate dai Paesi per compensare i propri obiettivi di emissione, quali:

- afforestazione/riforestazione;
- lotta alla deforestazione.

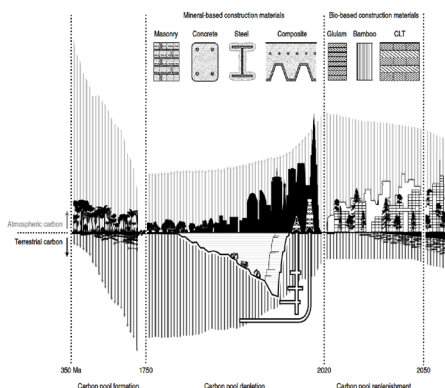


Figura 23 - Pozzi di carbonio (*carbon sinks*).

Fonte: (Grassi et al, 2017)

Al contrario, le variazioni di queste attività che riducono i *carbon sink* (ad esempio aumento della deforestazione) saranno sottratte dalla quantità di emissioni che i Paesi possono emettere nell'ambito del loro periodo di impegno (impegni definiti nel Protocollo di Kyoto).

Le attività sopra descritte legate al suolo ed ai suoi usi sono le cosiddette attività *LULUCF - Land-Use, Land Use Change and Forestry*, il cui assorbimento di carbonio è stato a lungo esplorato dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*); quest'ultimo nel 2006 ha codificato delle Linee guida (le *Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry*) volte ad armonizzare le metodologie di stima dei flussi di carbonio nei diversi usi del suolo e degli assorbimenti nazionali di *gas serra*. Secondo le "*GPC for LULUCF*" le variazioni negli *stock* di carbonio vengono calcolate in 5 tipologie diverse di "serbatoi agro-forestali di carbonio" (*carbon pools*) (IPCC, 2006):

- la biomassa epigea (*above-ground biomass*), costituita dall'insieme dei tessuti che costituiscono le parti aeree degli organismi vegetali viventi (fusti, rami e ceppaie, inclusa la corteccia, foglie, semi e frutti);
- la biomassa ipogea (*below-ground biomass*), costituita dagli apparati radicali di organismi vegetali viventi;
- la lettiera (*litter*), costituita dai residui più fini (foglie, fiori ed infiorescenze, frutti ed infruttescenze, rametti ecc), non ancora decomposti;
- la necromassa (*deadwood*), rappresentata dai residui vegetali legnosi più grossolani;
- il suolo (*soil*), che comprende il carbonio organico presente negli strati organici e minerali, incluse le radici più fini, fino ad una profondità convenzionale di 30 cm dello strato minerale.

Le logiche sopra illustrate definiscono l'importanza strategica dei *carbon sink*, i quali rappresentano una efficace forma rientrante nelle soluzioni di sottrazione di CO₂ di tipo *green*, di contrasto al *climate change*.

I *carbon sink* forestali nel Protocollo di Kyoto

Come già introdotto precedentemente, a fianco delle misure di contenimento e riduzione delle emissioni di *gas serra*, il Protocollo di Kyoto introduce una serie di misure in campo agricolo e forestale denominate attività *LULUCF - Land-Use, Land-Use Change and Forestry*: gli assorbimenti carboniosi collegati a queste attività possono essere inclusi (secondo precise regole di contabilizzazione e secondo tetti massimi

di sfruttamento) nei bilanci nazionali dei *gas* serra, a compensazione di una quota delle emissioni nazionali di tali *gas* climalteranti.

Per poter essere ammissibili alla contabilità di carbonio nazionale le attività *LULUCF* devono però:

- aver avuto obbligatoriamente inizio dopo il 1990;
- essere di tipo “intenzionale” (“*direct human-induced*”), cioè devono essere attività volontariamente realizzate grazie ad interventi umani (e non naturali);
- essere “addizionali” (criterio della addizionalità), cioè la riduzione delle emissioni deve essere addizionale rispetto alla situazione che si avrebbe in assenza di tale progetto (rispetto allo scenario di riferimento - *baseline*);
- deve essere possibile valutare quantitativamente le emissioni evitate attraverso misure, stime o altri metodi ufficialmente riconosciuti.

Le attività nel settore *LULUCF* possono fornire un modo relativamente conveniente per compensare le emissioni, sia aumentando la rimozione dei *gas* serra dall’atmosfera (piantumazione di specie arboree o gestione delle foreste esistenti), sia riducendo le emissioni (interruzione dei processi di deforestazione). Tuttavia, permangono aspetti non pienamente definiti poiché spesso può risultare difficile stimare la rimozione e le emissioni di *gas* serra derivanti dalle attività di *LULUCF*. Inoltre, i *gas* serra possono essere anche rilasciati involontariamente nell’atmosfera (incendi boschivi improvvisi). Alcune questioni relative alle attività *LULUCF* sono state risolte e concordate negli Accordi di Marrakech nel 2001, in particolare:

- l’art. 3.3 del Protocollo di Kyoto identifica le attività di ARD (*Afforestation, Reforestation e Deforestation*), quali variazioni permanenti nell’uso del suolo che devono essere contabilizzate dagli Stati nazionali nella forma AR-D, andando cioè a sottrarre alle attività “*human-induced*” di Afforestazione e Riforestazione (realizzate dopo il 1990) le emissioni legate a processi di Deforestazione;
- l’art. 3.4 del Protocollo di Kyoto estende il ruolo attività *LULUCF* ad una ulteriore serie di interventi nel settore agricolo e forestale, che sono però classificate come “attività addizionali” (si tratta cioè di un *pool* di attività che le “Parti” possono conteggiare su base volontaria: l’Italia, similmente a quasi tutti gli altri Paesi Europei, ha “eletto” esclusivamente l’attività di *Forest Management* - FM).

Le rimozioni nette di *gas* a effetto serra dalle attività *LULUCF* generano i cosiddetti *Removal Unit credit (RMU)* che parti interessate dagli accordi possono utilizzare per contribuire a raggiungere i

propri obiettivi di riduzione delle emissioni (UNFCCC, 2020). Sono ritenuti validi solo quando le rimozioni sono state verificate da gruppi di esperti di revisione secondo le procedure di rendicontazione e revisione del protocollo e non possono essere accreditati (ossia i crediti non possono essere a bilancio di periodi di impegno futuri).

La misura in cui le parti possono contabilizzare le emissioni e gli assorbimenti da specifiche attività *LULUCF*, per il primo periodo di impegno, è limitata dal seguente sistema di massimali a quattro livelli:

Livello 1: se le attività di imboscimento, rimboscimento e deforestazione di una parte comportano più emissioni che rimozioni, la parte può compensare tali emissioni attraverso attività di gestione forestale, fino a un livello totale di 9 megatoni di carbonio all'anno per il periodo di impegno di cinque anni;

Livello 2: la misura in cui le attività di gestione forestale possono essere contabilizzate per contribuire al raggiungimento degli obiettivi di emissione oltre i 9 megatoni di carbonio all'anno è soggetta a un limite individuale per ciascuna parte. Questo tetto include progetti di attuazione congiunta che coinvolgono la gestione delle foreste;

Livello 3: le emissioni e gli assorbimenti derivanti dalla gestione dei terreni coltivati, dalla gestione dei pascoli e dalla rivegetazione possono essere contabilizzati per contribuire a raggiungere gli obiettivi di emissione su base netta (ad esempio, le variazioni degli *stock* di carbonio nel 1990, moltiplicate per cinque, saranno sottratte alle variazioni degli *stock* di carbonio il primo periodo di impegno, nelle terre ove si svolgeranno queste attività);

Livello 4: solo i progetti di imboscimento e riforestazione sono ammissibili nell'ambito del meccanismo di sviluppo *green*. Le rimozioni di *gas* serra da tali progetti possono essere utilizzate solo per contribuire a raggiungere obiettivi di emissione fino all'1% delle emissioni dell'anno di riferimento di una parte per ogni anno del periodo di impegno (UNFCCC, 2020).

La protezione e la promozione dei serbatoi di carbonio risultano ad oggi insufficienti per garantire una protezione del clima efficace e nel lungo periodo. Tali metodologie contribuiscono però a definire gli assi strategici volti al dimezzamento delle emissioni da fonte antropica al 2030 e alla neutralità climatica al 2050, nel rispetto degli Accordi di Parigi nel 2018. Inoltre, in futuro il conteggio di questo effetto di accumulazione biologica di carbonio potrebbe diventare

un effetto negativo, poiché un ecosistema può trasformarsi da serbatoio a fonte di emissione. In questo ambito vi sono diversi elementi in gioco, fattori che di anno in anno possono anche mutare: condizioni meteorologiche, composizione specifica e struttura dei soprassuoli boschivi, malattie, infestazioni di insetti, disponibilità di acqua e di sostanze nutritive, gestione ed utilizzazione. Nel 2018, la tempesta Vaia ha investito il Triveneto (Italia) con venti di scirocco che soffiavano a 200 km/h, l'impatto sull'ambiente è stato devastante; tale evento meteorologico ha provocato la distruzione di 42.500 ettari di foreste e lo schianto al suolo di milioni di alberi rilasciando di colpo il 2% delle emissioni italiane annuali (Rainato et al, 2021). In un panorama naturale completamente stravolto, uno dei problemi emersi nel *post* disastro è stato quello di riuscire a gestire gli oltre 9 milioni di metri cubici di legname abbattuto. Il bosco, in questo caso, si è trasformato in una fonte d'emissione. Se si tiene conto dei possibili sviluppi del clima previsti dai modelli climatici attuali, per il futuro è lecito attendersi un aumento di eventi estremi (incendi boschivi o, in particolari condizioni, infestazioni di insetti oppure, calamità naturali come le tempeste); una previsione della capacità di stoccaggio del carbonio da parte di questi serbatoi è quindi correlata a diversi fattori d'incertezza. Negli interventi di deforestazione l'intera provvigione legnosa accumulatasi nel bosco nei decenni precedenti viene rimossa in una volta e deve pertanto essere conteggiata come fonte d'emissione. Durante i primi anni che seguono un intervento di afforestazione o riforestazione, l'aumento delle riserve di carbonio è ancora ridotto; nelle latitudini europee queste afforestazioni hanno bisogno di decenni per sviluppare le capacità di assorbimento di una foresta matura (Rainato et al, 2021).

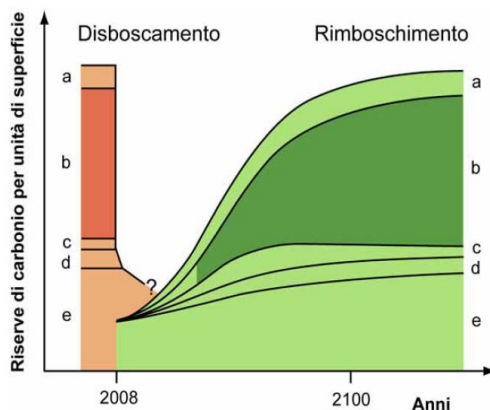


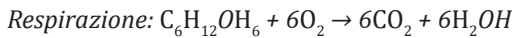
Figura 24 - Rappresentazione schematica delle modifiche nelle riserve di carbonio a seguito di un disboscamento e contemporaneo rimboscimento compensativo. (a. rami, b. legno commercializzato, c. arbusti legnosi, d. radici, e. suolo).
Fonte: (Rainato et al, 2021)

3.3.3 Biochar

Il drastico aumento delle emissioni di CO₂ scaturite dall'aumento della domanda energetica per la produzione di prodotti chimici, beni e combustibili viene considerato uno dei fattori principali scatenanti il riscaldamento globale. Tra le soluzioni *green* si può annoverare il *biochar* (materiali porosi a base di carbonio) considerato, dopo ricerche e sperimentazioni su varie tipologie di biomassa, come uno dei maggiori prodotti in grado di assorbire carbonio e fissarlo nel suolo (Lehmann et al, 2009).

La pirolisi è indicata come “una delle tecnologie di lavorazione del combustibile per i materiali carboniosi mediante la riallocazione dei carboni in tre prodotti pirogeni (cioè *syngas*, olio pirolitico e *char*) in una condizione priva di ossigeno”. La distribuzione dei carboni (nei materiali carboniosi) nei tre prodotti pirogeni è fortemente influenzata dai tipi di materiali carboniosi, temperatura di riscaldamento, velocità di riscaldamento, tempo di residenza. (Liu et al, 2015) (Bridgwater,2012) (Lee et al, 2010) (Neves et al, 2011). L'*International Biochar Initiative* (IBI) descrive il *biochar* come “*un materiale solido ottenuto dalla carbonizzazione della biomassa*” che si verifica quando la biomassa (come legno, letame o residui di colture) viene riscaldato in un contenitore chiuso con poca o assenza di aria (Lehmann et al, 2009).

Grandi emissioni di anidride carbonica comportano un aumento della minaccia per l'ambiente naturale ed antropico; studi scientifici evidenziano impatti su salute, agricoltura e approvvigionamento alimentare, ecosistemi, zone costiere, risorse idriche, produzione e utilizzo di energia, utilizzo del suolo, deforestazione, oltre a cambiamenti climatici sempre più estremi e rapidi. È necessaria un'azione molto più ambiziosa rispetto le tecniche attuali di riduzione delle emissioni di carbonio; a causa dell'attuale necessità di richiedere sempre più energia, gli attuali programmi di mitigazione ridurrebbero solo parzialmente l'attuale concentrazione di CO₂ nell'atmosfera senza avere alcun beneficio per il futuro. L'anidride carbonica viene rimossa dall'atmosfera quando viene assorbita dalle piante come parte del ciclo biologico del carbonio, ma a causa delle quantità attuali e stimate di anidride carbonica emesse, i cicli biologici del carbonio non sono sufficienti per gestire i miliardi di tonnellate emesse. Nel ciclo del carbonio la fotosintesi assorbe carbonio per la produzione di zucchero quindi utilizza la respirazione o la rimozione delle scorie per rilasciare nuovamente CO₂ nell'atmosfera.



Pertanto, il ciclo del carbonio ha un prelievo netto di carbonio dall'atmosfera dello 0 per cento, definendosi quindi a neutralità carbonica. In un ciclo di base alla fine le piante decadono e questa biomassa morta inizia a rilasciare nell'atmosfera anidride carbonica catturata, dando luogo a un ciclo naturale non più virtuoso. La biomassa organica delle specie vegetali in decomposizione o dei resti dell'agricoltura può essere convertita in carbone o *biochar* che può aiutare a prevenire "... il cambiamento climatico globale sostituendo l'uso di combustibili fossili, sequestrando carbonio nei pool di carbonio del suolo e riducendo drasticamente le emissioni di ossidi di azoto, un gas serra più potente dell'anidride carbonica" (Lehmann et al, 2009). Il *biochar* rallenta il decadimento e la mineralizzazione del ciclo biologico del carbonio per stabilire un pozzo di carbonio e una sottrazione di carbonio netto dall'atmosfera del 20 per cento. Inoltre, recenti studi hanno mostrato che impiegare questo tipo di *biochar* nel suolo può ridurre le emissioni del 12-84% rispetto i valori attuali; una forma positiva di sequestro che "...offre la possibilità di trasformare la bioenergia in un'industria carbon negative".

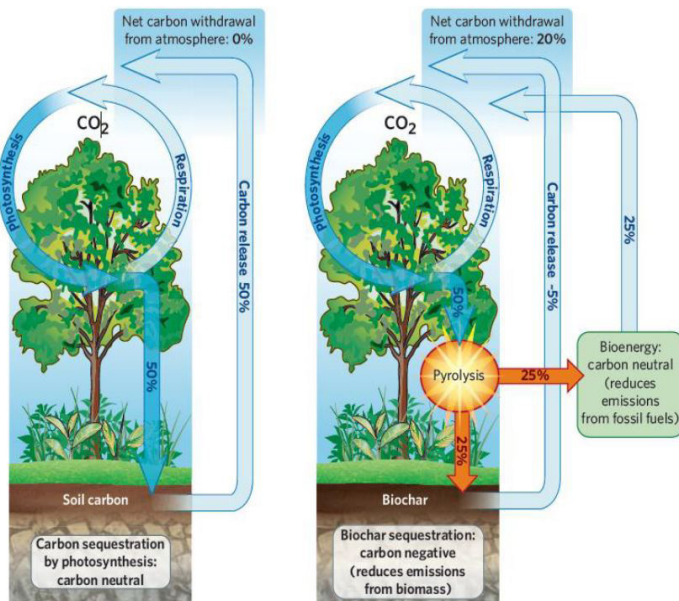


Figura 25 - Confronto del ciclo del carbonio nella configurazione tradizionale e mediante utilizzo della pirolisi per la produzione di energia e biochar.
 Fonte: (Lehmann, 2007)

Negli ultimi anni l'uso di materia organica in eccesso o biomassa per creare *biochar* ha dato risultati promettenti nella riduzione della CO_2 . Il *biochar* è un carbone ricco di carbonio che si forma dalla pirolisi (decomposizione termica) della biomassa organica (Lehmann, 2007).

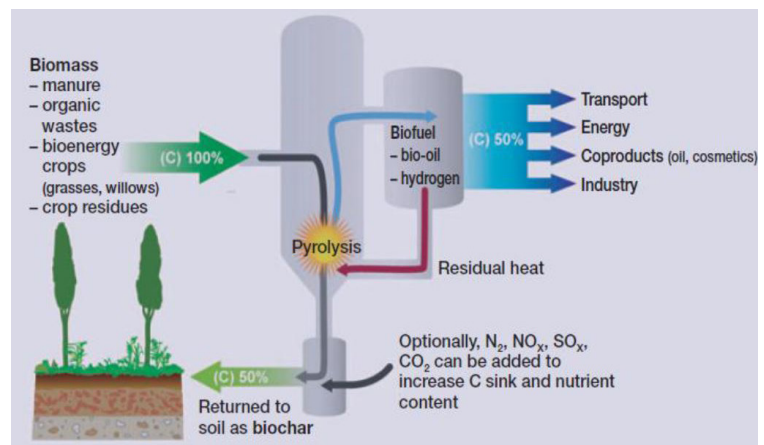
Biomassa (solido) -> PIROLISI -> biochar + liquido o olio (catrame, acqua ecc.) + gas volatile (CO_2 , CO , H_2)

La reazione produce anche bio-olio e *gas* come l'idrogeno che possono essere utilizzati come fonti di energia per alimentare case o automobili, prodotti generati sottoponendoli ad alte temperature con piccole quantità iniziali di biomassa. Inoltre, il *biochar* è un ammendante del suolo ed è quindi una valida opzione per lo stoccaggio sotterraneo del carbonio fissandolo per secoli (Lehmann, 2007).

Formazione del *biochar* dalla biomassa

Il *biochar* è prodotto dalla combustione di materiale organico ad alte temperature con poca o nessuna disponibilità di ossigeno. Il potenziale dell'utilizzo del *biochar* per sequestrare il carbonio nel suolo ha ricevuto una notevole attenzione da parte della ricerca negli ultimi anni come parte degli sforzi per sviluppare pratiche agricole intelligenti per il clima. Poiché la maggior parte del *biochar* è carbonio (70-80%), può potenzialmente contribuire con più carbonio rispetto ai residui vegetali (circa il 40% di carbonio) di massa simile. Inoltre, circa il 60% di questo carbonio organico *biochar* è di

Figura 26 - Ciclo di utilizzo della biomassa con output energetici mediante pirolisi o come produzione di *biochar*.
Fonte: (Lehmann, 2007)



elevata stabilità e quindi resiste alla decomposizione molto più del materiale vegetale che non è stato trasformato in *biochar*. Sebbene il *biochar* contenga alti livelli di carbonio, rimane incertezza su quanto tempo il carbonio persisterà nel terreno dopo l'applicazione. Le caratteristiche intrinseche del *biochar*, come dettate dalle materie prime e dalle condizioni di pirolisi, interagiscono con le condizioni climatiche come le precipitazioni e la temperatura per influenzare il tempo in cui il carbonio del *biochar* rimane immagazzinato nel suolo. Studi recenti suggeriscono che tempi di pirolisi più brevi e temperature di pirolisi più elevate rendono il *biochar* più recalcitrante (cioè persiste per periodi più lunghi nel suolo). Tuttavia, ci sono dei compromessi in quanto queste condizioni di pirolisi producono meno *biochar* per unità di materia prima. Come spesso accade, la tessitura del suolo gioca un ruolo chiave nel determinare la persistenza del carbonio *biochar*. Il *biochar* inoltre si stabilizza nel terreno interagendo con le particelle del suolo.

Riduzione dei contaminanti nel suolo

Mentre il *biochar* viene applicato ai terreni per scopi di condizionamento e fertilizzazione, questa applicazione può anche essere utile nella riduzione dei componenti tossici. Studi in questione hanno dimostrato che il *biochar* è anche in grado di assorbire metalli come il piombo e sostanze organiche che contaminano i terreni danneggiando flora, fauna e l'ecosistema antropico (Neves et al, 2011). Questo perché il *biochar* impiegato come additivo per un terreno migliora la sua capacità di assorbimento complessiva incidendo sulla tossicità poiché vi è una diminuzione della trasportabilità e l'esaurimento della presenza di composti metallici o organici. Il *biochar* risulta essere una metodologia a basso costo e a basso impatto ambientale per la bonifica dei comuni e della salute relativa agli inquinanti ambientali. Secondo la *Scientific Review of Biochar Application to Soils*, l'assunzione di metalli contaminanti da parte del carbonio comporta la sostituzione degli ioni già esistenti contenuti nel carbone con lo ione metallico presente nel suolo, suggerendo una potenziale correlazione tra il contenuto del *biochar* e il suo potenziale di bonifica per i metalli. Impostato su pratiche di gestione ereditate dalle antiche civiltà, l'idea di sequestrare il carbonio attraverso l'aggiunta di *biochar* al suolo è stata oggetto di interesse e sperimentazioni scientifiche quali mezzo per mitigare il riscaldamento globale attraverso il sequestro di carbonio nel sottosuolo (Lehmann et al., 2006).

Anche le pratiche di gestione, che potrebbero aumentare il sequestro di carbonio nella biomassa e nel suolo utilizzando il *biochar* come fonte di nutrienti, hanno ricevuto nel tempo un incremento di attenzione da parte della ricerca.

Uno dei punti di forza importanti del *biochar* è che il carbonio nel *biochar* resiste alla decomposizione; (Lehmann et al., 2006) recenti studi hanno riportato che il *biochar* "può trattenere il carbonio nei suoli per centinaia o migliaia di anni", come evidenziato dai suoli di Terra Preta della regione amazzonica nel nord del Brasile. Una meta-analisi degli effetti di decomposizione e di innesco sulla stabilità del *biochar* nel suolo (Wang et al, 2016) ha suggerito che solo una piccola percentuale di carbonio nel *biochar* (3%) è biodisponibile e che il resto ha contribuito alla stabilità a lungo termine nel suolo. Una revisione sistematica (Gurwick et al., 2013), ne ha concluso che: "non ci sono dati sufficienti per trarre conclusioni su come la produzione e l'applicazione del *biochar* influenzino i budget del GHS (gas serra) dell'intero sistema".

L'aumento della produzione di biomassa, sia per aumentare la produzione alimentare, la generazione di energia o per bonificare terreni degradati, rimuoverà la CO₂ atmosferica e potrebbe quindi essere una strategia di mitigazione per ridurre il riscaldamento globale. Inoltre, la conversione dei sottoprodotti agricoli e forestali in *biochar* potrebbe ridurre le emissioni di CO₂ e metano dalle materie prime durante la decomposizione naturale o la combustione del materiale di scarto (Lehmann et al., 2006).

Il servizio Comunitario di Informazione in materia di Ricerca e Sviluppo CORDIS

Il servizio Comunitario di Informazione in materia di Ricerca e Sviluppo (CORDIS) è la principale fonte della Commissione europea in merito ai risultati dei progetti finanziati dai programmi quadro dell'UE per la ricerca e innovazione. CORDIS dispone di un archivio pubblico strutturato con tutte le informazioni relative ai progetti approvati dalla Commissione europea, quali schede informative dei progetti, partecipanti, relazioni, risultati finali e collegamenti a pubblicazioni *open access*.

Tale servizio è gestito dall'Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea a nome della direzione generale Ricerca e innovazione della Commissione europea, agenzie esecutive e imprese locali, sostenute da appaltatori specializzati per servizi editoriali, apporto di dati e servizi tecnici.

CORDIS è uno dei capisaldi della strategia della Commissione per diffondere e sfruttare i risultati della ricerca ed è governato e finanziato nell'ambito del programma quadro *Horizon 2020*. Di seguito si elencano i principali progetti finanziati dalla Comunità Europea in merito alla gestione e uso del *biochar*.

Final Report Eurochar (2011-2014)

Alla luce del recente cambiamento climatico, cresce la necessità di strategie per trasferire nel suolo grandi quantità di carbonio presenti nell'atmosfera. La trasformazione di biomassa di origine vegetale in carbone vegetale (*biochar*) possiede grandi potenzialità quale strategia di sequestro del carbonio su larga scala. Il progetto *EUROCHAR* (*Biochar* per il sequestro del carbonio e la rimozione su larga scala dei gas serra *Ghg* dall'atmosfera), finanziato dall'UE, si è proposto di testare l'efficacia di tale approccio. Il progetto ha realizzato questo obiettivo attraverso l'esecuzione di test su diversi metodi di produzione di *biochar*, la conduzione di sperimentazioni sul campo e la modellizzazione degli effetti di un'applicazione di strategia in tutto il mondo. Gli addetti impegnati nel progetto hanno testato metodi diversi per la creazione di *biochar*: la gassificazione o carbonizzazione termale (TC) e la carbonizzazione idrotermale (HTC). I diversi *biochar* sono stati analizzati e testati in termini di miglioramento del suolo nei campi di varie parti d'Europa. Il progetto ha rilevato differenze significative nella composizione del *biochar* in funzione della fonte di biomassa e del metodo di trattamento. I *biochar* tramite TC sono più stabili e meglio realizzati e dimostrano potenzialità di sequestro migliori rispetto a quelli realizzati mediante HTC. Nessuno dei *biochar* analizzati ha evidenziato alcuna tossicità per le piante e tutti i componenti chimici sono risultati molto al di sotto dei limiti ammessi nell'UE. Sul campo, i prodotti di *biochar* hanno dimostrato una buona stabilità e i ricercatori hanno osservato che il *biochar* aveva alterato le comunità microbiche nel suolo in diversi siti oggetto di studio. *EUROCHAR* ha creato modelli sugli effetti a lungo termine di questa strategia nell'UE e ha scoperto che potrebbe sequestrare una quantità di carbonio pari al 5 % delle emissioni dei trasporti nell'UE; risulta chiaro quindi che il *biochar* si prospetta come una strategia di sequestro del carbonio nell'UE e nel mondo.

Final Report BASE (2013-2015)

Il progetto *BASE* (*Biochar application in a natural ecosystem*), finanziato dall'UE, ha usato delle tecniche derivanti dalla fisica, chimica e biologia del suolo per determinare gli ecosistemi derivanti all'applicazione di *biochar* a una prateria nel nord dell'Europa. Lo studio ha spaziato dal livello genetico fino al paesaggio, consentendo ai ricercatori di ottenere un quadro completo di ciò che accade quando si applica il *biochar* ai terreni. Per constatare che non tutti i *biochar* sono uguali, sono state usate delle tecniche all'avanguardia come ad esempio tomografia a raggi X, tecniche di sondaggio dell'isotopo stabile e analisi del DNA sotto forma di DNA *microarray*. Le proprietà fisiche e chimiche possono variare molto e tale modifica gli effetti del *biochar* dopo essere applicato sul suolo. Il *biochar* dovrebbe aumentare la capacità di trattenere l'acqua nei terreni sabbiosi, ma si è scoperto che tale, prodotto a partire dai rifiuti verdi della prateria non migliorava in modo significativo le proprietà idrologiche della terra argillosa sabbiosa. La microtomografia è stata utilizzata per mostrare che il materiale era altamente idrofobo, e che per questo è stato permesso all'acqua di penetrare spazio poroso delle particelle di *biochar* nel suolo. Ulteriori studi hanno svelato che l'effetto del *biochar* sulla produttività delle colture molto probabilmente deriva dagli effetti di fertilizzazione delle sostanze nutrienti in esso contenuto. Queste possono essere sotto forma di potassio proveniente dalla cenere che compone il *biochar* o da azoto; tuttavia, si è scoperto che questo effetto di fertilizzazione è inferiore rispetto a quello prodotto dal materiale da cui il *biochar* è stato originariamente ricavato. Questo risultato accentua l'importanza di applicare in modo rigoroso i controlli per sottolineare che vengono studiati gli effetti dell'applicazione del *biochar* sul suolo.

Certificato europeo di *biochar* (EBC)

L'EBC è stato sviluppato per limitare i rischi dell'uso del *biochar* e per aiutare gli utenti e i produttori di *biochar* a prevenire o almeno ridurre qualsiasi rischio per la salute e per l'ambiente durante la produzione e l'utilizzo dello stesso.

Per migliaia di anni, il carbone è stato uno dei materiali di base della civiltà mondiale, l'uso di gran lunga più comune del carbone era per cucinare, riscaldare e bruciare senza fiamma quando si producevano strumenti di metallo. Tuttavia, per secoli carbone e *biochar* sono

stati utilizzati anche per il condizionamento dei terreni, o come materiale per lettiera, come medicinale e anche come additivo per mangimi. Nel corso del secolo scorso la maggior parte di questo sapere tradizionale è andato perduto riscoprendosi a partire dal 2010. Grazie ad un'ampia ricerca multidisciplinare e prove sul campo, la comprensione dei processi biologici e fisico-chimici coinvolti nella produzione e nell'uso del *biochar* ha fatto grandi progressi, già dal 2015 è stato registrato un aumento significativo dell'uso agricolo del *biochar*; dal 2020 in poi è stata prevista un'ulteriore accelerazione dell'uso agricolo e industriale. Le applicazioni agricole spaziano da rimodulazioni del suolo, additivi per il compostaggio e supporti per fertilizzanti al trattamento del letame, additivi per insilati e per mangimi. Le applicazioni industriali sono particolarmente rilevanti per l'edilizia, la plastica, la carta e l'industria tessile.

La produzione tradizionale in forno di carbone e *biochar* senza la combustione di *gas* pirolitici è scarsamente soddisfacente per quanto riguarda la sua efficienza in termini di carbonio e la sua impronta ambientale; di conseguenza, tali forni non sono adatti alla produzione di grandi quantità di *biochar* da utilizzare in agricoltura o nell'industria. I moderni impianti di pirolisi e alcuni tipi di forni su scala agricola come i sistemi di pirolisi a cortina di fiamma sono invece idonei per produrre *biochar* da una grande varietà di materie prime in modo efficiente dal punto di vista energetico e senza danneggiare l'ambiente. Poiché sia le proprietà del *biochar* che l'impronta ambientale della sua produzione dipendono in gran parte dai parametri di pirolisi e dal tipo di materie prime da utilizzare, è stato necessario introdurre un sistema di controllo e valutazione sicuro per la sua produzione e analisi.

Nell'emanare queste linee guida *Ithaka Institute*, ideatore di tale certificazione, intende introdurre un meccanismo di valutazione basato sulle ultime ricerche e pratiche. Richiedendo l'uso di questo sistema di valutazione, il certificato europeo di *biochar* (EBC) consentirà e garantirà la produzione, la lavorazione e la vendita sostenibile di *biochar*. Viene introdotto per fornire ai clienti uno *standard* di qualità affidabile, dando ai produttori l'opportunità di dimostrare che i loro prodotti soddisfano *standard* di qualità ben definiti e riconosciuti. Mira inoltre a fornire un solido trasferimento di conoscenze all'avanguardia ai fini di un dettagliato piano di legislazione futura per tale settore (ad es. regolamenti UE sui fertilizzanti o regolamenti sui pozzi di carbonio).

La tecnologia *biochar* continua a svilupparsi molto rapidamente, numerosi progetti di ricerca in tutto il mondo studiano le proprietà del *biochar* e la loro interazione con altre sostanze, materiali e ambiente circostante ove sono presenti. Ogni anno vede nuovi produttori di apparecchiature per la pirolisi entrare nel mercato e le aree in cui vengono utilizzati i prodotti sono in rapida crescita; il certificato europeo *biochar* è strettamente allineato con questa ricerca e sarà di conseguenza rivisto regolarmente per tenere conto degli ultimi risultati e sviluppi.

L'obiettivo di queste linee guida è incoraggiare e garantire il controllo della produzione e della qualità del *biochar* sulla base di processi ben studiati, legalmente supportati, economicamente sostenibili e praticamente applicabili. Gli utenti di *biochar* e prodotti a base di *biochar* beneficeranno di un monitoraggio trasparente e verificabile e di una garanzia di qualità. Attualmente, il certificato europeo di *biochar* è uno *standard* industriale volontario in Austria, Germania, Finlandia, Francia, Romania, Serbia, Svezia, Norvegia. In Svizzera, invece, è obbligatorio per tutto il *biochar* venduto per l'utilizzo in agricoltura. Diversi altri paesi hanno allineato le loro normative relative al *biochar* con l'EBC.

La certificazione *C-sink* è essenzialmente un processo in due fasi.

- l'EBC certifica il potenziale *Carbon-sink* che il *biochar* ha all'ingresso della fabbrica del produttore di *biochar*. Ciò include tutte le spese di produzione, trasporto, cippatura, stoccaggio, essiccazione della biomassa, nonché tutte le spese dell'impianto di pirolisi.
- all'ingresso della fabbrica, il *biochar* viene rilevato da un sistema di tracciamento che segue il *biochar* fino al pozzo finale e valutando tutte le spese e le emissioni di *gas serra* che si verificano lungo questi percorsi (ad esempio trasporto, macinazione, lavorazione). Non appena il *biochar* viene mescolato in substrati agricoli come foraggi, *compost*, letame liquido e fertilizzante o in materiali duri come cemento, resine o plastica, il potenziale di *C-sink* può essere convertito in certificati *C-sink* negoziabili.

3.4 Bibliografia

AV Bridgwater (2012), *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrade*, *Biomass Bioenergy*, vol. 38, pp. 68-94.

Cernusak, L. A. et al. (2019), '*Robust Response of Terrestrial Plants to Rising CO₂*', *Trends in Plant Science*, 24(7), pp. 578–586. doi: 10.1016/j.tplants.2019.04.003.

Ciais, P., Sabine, C., Govindasamy, B., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R., Piao, S., and Thornton, P. (2013), *Carbon and Other Biogeochemical Cycles*, in: *Climate Change 2013 The Physical Science Basis*, edited by: Stocker, T., Qin, D., and Plattner, G.-K., Cambridge University Press, Cambridge.

D. Neves, H. Thunman, A. Matos, L. Tarelho, A. Gómez-Barea (2011), *Caratterizzazione e previsione dei prodotti di pirolisi della biomassa*, *Prog. Combustione Energetica*. Sci. 37 (5), pp. 611-630.

Denning, S. (2021), '*Southeast Amazonia is no longer a carbon sink*', *Nature: International weekly journal of science*, 595(7867), p. 354. doi: 10.1038/d41586-021-01871-6.

EEA (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions — The European Green Deal*, COM(2019) 640 final.

European Commission (2020), *EU Climate Action Progress Report*, Brussels.

European Commission (2014), *A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030*, Com(2014) 15 final.

European Commission (2016), *The Road from Paris: assessing the implications of the Paris Agreement and accompanying the proposal for a Council decision on the signing, on behalf of the European Union, of the Paris agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Com/2016/0110 final.

FAO (2020), *Global Forest Resources Assessment 2020*.

Fontes, L., Bontemps, J.-D., Bugmann, H., van Oijen, M., Gracia, C., Kramer, K., Skovsgaard, JP (2010), *Modelli per supportare la gestione forestale in un cambiamento, Sistemi forestali*, vol. 19, pp. 8 – 29.

FORESTEUROPE (2020), *Conferenza ministeriale sulla protezione delle foreste in Europa*, Bratislava.

Forest Europe (2020), *State of Europe's Forests 2020*.

Forrester, DI e Tang, X. (2016), *Analizzare le dinamiche spaziali e temporali delle interazioni tra specie nelle foreste miste e gli effetti della densità dei popolamenti utilizzando il modello 3-PG. Modellazione ecologica*, vol. 319, pp. 233 – 254.

Friedlingstein P., et al., (2019), *Global Carbon Budget 2019*, in *Earth System Science Data*, vol. 11, pp. 1783-1838.

Gatti, L.V., Basso, L.S., Miller, J.B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H.L.G., Tejada, G., Aragão, L.E.O.C., Nobre, C., Peters, W., Marani, L., Arai, E., Sanches, A.H., Corrêa, S.M., Anderson, L., Von Randow, C., Correia, C.S.C., Crispim, S.P. & Neves, R.A.L. (2021), *‘Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change’*, in *Nature: International weekly journal of science*, vol. 595, no. 7867, pp. 388–393.

Gazzetta Ufficiale (2018), Testo unico in materia di foreste e filiere forestali, n. 92.

Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., and Zech, W. (2001), *The ‘Terra Preta’ phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschaften* vol. 88, pp. 37–41. doi: 10.1007/s001140000193.

Grassi G., Pilli R. (2017), *Method applied by the Jrc for projecting forest GHG emissions and removals based on the “continuation of current forest management”*, EUR 28623 EN, Luxembourg (Luxembourg), Publication Office of the European Union.

Grassi, G. et al. (2018), *‘Science-based approach for credible accounting of mitigation in managed forests’*, *Carbon Balance and Management*, 13(1). doi: 10.1186/s13021-018-0096-2.

Gupta, R., & Sharma, LK (2019), *Il modello di crescita forestale basato sui processi 3-PG per l’uso nella gestione forestale: una revisione, Ecological Modelling*, vol. 397, pp. 55 - 73.

Gurwick, N. P., Moore, L. A., Kelly, C., and Elias, P. (2013), *A systematic review of biochar research, with a focus on its stability in situ and its promise as a climate mitigation strategy*. PLoS ONE 8:e75932. doi: 10.1371/journal.pone.0075932.

Hirabayashi S. (2014), *i Tree Canopy Air Pollutant Removal and Monetary Value Model Descriptions*, New York.

Hsien Ming eEaslon and Arnold Jeffrey Bloom (2013), *‘The effects of rising atmospheric carbon dioxide on shoot-root nitrogen and water signaling’*, *Frontiers in Plant Science*, 4. doi: 10.3389/fpls.2013.00304.

IEA (2020), *Energy Technology Pathways*.

INFC (2005), *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. CRA - Istituto Sperimentale per l’Assesamento Forestale e per l’Alpicoltura.

IPCC (2006), *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. In: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (ed.) *Agriculture, forestry and other land use*, vol. 4. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.

IPCC (2021), *Special Report "Climate Change and Land"*.

ISPRA (2020), *National Inventory Report 2020 - Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019*.

Jo H.K. and McPherson E.G, (2001), *Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago*, *Journal of Environmental Management*, vol.61, pp. 165–177.

Joachim H. A. Krug (2018), *Accounting of GHG emissions and removals from forest management: a long road from Kyoto to Paris*, *Carbon Balance and Management*, 13(1), pp. 1–11. doi: 10.1186/s13021-017-0089-6.

JW Lee, B. Hawkins, DM Day, DC Reicosky (2010), *Sustainability: the capacity of smokeless biomass pyrolysis for energy production, global carbon capture and sequestration*, *Energy Environ. Sci.* 3 (11), pp. 1695-1705.

Knuth L. (2005), *Legal and institutional aspects of urban and peri-urban forestry and greening*. *FAO Legislative study*, n. 88.

Lal, R. (2016), *Biochar and Soil Carbon Sequestration. Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers*. M. Guo, Z. He and S. M. Uchimiya. Madison, WI, *Soil Science Society of America, Inc.*: 175-198.

Landsberg, J., & Sands, P. (2011), *Capitolo 9—Il modello basato sui processi 3-PG*. In *Ecologia terrestre, ecologia fisiologica della produzione forestale*, pp. 241 – 282.

Landsberg, JJ, & Waring, RH (1997), *Un modello generalizzato di produttività forestale che utilizza concetti semplificati di efficienza nell'uso delle radiazioni, bilancio del carbonio e partizionamento*, *Ecologia e gestione*, vol.95, pp. 209 - 228.

Larcher, W. (2003), *Physiological plant ecology : ecophysiology and stress physiology of functional groups*, vol. 4, Springer.

Lehmann, J. (2007), *'Bio-Energy in the Black'*, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), pp. 381–387.

Lehmann, J. (2007), *Handful of Carbon*. *Nature Publishing Group*, pp. 143-144.

Lehmann, J., and Joseph, S. (2009), *Biochar for environmental management: an introduction*. *Sci. Technol.* 1, 1–12.

Fattorini, L., Marcheselli, M. and Pisani, C. (2006), ‘A Three-Phase Sampling Strategy for Large-Scale Multiresource Forest Inventories’, *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 11(3), pp. 296–316. doi: 10.1198/108571106X130548.

Marchetti M., Vizzarri M., Lasserre B., Sallustio L., Tavone A. (2014), *Natural capital and bioeconomy: challenges and opportunities for forestry*. *Annals of Silvicultural Research* 38(2), pp.62–73.

Mark E. Harmon, William K. Ferrell and Jerry F. Franklin (1990), ‘Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-Growth Forests to Young Forests’, *Science*, vol. 247(4943), pp. 699–702.

McPherson, E.G., Simpson, J.R., Xiao, Q., Peper, P.J., Maco, S.E., (2003), *Benefit-cost analysis of Fort Collins’ Municipal Forest. Internal Report*. CUFR-2, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Center for Urban Forest Research 2, Albany, CA, pp. 1–39.

MEA (2005), *Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet*”. Available at: <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita/documenti/millennium-ecosystem-assessment>.

Miller, R. H. and Miller, R. W. (no date) ‘Planting survival of selected street tree taxa’, *Journal of Arboriculture*, 17(7), pp. 185–191. Available at: <https://search-ebSCOhost-com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=edselc&AN=edselc.2-52.0-0026314356&lang=it&site=eds-live&scope=site>.

Montoya-Tangarife, C. et al. (2018), ‘Monitoring the effects of land cover change on the supply of ecosystem services in an urban region: A study of Santiago-Valparaíso, Chile’, *PLoS ONE*, 12(11). doi: 10.1371/journal.pone.0188117.

Nowak, D.J., Crane, D.E. (2002), *Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA*, *Environmental pollution*, vol. 116(3), pp. 381–389.

Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C., Hoehn R.E., Walton J.T., and Bond J. (2008), *A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services*, New York.

Pasher, J. et al. (2014), *Assessing carbon storage and sequestration by Canada’s urban forests using high resolution earth observation data*, *Urban forestry & Urban Greening*, vol. 13(3), pp. 484–494.

Pretzsch, H., Forrester, DI, & Rötzer, T. (2015), *Rappresentazione della mescolanza di specie in modelli di crescita forestale. Una revisione e una prospettiva. Modellazione ecologica*, vol. 313, pp.276 – 292.

Price, J. T. and Warren, R (2016), *Review of the Potential of “Blue Carbon” Activities to Reduce Emissions*. Available at: <http://avoid-net-uk.cc.ic.ac.uk/wpcontent/uploads/delightful-downloads/2016/03/Literature-review-of-the-potential-of-bluecarbon-activities-to-reduce-emissions-AVOID2-WPE2.pdf>.

Park, M.S., Joo, S.J. and Lee, C.S. (2013), *Effects of an urban park and residential area on the atmospheric CO₂ concentration and flux in Seoul, Korea*, *Advances in atmospheric sciences*, vol. 30(2), pp. 503–514.

R Core Team (2018), *R: Un linguaggio e un ambiente per il calcolo statistico (versione 3.4)*, Vienna, Austria, estratto da <https://www.R-project.org/>.

Rainato, R. et al. (2021), *'Hydrological, geomorphic and sedimentological responses of an alpine basin to a severe weather event (Vaia storm)'*, Catena, 207. doi: 10.1016/j.catena.2021.105600.

Sands, P. (2004), *Adattamento di 3-PG a nuove specie: linee guida per la raccolta dei dati e l'assegnazione dei parametri*, Hobart, Australia.

Stoffberg, G.H. et al. (2010), *Carbon sequestration estimates of indigenous street trees in the City of Tshwane, South Africa*, *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 9(1), pp. 9–14.

U.S. Environmental Protection Agency (2004), *The particle pollution report: Current understanding of air quality and emissions through 2003*. EPA/454/R-04/002. Research Triangle Park, NC.

UN (2020), *Adapted from United Nations World map, 2020*.

UN (2020), *Global Status Report for Buildings and Construction 2020*.

UN (2021), *World Population Prospects 2021*, Upgrade.

UNECE (2020), *State of Europe's Forests 2020*.

UNFCCC (2020), *Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*, United Nation Climate Change.

W.-J. Liu, H. Jiang, H.-Q. Yu (2015), *Sviluppo di materiali funzionali a base di biochar: verso un materiale carbonio piattaforma sostenibile*, *Chem. Rev.* 115 (22), pp.12251–12285.

Wang, J., Xiong, Z., and Kuzyakov, Y. (2016), *Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects*. *GCB Bioenergy* vol. 8, pp. 512–523. doi: 10.1111/gcbb.12266.

Ward, H. C. et al. (2015), *Effects of urban density on carbon dioxide exchanges: Observations of dense urban, suburban and woodland areas of southern England*, *Environmental pollution*, vol.198, pp. 186–200.

Waring, RH, Landsberg, JJ, & Williams, M. (1998), *Produzione primaria netta delle foreste: una frazione costante della produzione primaria lorda? Fisiologia dell'albero*, vol.18, pp. 129 – 134.

3.5 *Sitografia*

<http://www.biochar-international.org/>

<http://www.biochar-international.org/biochar/carbon>

<https://www.european-biochar.org/en>

<https://cordis.europa.eu/it>

<https://cordis.europa.eu/project/id/265179/it>

<https://cordis.europa.eu/project/id/333802/reporting/it>

https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_it

<https://gdlcnseca.weebly.com>

https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf

<https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-manuals-workbooks>

<http://lifegaia.eu>

<http://www.lifemgn-serviziecosistemici.eu/IT/progetto/Pages/se.aspx>

<https://pdc.minambiente.it/it/area/temi/clima/progetto-gaia>

https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/NFAP_final.pdf

<https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/>

<https://www.progettogaia.eu/index.php?id=basi>

<https://www.sian.it/inventarioforestale/>

[https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/obiettivi_intro_inventario2013.jsp?menu=2.](https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/obiettivi_intro_inventario2013.jsp?menu=2)

https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/unpd-egm-fer-2020-10-session_ii_b_unpd_2020_wpp2021-adolescentfertility.pdf

ABSTRACT (INGLESE)

Urban forestation and reforestation interventions contribute, as highlighted in the previous chapter, to improve air quality, thermo-hygrometric comfort, reduction of heat islands and absorption of climate-changing gases, such as mainly carbon, from the atmosphere. These interventions also improve the daily well-being of residents, reducing forms of respiratory diseases and psycho-physical stress due to pollutants from vehicular exhausts, as well as to increase recreational-social activities, with the specific aim of reducing air and noise pollution. The general objective of this chapter is the creation of a database of tree and shrub species surveyed within the metropolitan city of Rome with the capacity to mitigate environmental and climate-altering gases. This tool, with the aim of being made available to public and private entities, citizens and businesses, is strategic, during the planning and design of open spaces, interstitial and urban, in order to consult the value of absorption and storage of each tree and shrub species surveyed. Once the description of the database setting has been illustrated and the results of the census have been graphically rendered, a qualitative-quantitative index has been introduced, linked to the absorption capacity and to the exotic status, in order to sensitize the actors of the sector to use autochthonous, native tree species with a high capacity of environmental mitigation, thus being more sustainable in environmental, social and economic terms. The second part of the chapter describes the process of setting up and realization of the more than 100 botanical thematic sheets for the tree and shrub species surveyed in the Appendix 1 - The Botanical Sheets section, highlighting, for each one, a brief description of the biological form, the type of chorotype and vegetation status, the anthesis, the regional-altitudinal distribution, the parameters of absorption and storage of carbon and mitigation capacity to vehicular traffic according to the main climate-altering gases from vehicle exhausts. A careful photographic selection with a sequence of global images of the species, of details of the leaf apparatus, of the inflorescence and of the fruit concludes the sheet. The third part of the chapter highlights the main results found through this tree census, proposing global strategic solutions aimed at improving the parameters of environmental mitigation.

CAPITOLO 4 Topic di indagine. Introduzione alla metodologia *green*

ABSTRACT

Interventi di forestazione e riforestazione urbana contribuiscono, come evidenziato nel precedente capitolo, a migliorare la qualità dell'aria, il benessere termoigrometrico, la riduzione delle isole di calore e all'assorbimento di *gas* climalterante, quale essere principalmente il carbonio, dall'atmosfera. Tali interventi inoltre migliorano il benessere quotidiano dei residenti, riducendo forme di malattie respiratorie e stress psico-fisico dovuto agli inquinanti degli scarichi veicolari, nonché a incrementare le attività ludiche-ricreative-sociali, con il preciso obiettivo di ridurre l'inquinamento atmosferico e acustico. Il presente capitolo pone come obiettivo generale la realizzazione di un *database* delle specie arboree e arbustive censite all'interno della città metropolitana di Roma Capitale con capacità di mitigazione ambientale e di assorbimento di *gas* climalteranti. Tale strumento, con l'obiettivo di essere messo a disposizione per enti pubblici e privati, cittadini e imprese, risulta strategico, in fase di pianificazione e progettazione di spazi aperti, interstiziali e urbani, al fine di consultare il valore di assorbimento e stoccaggio di ogni singola specie arborea e arbustiva censita. Illustrata la descrizione relativa alla impostazione del *database* ed evidenziati, attraverso una restituzione di tipo grafica, i risultati del censimento eseguito, è stato introdotto un *Indice quali-quantitativo* legato alla capacità di assorbimento e allo *status* di esoticità, al fine di sensibilizzare gli attori del settore ad impiegare specie arboree autoctone, native, ad alta capacità di mitigazione ambientale, risultando quindi più sostenibili in termini ambientali sociali ed economici. Nella seconda parte del capitolo sono stati descritti i processi di impostazione e realizzazione delle oltre 100 schede tematiche botaniche per le specie arboree e arbustive censite presenti nella Sezione Appendice 1 – Le Schede Botaniche, evidenziando, per ognuna, una descrizione sintetica relativa alla forma biologica, al tipo di corotipo e allo *status* di vegetazione, l'antesi, la distribuzione regionale-altitudinale, i parametri di assorbimento e stoccaggio di carbonio e di capacità di mitigazione al traffico veicolare secondo i principali *gas* climalteranti provenienti dagli scarichi di autoveicoli. Conclude la scheda una accurata selezione fotografica con una sequenza di immagine globale della specie, di dettaglio dell'apparato fogliare, dell'infiorescenza e del frutto. La terza parte del capitolo evidenzia i principali risultati riscontrati attraverso tale censimento arboreo, proponendo soluzioni strategiche globali volte al miglioramento dei parametri di mitigazione ambientale.

4.1 Materiali e metodi del *Topic* di indagine

Premessa

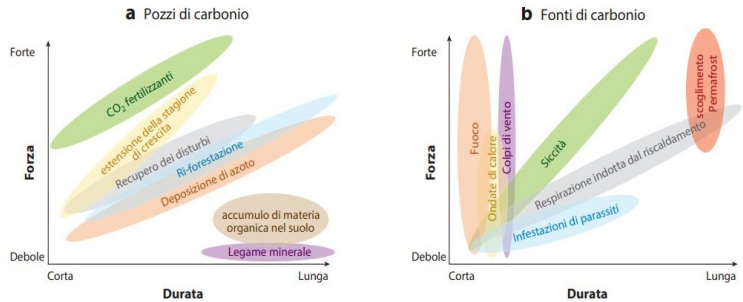
Il carbonio, nelle attività biologiche terrestri, non può essere né creato né distrutto, ma viene continuamente scambiato tra ecosistemi e ambiente attraverso una complessa combinazione di fisica e biologia, questo equilibrio definendosi ciclo terrestre del carbonio. Per questo motivo negli ultimi decenni, con l'aumento di anidride carbonica nell'aria, dovuto dalla componente antropica ed in particolare dalla rivoluzione industriale, tali scambi hanno portato ad una maggior rimozione di carbonio dall'atmosfera che è stata immagazzinata nel suolo e negli oceani, i così detti pozzi di carbonio naturali. Ogni anno, le specie erbacee, arboree e arbustive, attraverso il processo di fotosintesi, rimuovono circa un quinto del carbonio presente nell'atmosfera, valore maggiore rispetto a quello emesso attraverso la combustione di combustibili fossili, classificandosi come una tra le maggiori fonti di sostentamento per la vita sulla Terra, rallentando il delta di accumulo di CO₂ annuale nell'atmosfera (McPherson et al, 1994).

Una foresta, un oceano o un altro ambiente naturale hanno la capacità di sequestrare il carbonio attraverso sistemi di breve durata, come foglie e hummus, e spostarle in altri di lunga durata, ma con tempi di "turnover" lenti, come sedimenti di biomassa o materia organica presente nel suolo. La capacità di sequestrare il carbonio è definita in base alla capacità di un ecosistema di assorbire CO₂ dall'atmosfera. Un ecosistema può essere un pozzo di carbonio (*carbon sink*) un anno e fonte nel successivo, ma deve essere un *sink* per lunghi periodi di tempo per avere effettive capacità di sequestrare CO₂ dall'atmosfera. Tale quantificazione è detta bilancio netto del carbonio dell'ecosistema (NECB) e rappresenta gli scambi di carbonio tra un ecosistema e il suo ambiente (Robinson, 2007).

La piantumazione e messa a dimora di specie arboree e arbustive nelle aree urbane e periurbane contribuisce a migliorare la qualità dell'aria e il benessere termoisolometrico, riducendo fenomeni di origine antropica come le isole di calore (*Urban Heat Island*) oltre all'assor-

Figura 1 - Uno schema delle molteplici influenze responsabili per sink (a) o pozzo (b) di carbonio, secondo forza e durata. Processi come la fertilizzazione con CO₂, l'estensione della stagione di crescita e il recupero dai disturbi sono stati identificati come cause dell'attuale carbon sink globale, mentre la siccità, la respirazione indotta dal riscaldamento e i disturbi contribuiscono alla riduzione dello stesso.

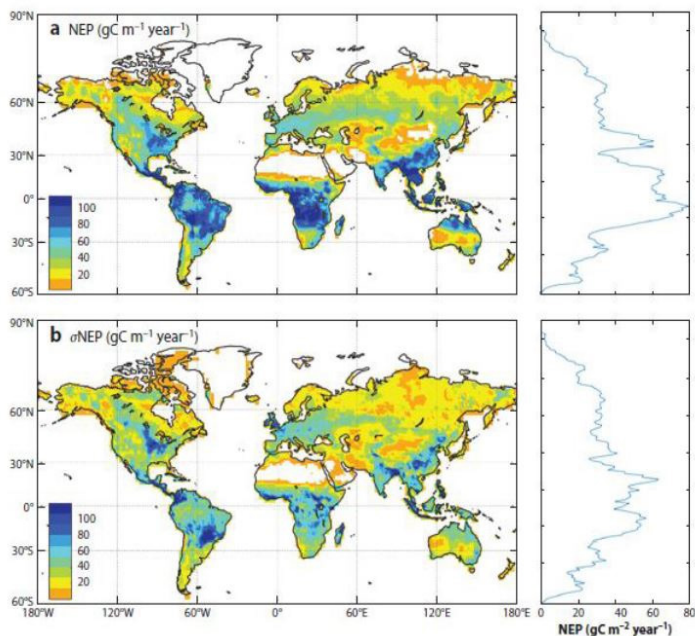
Fonte: (Keenan et al, 2018)



bimento di CO₂, principale *gas* climalterante presente in atmosfera. Interventi di riforestazione urbana inoltre concorrono alla riduzione di malattie respiratorie, stress psicologico quotidiano, una maggiore opportunità di praticare sport, attività ludico-ricreative e di relazioni sociali, nonché di una sensibile riduzione dell'inquinamento acustico. Secondo il *Climate and Health Country Profile Italy, 2018* il potenziale delle Infrastrutture verdi, definite anche *Green Infrastructure*, nell'ambito di una strategia globale basata sulla riduzione dell'inquinamento atmosferico, i cambiamenti climatici e delle isole di calore urbano, è stato dimostrato in molte città europee secondo la stretta correlazione tra Capitale Naturale e Biodiversità.

Figura 2 - La distribuzione globale della produzione annuale netta dell'ecosistema, stimata utilizzando modelli di superficie terrestre dal progetto di intercomparazione del modello TRENDY nel periodo 2000-2010. Il pannello superiore (a) presenta la media dell'insieme multimodello, insieme alla distribuzione per latitudinale. Il pannello inferiore (b) presenta la deviazione standard tra modelli (σ) delle stime NEP, insieme alla distribuzione per latitudinale

Fonte: (Keenan et al, 2018)



L'evoluzione del sistema urbano e periurbano nelle strategie di *urban forestry*

I distretti urbani e periurbani continuano a crescere con un aumento progressivo della popolazione che vi risiede. Fondamentale risulta quindi la riduzione dell'impatto ambientale nelle città con conseguente obiettivo di decarbonizzazione dei principali settori antropici. Progetti di forestazione e riforestazione urbana migliorano il *microcomfort* ambientale, la qualità della vita dei residenti concorrendo all'assorbimento attivo di carbonio dall'atmosfera.

Lo studio e lo sviluppo di aree urbane nelle pratiche di *urban forestry* richiamano la progettazione e connotazione di aree verdi urbane e periurbane, valorizzando e recuperando in *primis* le esistenti. Le soluzioni sono molteplici e variegata in funzione del tipo di uso e della località di impianto, boschi urbani, orti, viali alberati, parchi, tetti e facciate verdi. La presenza di tali elementi si traduce in un miglioramento della qualità urbanistica degli spazi costruiti definendosi come indicatore di sviluppo urbano sostenibile dal punto di vista sociale, ambientale ed economico (McPherson et al, 1994). Alla base di tali progetti vi è la volontà di realizzare e impiegare piani e programmi sistematici e strutturali inserendo le migliori *best practice* della progettazione tecnologica ambientale nel contesto urbano. Il tasso di crescita urbana è spesso seguito da un eccessivo consumo di suolo (*urban sprawl*), riducendo drasticamente la disponibilità di spazi aperti; ad oggi permangono infatti squilibri tra le risorse naturali, ambientali e antropiche, quest'ultime sempre più dominanti (Robinson, 2007).

Interventi di forestazione e riforestazione urbana concorrono, oltre a una riduzione del carbonio presente in atmosfera, a una mitigazione degli effetti delle isole di calore, l'apparato fogliare risulta in grado di degradare sostanze inquinanti derivate dagli scarichi degli autoveicoli nonché a una riduzione dell'inquinamento acustico.

Le masse arboree inoltre regolano il ciclo delle acque, riducono la temperatura a loro limitrofe nei periodi estivi e proteggono dai venti nei periodi invernali, contribuendo a una riduzione dei carichi energetici per raffrescamento e riscaldamento degli edifici. Tali strategie definiscono quindi benefici quantificabili nel medio-lungo periodo: contribuiscono al miglioramento della salute pubblica, favorendo stili di vita sani, incentivano la coesione comunitaria, proteggono l'ecosistema urbano, mitigano i cambiamenti climatici e le emissioni inquinanti urbane, accrescono la biodiversità e il valore ecologico-ambientale delle città. Tali soluzioni ambientali costitui-

scono l'indicatore chiave per il futuro di città e distretti urbani sostenibili alle diverse scale spaziali e temporali, fornendo benefici e servizi per la collettività. Gli spazi aperti urbani, dal punto di vista ecologico, sono definiti "come aree entro cui si può manifestare la natura con vari gradi di libertà, con o senza la presenza antropica" (Lassini et al, 2014).

Ampliando la definizione sopra citata a livello operativo, in Italia la tipologia prevalente e predominante nelle città risulta essere la categoria di spazio verde attrezzato, seguita da spazi aperti di natura storica e le aree boschive. Contenuta risulta ad oggi la diffusione di aree destinate a progetti di riqualificazione attraverso strategie di forestazione urbana. Il patrimonio verde italiano risulta variegato secondo dettami geografici (Nord, Centro, Sud e Isole) che storiche, con piani di gestione e manutenzione del verde maggiormente concentrati al Nord (Lassini et al, 2014).

Gli ultimi decenni sono stati contraddistinti dall'avvento dei Servizi Ambientali o *Ecosystem Services* con la finalità di sensibilizzare l'opinione pubblica alla conservazione della biodiversità incentivando l'impiego di masse arboree autoctone, resilienti e native del luogo, disincentivando le specie alloctone o invasive, principali responsabili, nel tempo, della perdita del Capitale Naturale.

In un contesto di rinnovata attenzione verso l'ambiente e la tutela della biodiversità la Commissione Europea nel 2015 ha pubblicato un documento definito, per gli attori del settore, la *milestone* ambientale, con il preciso scopo di sistematizzare le diverse opportunità di studio e innovazione derivate da processi progettuali che prevedono l'utilizzo della componente naturale come processo di riqualificazione urbana, definendo, per la prima volta, il concetto di *Nature Based Solution* (NBS). Le NBS risultano soluzioni tecniche ambientali, alternative alle tradizionali, le quali impegnano elementi naturali per rispondere a una esigenza prettamente funzionale. L'inclusione nello specifico delle *Green Infrastructure* (GI), nella pianificazione urbana e territoriale, rappresenta a risposta della politica comunitaria europea alla crescente situazione di degrado della maggior parte degli ecosistemi terrestri e marini, con la possibilità di preservare e valorizzare i servizi ecosistemici da essi forniti. Le GI risultano quindi una evoluzione ecosistemica delle NBS al fine di ottenere servizi, potenziando i vantaggi derivanti da interazioni di tipo socio-economiche; quest'ultime sono state riconosciute, nel 2011, come strumento per aumentare la resilienza territoriale ed urbana (Gallo et al, 2016).

Obiettivi

Il presente *Topic* di indagine relativo alle strategie e soluzioni “*green*” presenta come obiettivo generale la redazione di un *database* delle principali specie arboree e arbustive presenti nell’area metropolitana della città di Roma Capitale, con elevate capacità di mitigazione ambientale e di assorbimento dei *gas* climalteranti che possa essere messo a disposizione attraverso consultazioni per Enti locali, cittadini privati ed imprese; tale strumento metodologico risulta strategico al fine di consultare i valori di assorbimento e stoccaggio di CO₂ di ogni singola specie analizzata. Nella redazione di tale *database* è stato introdotto un Indice quali-quantitativo, ciò al fine di sensibilizzare gli attori del settore all’utilizzo di specie arboree autoctone e ad alta capacità di mitigazione ambientale, risultando quindi più sostenibili in termini ambientali, sociali, ed economici.

La strutturazione dell’indice è stata effettuata, primariamente, sulla base di una revisione della letteratura esistente (ActaPlantarum 2007-onward, Dryades 2021-onwards, Pignatti 2017-2020, Bilancio Arboreo di Roma Capitale 2014) volta a conoscere le specie arboree ed arbustive presenti nell’*hinterland* romano e quantificarne il grado di assorbimento di carbonio. Sono state escluse le specie erbacee, data la loro ridotta capacità di assorbimento di CO₂ rispetto le specie arboree e arbustive. Indagini di campo nell’area metropolitana della città di Roma Capitale, in aree sia urbane che periurbane, hanno permesso di arricchire l’elenco rispetto a quello estratto da letteratura. Successivamente, è stato creato un *database* utilizzando il programma *Excel Suite Office 2020* ove, per ciascuna specie vegetale, sono riportate le seguenti informazioni:

- 1) Nome scientifico della specie, ovvero binomio linneano [composto da: epiteto generico, epiteto specifico e patronimico (nome dell’autore che per primo ha scoperto la specie)]. La nomenclatura segue Actaplantarum (2007-onward) e Dryades (2021-onwards);
- 2) Fotografia della specie (da Actaplantarum 2007-onward);
- 3) Numero di individui per specie presenti nell’area metropolitana di Roma Capitale (Bilancio Arboreo di Roma Capitale 2014);
- 4) *Status* di esoticità (Galasso et al. 2018): autoctona (dal greco *autòs* = medesimo e *chthòn* = terra) quando la presenza della specie è spontanea e non dipende dunque dalla presenza dell’uomo, o alloctona (dal greco *àllos* = diverso e *chthòn* = terra) quando la sua presenza è legata, intenzionalmente o accidentalmente, dell’azione, dell’uomo;

5) Per le specie alloctone, l’epoca di introduzione secondo le due categorie attualmente riconosciute (Galasso et al. 2018):

5a) Archeofite: specie introdotte prima del 1492, ossia prima del colonialismo europeo dopo la scoperta dell’America;

5b) Neofite: specie introdotte dopo il 1492;

6) Per le specie alloctone, lo *status* di naturalizzazione secondo Galasso et al. 2018:

6a) Casuali: specie che si sviluppano e riproducono spontaneamente, ma non riescono a formare popolazioni stabili;

6b) Naturalizzate: specie che formano popolamenti stabili indipendenti dall’apporto di nuovi propaguli da parte dell’uomo;

6c) Invasive: un sottogruppo di specie naturalizzate in grado di diffondersi velocemente, a considerevoli distanze dalle fonti di propaguli originarie, e quindi con la potenzialità di diffondersi su vaste aree.

7) Corotipo semplificato, secondo una prima classificazione riportata da *ActaPlantarum* (2007-onward) e qui riclassificata al fine di omogenizzare le macro aree geografiche di provenienza (Tabella 1);

Tabella 1 - A destra della tabella il Corotipo secondo la classificazione riportata da *Actaplantarum*, a sinistra il Corotipo riclassificato.

Corotipo Actaplantarum	Corotipo riclassificato
America del Nord	Aliene
America del Sud	Aliene
Asia	Aliene/Euroasiatiche
Asia occidentale	Euroasiatiche
Asia orientale	Aliene
Australia	Aliene
Europa	Mediterranee
Europa meridionale	Mediterranee
Europeo Asiatico	Euroasiatiche
Europeo Asiatico, Euro-Asiatico, Nordafrica	Euroasiatiche
Europeo Caucasico	Europeo-Caucasiche
Eurosiberiano	Eurosiberiano
Macaronesia	Mediterranee
Mediterraneo	Mediterranee
Naturalizzata	Euroasiatiche/Aliene/Europeo-Caucasiche
Paesi fascia tropicale Africa e Asia	Aliene

8) Forma biologica, secondo la classificazione riportata da *Actaplantarum* (2007-onward). Le categorie sono definite sulla base degli adattamenti per la protezione delle gemme durante la stagione avversa:

- Fanerofite arboree (P scap), piante legnose con portamento arboreo e gemme poste ad altezze dal suolo superiori ai due metri;
- Nano-Fanerofite (NP), piante legnose con gemme perennanti poste tra 20 cm e 2 m dal suolo;
- Fanerofite cespugliose (P caesp), piante legnose con portamento cespuglioso;

- Geofite rizomatose (G rhiz), piante perenni dotate di rizoma, un fusto sotterraneo dal quale, ogni anno, si dipartono radici e fusti aerei;
- 9) Utilizzo, secondo le seguenti tipologie di uso: artigianale, commestibile, cosmetico, forestale, mellifero, officinale, ornamentale, rimboscimento, schermante (Actaplantarum (2007-onward));
- 10) Capacità di assorbimento di CO₂, secondo le analisi di stoccaggio di CO₂ a 20 anni, in tonnellate, di ogni singola specie arborea/arbustiva (Progetto Qualiviva, 2016).

Restituzione grafica e risultati del censimento arboreo ed arbustivo secondo il *database* costituito

Sono state censite 112 specie, delle quali 25 arboree e 87 arbustive (Fig.3). Poco più della metà di esse sono specie alloctone (54%, corrispondenti a 61 specie; Fig.4) delle quali il 75% (46 specie) Neofite e il 25% (15 specie) Archeofite (Fig.5). Complessivamente (Fig. 6), prevalgono le Autoctone col 45% (51 specie), seguite dalle Neofite casuali col 20% (22 specie), dalle Neofite Naturalizzate col 12% (14 specie), dalle Archeofite Naturalizzate col 12% (13 specie), dalle Neofite Invasiva col 9% (10 specie) e dalle Archeofite Casuali col 2% (2 specie). Nel dettaglio delle Neofite (Fig.7) prevalgono le Casuali (48%, 22 individui) seguite dalle Naturalizzate (30%, 14 individui) e Invasive (22%, 10 individui). Le Archeofite (Fig.8) presentano invece una predominanza di naturalizzate (87%, 13 individui) e la restante quota in Casuali (13%, 2 individui).

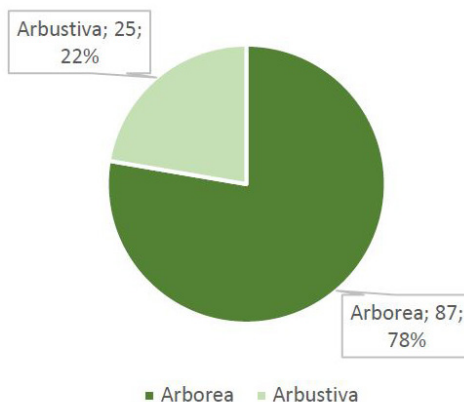


Figura 3 - Censimento delle specie arboree e arbustive nel territorio del Comune di Roma.

Figura 4 - Status esotico delle specie arboree e arbustive censite nel territorio del Comune di Roma.

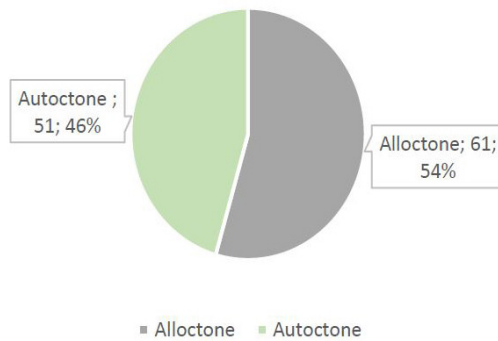


Figura 5 - Censimento, per epoca di introduzione, delle specie arboree e arbustive censite nel territorio del Comune di Roma.

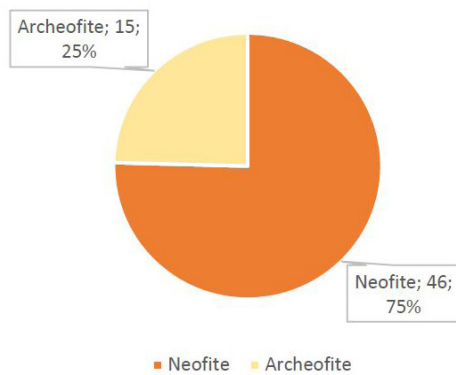
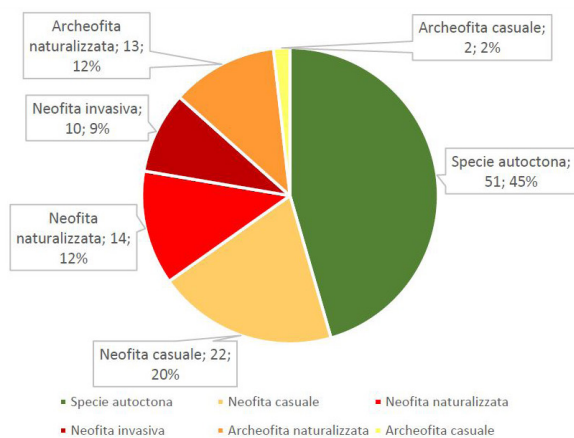


Figura 6 - Status complessivo delle specie arboree e arbustive censite nel territorio del Comune di Roma.



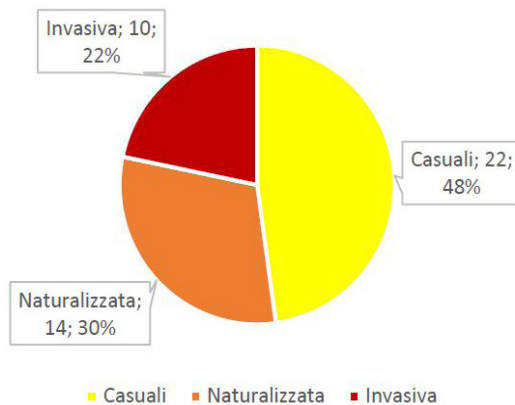


Figura 7 - Dettaglio delle specie Neofite secondo le categorie Casuali, Naturalizzata e Invasiva.

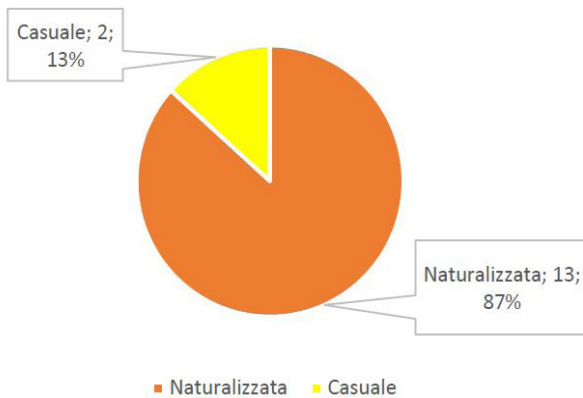


Figura 8 - Dettaglio delle specie Archeofite secondo le categorie Casuale e Naturalizzata.

L'analisi del corotipo semplificato (cosiddetto Spettro Corologico semplificato; (Fig.9) ha evidenziato una percentuale confrontabile per le Aliene pari al 28% (31 specie), le Euroasiatiche pari al 28% (31 specie), le Mediterranee con il 23% (26 specie) e le Europeo-Caucasiche pari al 20% (23 specie), mentre appena l'1% è rappresentato dalle Eurosiberiane (1 specie). Le specie Aliene (Fig.10) sono in prevalenza di origine nord Americana con il 52% (16 specie) e, in minor misura, Asiatica [Asia occidentale (13%, 4 specie) e Asia orientale (13%, 4 specie)], Australiana e Neozelandese (13%, 4 specie), sud Americana (6%, 2 specie) e Africana (3%, 1 specie).

Figura 9 - Spettro Corologico
 semplificato delle specie arboree e
 arbustive censite.

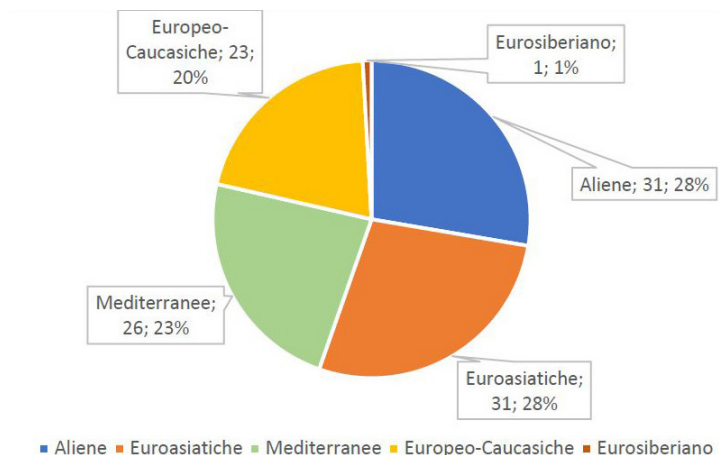
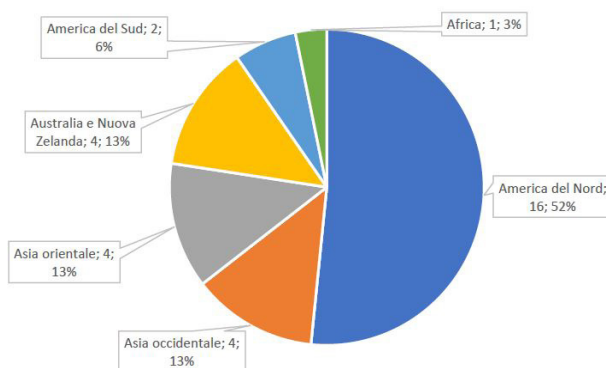


Figura 10 - Spettro Corologico
 semplificato delle specie arboree e
 arbustive censite - Origine geografica
 delle Specie Aliene.



Relativamente alla Forma biologica (Fig.11), la maggior parte delle specie censite risultano essere fanerofite arboree "P scap" pari al 78% (87 specie), seguite dalle fanerofite cespitose "P caesp" con il 19% (22 specie) e una residua quota costituita da Nano-Fanerofite "NP" pari al 2% (2 specie) e Geofite rizomatose "G rhiz" pari all'1% (1 specie).

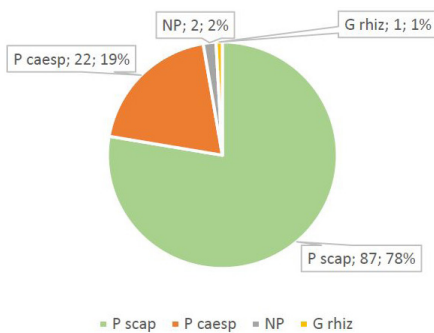


Figura 11 - Forma Biologica delle specie arboree censite.

L'analisi degli Utilizzi delle specie arboree e arbustive (Fig.12) analizzate ha evidenziato, seppur ogni specie con uno o più utilizzi principali, un utilizzo prevalente di tipo Ornamentale (25%), seguito da Officinale (21%), Forestale (20%), Rimboschimento (11%), Artigianale (8%), Commestibile (9%), Schermante (5%) e Mellifero (1%). Complessivamente le specie analizzate presentano una media di 2,7 utilizzi segno di come molte delle stesse vengano utilizzate per molteplici scopi e funzioni.

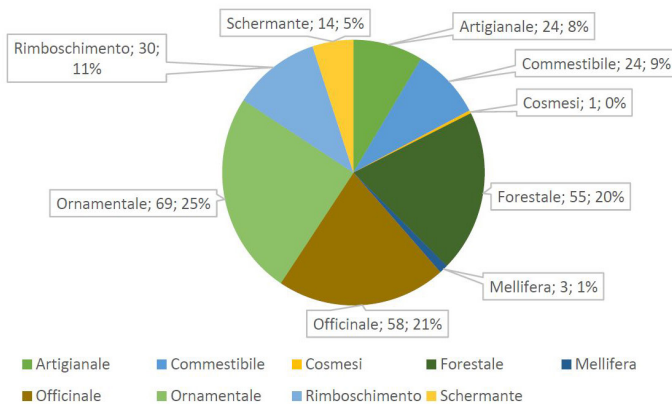


Figura 12 - Utilizzo prevalente delle specie arboree e arbustive censite.

Elaborazione di un indice qualitativo-quantitativo tassonomico di stoccaggio

L'elaborazione dell'*Indice quali-quantitativo tassonomico di stoccaggio* (TS), che sia basato sulla capacità di assorbimento di carbonio dall'atmosfera di una specie e sullo *status* di esoticità, è stato pensato come rapporto matematico, ponendo a numeratore il grado di assorbimento (C) e a denominatore l'esoticità (E):

$$TS = \frac{C}{E}$$

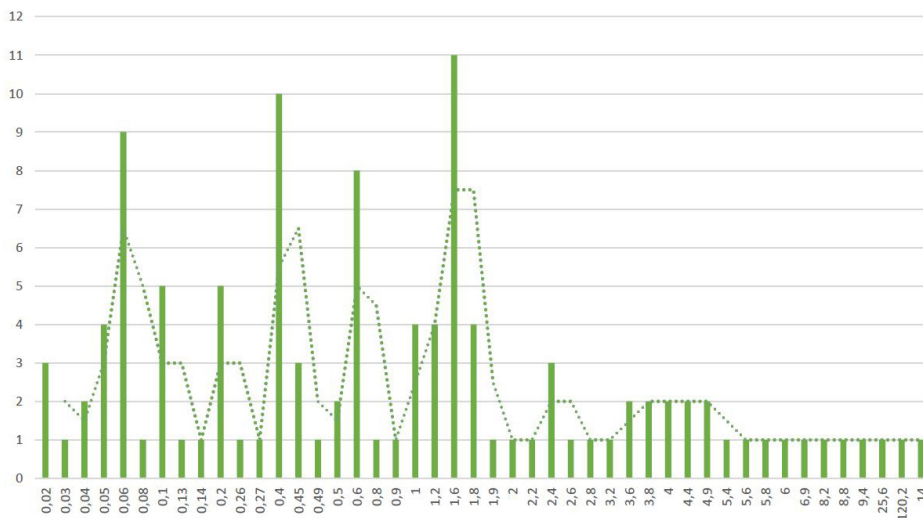
L'indice assume valori compresi tra 0 e 1, ove per valori tendenti allo 0 la scelta della specie non è sostenibile, mentre per valori tendenti ad 1, la scelta è sostenibile. Per come è strutturato (dal punto di vista matematico), l'indice è pensato assumendo la capacità di stoccaggio come accezione positiva (numeratore), essendo direttamente proporzionale nel calcolo dell'Indice (a maggiori valori di stoccaggio si ha un maggiore valore dell'indice), mentre l'esoticità ha un'accezione negativa nel compunto dell'indice, essendo (denominatore) inversamente proporzionale al valore dell'indice (per un maggiore livello di esoticità ne consegue un minor valore dell'indice).

Un secondo indice elaborato è l'*Indice tassonomico di stoccaggio medio* (TSm), quest'ultimo applicabile a un'area di studio definita, utile quindi a confrontare aree e spazi differenti, come, ad esempio, quartieri di una città. Anche tale indice assume valori compresi tra 0 e 1.

Capacità di stoccaggio di CO₂

Figura 13 - Grafico delle frequenze di distribuzione di stoccaggio della CO₂, in tonnellate, a 20 anni, delle specie censite.

Riguardo la capacità di stoccaggio di CO₂ (fornita in tonnellate per a 20 anni; unità di misura: t/anni), è stato realizzato un grafico delle frequenze di distribuzione (come istogramma), con il numero di specie (frequenza) in ordinata e i valori di stoccaggio in ascissa (Fig.13).



La visualizzazione della linea di tendenza polinomiale (di grado 2), ha permesso di individuare 4 picchi principali di frequenza, sulla base dei quali è stata proposta una classificazione dei valori di stoccaggio in 4 categorie: BASSO (range 0,02-0,129 t/20a), MEDIO-BASSO (range 0,130-0,799 t/20a), MEDIOALTO (range 0,800-2,799 t/20a), ALTO (range >2,800 t/20a).

Riguardo l'unità di misura utilizzata per la capacità di stoccaggio (tonnellate), poiché una specie (*Pinus pinea*) ha valori relativamente molto elevati rispetto a tutte le altre specie considerate, abbiamo convertito l'unità (t/20 anni) in Kg/trimestre per una mera necessità matematica di calcolo dell'indice.

Esoticità

La caratterizzazione dell'autoctonia/esoticità, considerando altresì i differenti livelli di autoctonia (vedi sopra), è stata affrontata proponendo la seguente classificazione (discreta, in termini matematici) delle varie voci (Tabella 2).

Tabella 2 - Classificazione, attraverso valori determinati, delle specie autoctone e spontanee, non spontanee ma autoctone laziali, casuali, naturalizzate e invasive censite.

1	Spontanee nel territorio del Comune di Roma Capitale
1,125	Non spontanee nel Comune di Roma Capitale (ma autoctone laziali)
1,25	Casuali
1,375	Naturalizzate
1,5	Invasive

La scelta dei valori non è casuale. È stato dato 1 (come valore basilare della classificazione) a tutte le specie autoctone e spontanee nel territorio del Comune di Roma Capitale. Infatti, poiché dal punto di vista ambientale, la scelta delle specie native è quella maggiormente sostenibile, assegnando il valore 1 abbiamo voluto sottolineare una scelta corretta da questo punto di vista. Matematicamente, infatti, per come è stato strutturato l'indice (esoticità al denominatore), il valore 1 non reca variazioni al risultato (valore dell'indice) individuando così (nel caso di scelta di specie autoctona), il valore di stoccaggio come unico determinante la sostenibilità ambientale. Riguardo le altre tipologie esotiche, considerando che esse sono via via meno sostenibili nella scala proposta (Tabella 2), e riferendoci alla struttura dell'indice come rapporto, sono stati assegnati valori via via crescenti in modo tale che per un maggior livello di esoticità, si avesse un minor valore dell'indice, ad indicare, conseguentemente, una scelta meno appropriata in termini di sostenibilità ambientale.

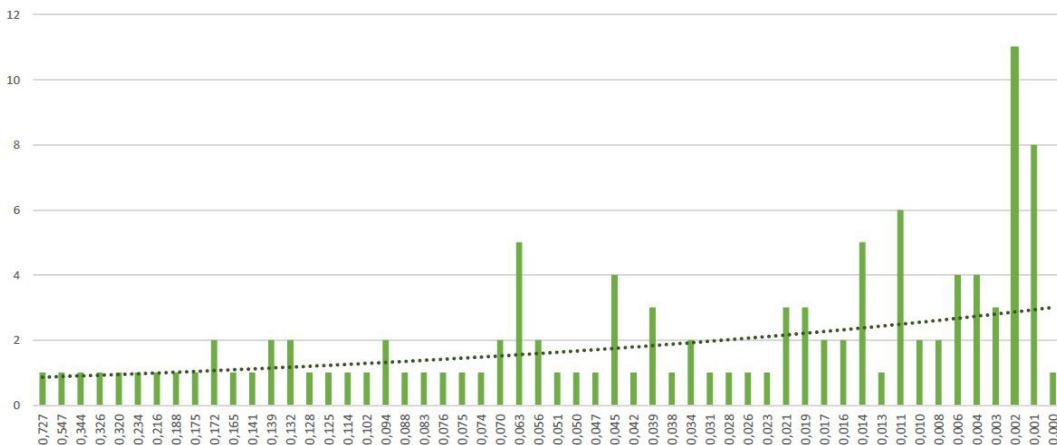
La scelta di utilizzare valori di 0,125 come passaggio da un tipo esotico ad un altro (effettuata dopo varie prove) ha valore meramente matematico, fornendo risultati finali facilmente leggibili ed elaborabili.

Nella definizione dell'indice, il grado di assorbimento di ogni specie analizzata (C) è stato posto a rapporto con la specie a più alta capacità di stoccaggio di carbonio (*Pinus pinea*);

$$C = \text{CKg/trimestre (Pinus pinea)} / \text{CKg/trimestre (specie analizzata)}$$

Successivamente tale valore C è stato posto al numeratore per la determinazione dell'Indice quali-quantitativo tassonomico di stoccaggio (TS). La visualizzazione del grafico delle frequenze (Fig.14) ha permesso di identificare, attraverso una curva esponenziale, il trend qualitativo delle specie censite. Nello specifico il valore di indice più alto è pari a 0,727, riconducibile alla specie *Pinus pinea*, specie Archeofita naturalizzata, non spontanea nel Comune di Roma Capitale, ma con elevata capacità di stoccaggio di carbonio (paria a 320 Kg/trimestre). Complessivamente il grafico mostra un patrimonio arboreo e arbustivo presente nell'area metropolitana di Roma Capitale poco sostenibile in termini ambientali e un indice estremamente basso, (57 specie vegetali censite con un indice inferiore a 0,021). Tale risultato è strettamente legato alla capacità di stoccaggio delle specie arboree e arbustive e al loro grado di esoticità. L'Indice tassonomico di stoccaggio medio (T_{Sm}) delle specie analizzate e censite risulta essere pari a 0,103.

Figura 14 - Grafico delle frequenze dell'indice tassonomico di stoccaggio applicato alle specie censite.



Realizzazione delle schede tematiche arboree e arbustive

Una seconda fase di restituzione grafica dei risultati si è concentrata nello studio di una metodologia al fine di realizzare un *format* di scheda tecnica botanica per catalogare le 112 specie censite al fine di sintetizzare quanto analizzato, descritto e approfondito nel *database* costituito. La scheda proposta si divide in 4 sezioni, ideate e realizzate per descrivere gli aspetti botanici, di utilizzo, di distribuzione geografica con una ultima parte dedicata alla documentazione fotografica della specie analizzata. La prima sezione è composta dal nome della specie arborea o arbustiva analizzata, nello specifico sono presenti in sequenza il nome botanico, il nome vernacolare e la famiglia della specie; a seguire sono state introdotte 5 icone che sintetizzano la forma biologica rilevata, secondo il sistema *Raunkiaer*¹ (come indicato a pag. 252-253 della presente tesi). L'ultima icona sintetizza la presenza o meno della specie nel Portale della Flora di Roma, ove vengono censite le specie arboree autoctone presenti nella Città Metropolitana di Roma Capitale. Tali icone, in funzione della specie arborea o arbustiva analizzata, si “accendono” secondo le caratteristiche della stessa. La sezione prosegue con la parte iniziale di descrizione della specie analizzata, esplicando sinteticamente il portamento della specie, la sua altezza, la tipologia di impianto fogliare, della infiorescenza e della tipologia di frutto prodotto. Successivamente, in sequenza lineare troviamo la forma biologica, il tipo corologico semplificato, i sottopiti e corotipi delle aliene e lo *status* di presenza storica (come indicato a pag. 251-252 della presente tesi).

Nome botanico della specie - Scopritore - Nome italiano - (Famiglia della specie)

DESCRIZIONE

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA SPECIE ARBOREA - ARBUSTIVA

FORMA BIOLOGICA TIPO COROLOGICO STATUS

P scap Europeo Caucasica Autoctona

La seconda sezione presenta una parte dedicata all'*Habitat* della specie; qui sono state sintetizzate le informazioni relative alla distribuzione in Europa e in Italia della specie e la conformazione vegetale che egli stessa presenta con altre specie arboree. Inoltre sono state aggiunte informazioni sintetiche relative alla tipologia di suolo

1. E' un sistema di classificazione per le piante, inventato dal botanico danese Christen Raunkiaer, basato sulla modalità con la quale gli organismi vegetali superano la stagione avversa: il periodo invernale, nel caso delle piante che vivono in un clima temperato, o la stagione secca, sfavorevole alle piante dei climi aridi e caldi.

Figura 15 - Sezione 1 della Scheda Botanica tipo.

Nome botanico della specie - Scopritore - Nome italiano - (Famiglia della specie)

DESCRIZIONE

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA SPECIE ARBOREA - ARBUSTIVA

FORMA BIOLOGICA TIPO COROLOGICO STATUS

P scap Europeo Caucasica Autoctona

HABITAT

DESCRIZIONE

ANTEFI: ●●●●●●●●●●●●●●●●
G F M A M G S A O N D

COLORE FIORE: Verde-Marrone

UTILIZZO

Relazionamento:
Orticaria:
Ornamentale:
Schematica:

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂ ALTO 4,00 t/20a
MIO-ALTO 0,75 t/10a
BASSO 0,50 t/10a

INDICE TABSONOMICO DI STOCCAGGIO TS 0,00

IMMAGINE SPECIE ARBOREA - ARBUSTIVA IMMAGINE FOLIA IMMAGINE INFIORESCENZA IMMAGINE FRUTTO

e di clima cui la specie si adatta nelle migliori condizioni di crescita. Successivamente seguono due dati strettamente legati tra di loro, l'antesi, stato della pianta in cui presenta i fiori completamente aperti e funzionali, e il colore del fiore stesso, sintetizzando graficamente la scala cromatica dello stesso.

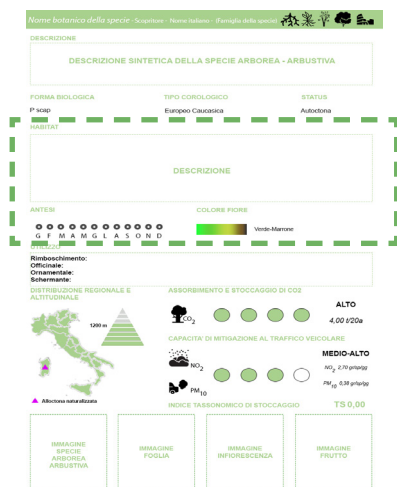


Figura 16 - Sezione 2 della Scheda Botanica tipo.



La terza sezione è composta da una prima parte ove sono descritti, sinteticamente, gli utilizzi della specie; sono stati censiti numerosi utilizzi riscontrati nelle specie censite, quali artigianale, commestibile, cosmesi, forestale, mellifera, officinale, ornamentale, rimboscimento e schermante.

A seguire la sezione si divide in due parti, a sinistra troviamo la distribuzione regionale e altitudinale, ove vengono introdotte informazioni circa la presenza nelle regioni della specie, segnalando, ove previsto, con un triangolo colorato, la denominazione di specie alloctona di differente colore secondo le categorie Neofite casuali, Neofite naturalizzate, Neofite invasive, Archeofite naturalizzate e Archeofite casuali. Presente inoltre il limite altitudinale di presenza della stessa. A destra invece troviamo informazioni circa i valori di assorbimento di CO₂ della specie analizzata, segnalando il dato numerico espresso in ton. /20 anni, e la capacità di mitigazione al traffico veicolare (NO₂ e PM₁₀), segnalando il valore numerico per i due inquinanti in gr./specie/giorno.

Entrambi i valori presentano un parametro di capacità della specie stessa (BASSO, MEDIO-BASSO, MEDIO-ALTO, ALTO). Terminate tali informazioni è presente il valore dell'Indice tassonomico di stoccaggio per la specie analizzata (TS).

Introduzione di un parametro di capacità di mitigazione al traffico veicolare

Tale parametro è stato introdotto al fine di analizzare la capacità di mitigazione al traffico veicolare delle specie arboree e arbustive censite. Ciò si è ritenuto necessario al fine di introdurre un dato complementare ed esaustivo nella redazione delle Schede tematiche vegetazionali per ogni singola specie arborea censita (*Sezione Appendice 1 – Le Schede Botaniche*). Tale parametro inoltre contribuisce a una chiara e completa visione dei parametri ambientali in fase decisoria degli attori preposti nella scelta, in fase di progettazione o riqualificazione degli spazi aperti, di una determinata specie; ciò è stato possibile analizzando, come descritto in precedenza, il Progetto Qualiviva e il DGR 1330/2016. Analizzando il grafico della frequenza di distribuzione per la capacità di mitigazione al traffico veicolare (Fig.17) è stato possibile individuare 4 picchi principali di concentrazione (in grammi/giorno/specie) e per tali si è proposta di associare un parametro (BASSO, MEDIOBASSO, MEDIOALTO, ALTO) al fine di classificare tutte le specie arboree ed arbustive censite.

Capacità di mitigazione al traffico veicolare

BASSO: valore compreso tra 0,01 e 0,039 gr/g/sp

MEDIOBASSO: valore compreso tra 0,040 e 0,989 gr/g/sp

MEDIOALTO: valore compreso tra 0,990 e 3,669 gr/g/sp

ALTO: >3,67 gr/g/sp

Figura 17 - Grafico delle frequenze di distribuzione per la capacità di mitigazione al traffico veicolare, in gr/g/sp, delle specie censite.

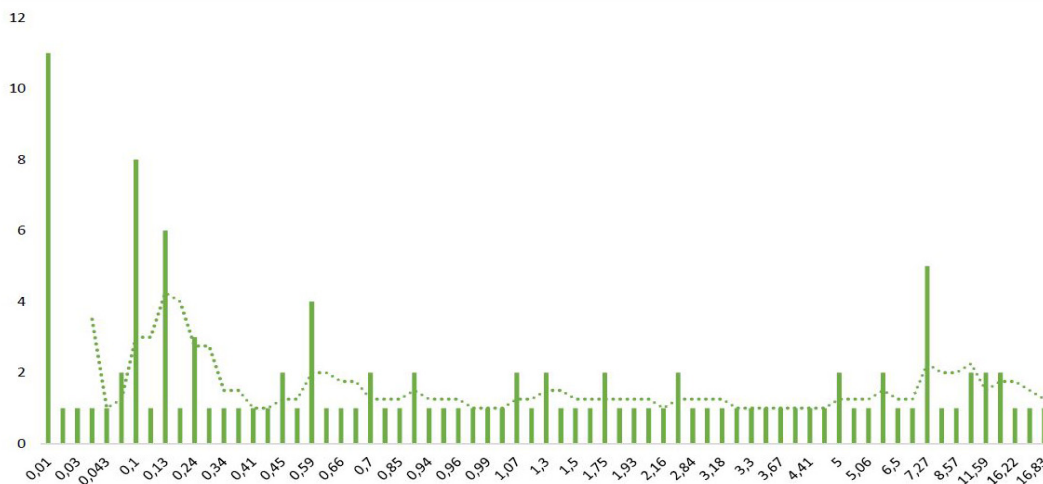




Figura 18 - Sezione 3 e 4 della Scheda Botanica tipo.

La quarta ed ultima sezione sintetizza, mediante una accurata selezione fotografica, le caratteristiche principali riguardo l'aspetto visivo della specie stessa; nello specifico, in sequenza, è presente una immagine complessiva, una di dettaglio sull'apparato fogliare, una sulla infiorescenza e una sul frutto.

Nome botanico della specie - Scopritore - Nome italiano - (Famiglia della specie)



DESCRIZIONE

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA SPECIE ARBOREA - ARBUSTIVA

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

DESCRIZIONE

ANTESI



COLORE FIORE



Verde-Marrone

UTILIZZO

Rimboscimento:
Ufficinale:
Ornamentale:
Schermante:

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



▲ Alloctona naturalizzata

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂



ALTO

4,00 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-ALTO

NO₂ 2,70 gr/sp/gg



PM₁₀ 0,38 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,00

IMMAGINE SPECIE ARBOREA ARBUSTIVA

IMMAGINE FOGLIA

IMMAGINE INFIORESCENZA

IMMAGINE FRUTTO

4.2 Risultati e Conclusioni

Le specie arboree e arbustive censite nel territorio metropolitano di Roma Capitale evidenziano complessivamente un patrimonio arboreo principalmente di tipo alloctono, costituito da Neofite casuali e naturalizzate e da Archeofite Naturalizzate e una capacità di assorbimento di carbonio MEDIO-BASSO. L'utilizzo primario, con prevalenza di specie arboree, spesso coincide con l'utilizzo impiegato in ambito urbano e periurbano quale essere ornamentale, di rimboschimento o forestale. Le specie censite si dimostrano in genere fragili alla resistenza agli organismi nocivi, agli inquinanti atmosferici del traffico urbano, con capacità di assorbimento e stoccaggio di CO₂ spesso ridotto. I cambiamenti climatici hanno innescato nella fascia mediterranea una riduzione della biodiversità, delle specie autoctone, spesso sostituite da specie invasive resistenti ai lunghi periodi di siccità che sempre più caratterizzano tali aree. La nuova strategie forestale dell'Unione Europea (*EU Forest Strategy 2021*) pone le basi per un approccio strategico al fine di scegliere, in ambito urbano e periurbano, specie sostenibili dal punto di vista economico-ambientale. Sebbene non vi siano leggi e normative in ambito europeo per incentivare ed obbligare tali pratiche, le ricerche a livello nazionale, che tengono conto di specifiche condizioni locali di una determinata area analizzata, offrono un importante contributo in tale direzione.

La scelta di preferire specie autoctone del luogo e ad alta capacità di mitigazione ambientale contribuisce al miglioramento della qualità del patrimonio arboreo ed arbustivo, alla riduzione di costi per il reperimento, il trasporto e l'impianto e la possibilità di introdurre agenti patogeni dannosi per le specie presenti in tali aree. Importante a tal proposito, risulta essere il Regolamento UE 1143/2014 recante disposizioni volte a prevenire e gestire l'introduzione e la diffusione delle specie esotiche invasive; entrato in vigore il 1° gennaio 2015 il regolamento presenta una serie di prescrizioni volte a proteggere la biodiversità e i servizi ecosistemici dagli impatti causati dalle specie esotiche invasive, con particolare riferimento a quelle specie inserite nella lista di specie di rilevanza unionale.

Per queste specie il Regolamento UE ha introdotto un generale divieto di commercio, possesso, trasporto e introduzione in natura, e impone un obbligo di immediata segnalazione, di controllo o eradicazione di queste specie.

L'introduzione di un *Indice tassonomico di stoccaggio* permette di quantificare le *performance* ambientali di una specie analizzata secondo le capacità di stoccaggio di carbonio e *status* di esoticità. In particolare per l'area metropolitana di Roma Capitale, le masse arboree ed arbustive censite, seppur facenti parte di una delle città europee con più alta presenza di biodiversità, tali sono risultate poco sostenibili in termini ambientali a causa della natura, per la maggior parte di loro, alloctona. Incentivare la pratica di piantumazione di specie autoctone, sostenibili in termini ambientali e spontanee, determina un incremento dell'*Indice tassonomico di stoccaggio* e quindi un miglioramento della qualità ambientale dell'*hinterland* romano. La realizzazione di schede botaniche tematiche per le 112 specie arboree e arbustive censite, e presenti nella sezione Appendice 1 della presente tesi, permette una chiara e rapida comprensione, in ambito decisionale, ai fini della scelta di specie più sostenibili e idonee per l'area oggetto di riqualificazione.

Partecipare a strategie ed azioni globali nelle quali, attraverso il rimboschimento urbano e periurbano, si sequestra CO₂ e si mitigano i cambiamenti climatici, è altamente motivante ed educativo nonché di indirizzo per il settore pubblico e privato al fine di perseguire le migliori *best practice* in ambito di programmazione, progettazione ed esecuzione di spazi aperti. Tali strategie risultano quindi strumenti che l'ambiente ci offre per mitigare il microclima e l'impatto delle emissioni climalteranti, eccessivamente alto negli aggregati urbani.

4.3 Bibliografia

Galasso, G. *et al.* (2018), *An updated checklist of the vascular flora alien to Italy*, *Plant Biosystems*, vol. 152(3), pp. 556-592.

Gallo P, Casazza C., Sala M. (2016), *Performances and potential of a productive urban green infrastructure*. Firenze University Press. In: *Techne*, vol.11, pp.104-112, Firenze University Press.

Keenan, T.F., Williams, C.A. (2018), *The Terrestrial Carbon Sink*, *Annual Review of Environment and Resources*, vol.43, pp.219-243.

Keenan, T.F., Williams, C.A. (2018), *The Terrestrial Carbon Sink*, *Annual Review of Environment and Resources*, vol.43, pp.219-243.

Lassini P, Sala G., Bertin L. (2014), *Spazi verdi: manuale di progettazione e gestione agro-ambientale*, Edagricole, Bologna.

McPherson, E., Nowak, D., Rowntree, R. (1994), *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, *Northeastern Forest Experiment Station*, General Technical Report NE-186.

Pignatti, S., La_Rosa, M. and Guarino, R. (2017), *Flora d'Italia: in 4 volumi. 2. ed. Edagricole*.

Progetto Qualiviva (2016), *“Piano Regionale della Regione Toscana per la Prevenzione. Linee di indirizzo per la salute e la sostenibilità dell'ambiente costruito” – Allegato II Fattori di assorbimento per specie*.

Robinson D. (2007), *Implications of a large global root biomass for carbon sink estimates and for soil carbon dynamics*. *Proceedings of The Royal Society*, vol.274, pp.2753-2759.

Roma Capitale (2014), *Bilancio Arboreo di Roma Capitale*.

World Health Organization & United Nations. (2018), *Climate change and health country profile: Italy*.

4.4 Sitografia

<https://www.actaplantarum.org/flora/flora.php?m=0>

http://dbiodbs.units.it/carso/chiavi_pub00

ABSTRACT (INGLESE)

This chapter focuses on Key Enabling Technologies (KETs) and specifically on the KET "Innovative Materials" in order to analyze and quantify the benefits and technical performance in urban and peri-urban areas for the removal, conversion and storage of carbon from the atmosphere. Specifically, the chapter presents a first part where they have been deepened innovative materials with advanced structural conglomerate base such as concrete combined with aggregates, glass fibers or carbon, graphene or with technical characteristics of concrete itself able to absorb large amounts of water or absorb and emit at night the accumulated sunlight. For these materials, the main characteristics and the potential use have been enunciated with a strategic view to the use of processes and compounds themselves that, with the new technologies introduced, reduce or eliminate, for their subsequent reuse, carbon emissions. Following this, materials with surface properties and nano-materials with the application of the principle of photocatalysis using titanium dioxide were analyzed. A specific section, which concludes the first part of this chapter, analyzes natural materials, such as mainly wood and wood derivatives, with embodied carbon properties according to a process of circularity of products and their reuse for the production of new experimental materials. The second part of the chapter analyzes the processes, on an industrial scale, of absorption, capture and storage of carbon from the atmosphere in the subsoil according to storage processes such as Carbon Capture and Storage (CCS), Carbon Capture and Utilization (CCU), Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) and Direct Air Capture (DAC) currently active, under construction and planned throughout the globe, according to the most recent reports of the sector. For each of the technologies described, the pilot projects carried out have been highlighted, with in-depth analysis of their costs and absorption capacity according to the industrial use outputs for which they were designed. Analyzed the policies and regulations specific to each continent and energy outputs underway and under development in the coming years, have been described, as an experimental example, scientific projects of public and private research institutions.

CAPITOLO 5 Topic di indagine. Le soluzioni *grey* in ottica multi-scalare urbana per la sottrazione, conversione, stoccaggio di CO₂

ABSTRACT

Il presente capitolo pone l'attenzione alla *Key Enabling Technologies (KETs)* e nello specifico alla *KET* "Materiali Innovativi" al fine di analizzare e quantificare i benefici e le prestazioni tecniche in ambito urbano e periurbano per la sottrazione, conversione e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera. Nello specifico il capitolo presenta una prima parte ove sono stati approfonditi i materiali innovativi strutturali avanzati con conglomerato di base quale essere il calcestruzzo unito con aggregati, fibre di vetro o di carbonio, grafene o con caratteristiche tecniche proprie del calcestruzzo stesso in grado di assorbire grandi quantitativi di acqua o assorbire ed emettere di notte la luce solare accumulata. Per tali materiali ne sono state enunciate le caratteristiche principali e le potenzialità di utilizzo in un'ottica strategica di utilizzo di processi e composti stessi che, con le nuove tecnologie introdotte, riducono o azzerano, per il loro successivo riutilizzo, le emissioni di carbonio. Di seguito sono stati analizzati i materiali a proprietà superficiale e i nano-materiali con l'applicazione del principio della fotocatalisi grazie al biossido di titanio. Una specifica sezione, che conclude la prima parte del presente capitolo, analizza i materiali naturali, quali principalmente il legno e i derivati dallo stesso, con proprietà di *embodied carbon* secondo un processo di circolarità dei prodotti e il riutilizzo degli stessi per la produzione di nuovi materiali sperimentali. La seconda parte del capitolo analizza i processi, a scala industriale, di assorbimento, cattura e stoccaggio nel sottosuolo di carbonio dall'atmosfera secondo i processi di stoccaggio quali essere il *Carbon Capture and Storage (CCS)*, *Carbon Capture and Utilization (CCU)*, Bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio (*BECCS*) e *Direct Air Capture (DAC)* ad oggi attivi, in corso di realizzazione e in programmazione nell'intero globo, secondo i più recenti *report* del settore. Per ogni tecnologia descritta sono stati evidenziati i progetti pilota realizzati approfondendone i costi e le capacità di assorbimento secondo gli *output* di utilizzo industriale cui sono stati progettati. Analizzate le *policy* e le regolamentazioni specifiche per ogni continente e gli *output* energetici in corso e in sviluppo nei prossimi anni, sono stati descritti, a titolo di esempio sperimentale, progetti scientifici di enti di ricerca pubblici e privati.

5.1 I Materiali Avanzati ed Innovativi in grado di assorbire e ridurre CO₂

Il futuro dell'innovazione è perseguibile mediante l'adozione delle *KETs (Key Enabling Technologies)*; nel 2009 l'Unione Europea definisce tali come capaci di migliorare e innovare i processi tecnologici attraverso esperienze di ricerca capaci di rifunzionalizzare il sistema produttivo attuale, in particolare la definizione espressa dalla Commissione Europea le definisce "*ad alta intensità di conoscenza e associate a elevata intensità di ricerca (R&S), a cicli di innovazione rapidi, a consistenti spese di investimento e a posti di lavoro altamente qualificati*" Rendono possibile l'innovazione nei processi, nei beni e nei servizi in tutti i settori economici e hanno quindi rilevanza sistemica (European Commission, 2012).

Integrate nel Programma *Horizon 2020* (strumento finanziario dell'Unione Europea dedicato alla ricerca e alla innovazione) e implementate nelle sue caratteristiche di *performance* nei processi produttivi nel futuro Programma *Horizon Europe 2021-2027*, lo scopo risulta essere quello di perfezionare le attività di ricerca e di innovazione per permettere così il trasferimento di beni e servizi presenti sul mercato.

Secondo analisi di mercato delle tendenze economiche attuali e del contributo che tali possono fornire per risolvere alcune questioni sociali, la Commissione Europea, attraverso il documento "*Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU*" (European Commission, 2009) ha identificato le seguenti *KETs* come di fondamentale interesse per aumentare la competitività dell'UE:

- Biotecnologie;
- Fotonica;
- Materiali avanzati;
- Microelettronica;
- Nanoelettronica;
- Nanotecnologie;
- Sistemi di fabbricazione avanzati.

Il secondo *Topic* di indagine pone attenzione ai Materiali Avanzati allo scopo di analizzare e quantificare i benefici e le relative prestazioni in ottica multi-scalare per la sottrazione, conversione e stoccaggio di CO₂.

I Materiali Avanzati presentano una suddivisione in due sottocategorie; la prima è costituita da materiali già esistenti sul mercato in grado di ridurre i costi di loro produzione, la seconda comprende prodotti e servizi esistenti o nuovi, ma con un valore aggiunto. Suddetti materiali apportano benefici e miglioramenti strutturali nel campo dell'edilizia, dell'aerospaziale, della domotica, dell'automotive e dei servizi per la persona, in particolare per l'assistenza sanitaria. L'utilizzo di tali materiali permette un completo uso e riuso dello stesso secondo la concezione del *Life Cycle Assessment*, sostituendo di fatto prodotti non riciclabili sul mercato, riducendo quindi le emissioni di carbonio per la produzione di nuovi prodotti e per lo smaltimento di quelli a fine vita, nonché una complessiva riduzione del fabbisogno energetico per la produzione degli stessi con una minore richiesta di materie prime, spesso scarsamente reperibili in loco, riducendone quindi la dipendenza.

Il settore industriale ad alto livello tecnologico presenta come costo di produzione più elevato nell'economica complessiva quello riferito alle spese per i materiali; diviene quindi di fondamentale importanza la competitività industriale europea in quanto in *deficit* di risorse naturali, tra cui quelle minerarie, rispetto altri continenti. Il mercato del settore dei materiali avanzati è destinato ad espandersi in funzione delle nuove politiche energetiche e di strategie nazionali ed europee atte alla mitigazione climatica. Con riferimento all'Europa, i materiali innovativi presentano potenziali di sviluppo nel campo energetico (*storage* di energia per impianti fotovoltaici o per le autovetture elettriche/ibride), ambientale (i materiali impiegati nello *smart packaging*, sistema di imballaggi utilizzato nel settore alimentare e farmaceutico al fine di allungare la freschezza, la sicurezza e quindi la vita dei prodotti), dei trasporti (i materiali in grado di massimizzare la loro durata e ridurre al minimo l'usura, in un'ottica di processo totalmente riciclabile)

Materiali avanzati definiti nel campo dell'edilizia derivano da processi tecnologici da altri settori industriali fortemente spinti da politiche di ricerca e innovazione (aeronautico, automobilistico, spaziale, biomedico), ricercando sempre materiali con prestazioni sempre più elevate, condizione imprescindibile per migliorare la *performance* e l'efficienza di prodotti e sistemi.

Generalmente il campo dell'edilizia e delle costruzioni le innovazioni vengono recepite con tempi molto più lunghi rispetto altri settori, sia nella fase di commercio e produzione sia nei progetti architettonici, prima di essere definiti e acquistati con prassi comuni ai

materiali già presenti in commercio da anni. Tale motivo è dovuto alle prassi costruttive, costituite da molteplici analisi e processi di verifica delle prestazioni di esercizio nelle simulazioni di condizione d'uso; ciò sommato a una assenza di normativa specifica e alle difficoltà di commercializzare tali materiali tende inevitabilmente a ritardarne la diffusione. Recenti sviluppi nelle conoscenze del campo chimico hanno radicalmente mutato il rapporto tra uomo e materia potendo manipolare totalmente strutture atomiche molecolari mettendo a punto numerosi materiali più o meno complessi nei quali le strutture chimiche sono progettate per ottenere prestazioni e *performance* di lavoro sempre più ottimali.

Famiglie di nuovi materiali aprono la possibilità di attribuire proprietà sempre diverse che aumentano i contenuti informativi di ogni singolo materiale prodotto a diverse scale dimensionali. Agendo sulla struttura atomica di un materiale è possibile intervenire sulle proprietà generali che distinguono le tre grandi famiglie di prodotti ceramici metallici e polimerici; agendo sulla distribuzione spaziale degli atomi e sui loro legami è possibile modificare lo stato di aggregazione da solido, liquido a gassoso per creare nuovi materiali ceramici o nuove leghe con elevate prestazioni settoriali.

Tra i materiali avanzati in ambito edilizio è possibile individuare due macro famiglie: i materiali a prestazioni fisse, le cui proprietà finali sono selezioni e determinate secondo particolari conformazioni chimico-fisiche di processi di sintesi, e i materiali *smart*, in grado di variare le proprie caratteristiche atomiche quando riescono a passare da una condizione statica a una dinamica, in grado quindi di reagire a una serie di stimoli esterni, modificando una o più proprietà che lo caratterizzano: proprietà meccaniche, ottiche, elettriche, chimiche e termiche in risposta a un impulso esterno.

Tra i materiali a prestazioni fisse si possono distinguere:

- Materiali strutturali avanzati, materiali compositi fibrorinforzati, calcestruzzi ad alte prestazioni, vetri strutturali, *green steel*, schiume metalliche e polimeriche, impiegati in varie tipologie di applicazioni nelle quali viene richiesta come funzione principale le proprietà meccaniche;
- Materiali termostrutturali, fibre ignifughe e *flame retardant*, resine termoresistenti, ceramiche avanzate, trasparenti e *high-performance ceramics*, schiume ceramiche e ceramici leggeri con elevate proprietà termomeccaniche;
- Materiali a proprietà superficiale e di interfaccia, quali rivesti-

menti e *coatings* nanostrutturati antiusura, anticorrosione, termici e fotocatalitici, pitture fotocatalitiche, pavimentazioni fotocatalitiche, vetri autopulenti, selettivi, basso emissivi i quali se impiegati negli involucri di edifici sono in grado di fornire elevate protezioni ambientali quali schermatura ai raggi solari grazie a particolari conformazioni chimico-fisiche.

I materiali smart si dividono principalmente in due categorie:

- Materiali *property changing*, come i materiali foto-termo-elettrocromici, a cambiamento di fase *PCM (Phase Change Materials)* e i materiali a memoria di forma, che modificano alcune proprietà (chimiche, meccaniche, ottiche, elettriche, magnetiche o termiche) in risposta al cambiamento delle condizioni ambientali senza la necessità di un sistema di controllo esterno.
- Materiali *energy exchanging*, quali sensori e attuatori piezoelettrici, materiali foto-elettro-chimico luminescenti e OLED; materiali organici per la conversione fotovoltaica, in grado di trasformare una forma di energia entrante in un'altra uscente secondo il primo principio della termodinamica, impiegati all'interno degli edifici come dispositivi per la produzione di energia e sistemi di controllo.

Tale classificazione sopracitata include materiali la cui applicazione in ambito edilizio è ormai ampiamente consolidata o per i quali la domanda è in forte crescita a seguito dell'abbassamento dei prezzi di vendita (vetri basso-emissivi e selettivi per il risparmio energetico, sensori e dispositivi di controllo nel campo della domotica), seguiti da materiali impiegati attualmente in via sperimentale e parte di loro sempre più in commercio, per i quali si intravedono tuttavia enormi prospettive nel settore delle costruzioni (come i rivestimenti nanostrutturati protettivi o fotocatalitici, materiali fotovoltaici organici o i materiali a memoria di forma).

La presente ricerca di tesi, incentrata sulle strategie e soluzioni *green e grey* volte alla sottrazione, assorbimento e stoccaggio di CO₂ dall'atmosfera, verte sull'approfondimento dei materiali a prestazioni fisse, in particolare dei materiali strutturali avanzati e dei materiali a proprietà superficiali e di interfaccia. Si preme specificare tale analisi, oltre a definire un panorama dettagliato dei materiali innovativi ad oggi disponibili, è tesa a far emergere le caratteristiche e gli utilizzi che tali presentano concorrendo fattivamente alla riduzione di CO₂ nei processi edilizi.

5.1.1 Materiali strutturali avanzati

5.1.1.1 I cementi

I maggiori produttori mondiali di materiali da costruzione stanno portando avanti attività di ricerca finalizzate a sviluppare soluzioni a bassa impronta di carbonio che migliorino le prestazioni in fase d'opera. In un edificio gli elementi strutturali, acciaio e calcestruzzo, sono le componenti principali di tale categoria ed incidono fino all'85% della *carbon footprint* totale dell'edificio. In particolare i produttori di calcestruzzo si impegnano da anni nella riduzione del contenuto di CO₂ nei processi di produzione e lavorazione dello stesso; suddetto prodotto ha un basso coefficiente di carbonio incorporato rispetto ad altri comuni materiali da costruzione, con una media di 200 kgCO_{2eq}/t, determinato dalla componente cementizia, che per sua natura e composizione presenta componente di CO₂ nel processo stesso (circa il 60% del totale) difficilmente riducibile.

I produttori di cemento hanno avviato attività di ricerca per la cattura di questa componente a livello di impianto produttivo, per il suo successivo utilizzo o sequestrazione introducendo sistemi di sottrazione ed assorbimento mediante tecnologie CCSU (*Carbon Capture Storage and Use*). Già oggi, nell'ambito dei diversi *mix-design*, possono essere utilizzati, in particolari per usi non strutturali e non rinforzati, calcestruzzi a ridotta impronta CO₂ contenenti cementi con materiali secondari (loppe di altoforno, ceneri) o nuovi leganti idraulici. L'ottimizzazione delle strutture molecolari, garantendo il rispetto delle norme di sicurezza e durabilità, può consentire la scelta appropriata. Sono oggi disponibili sul mercato calcestruzzi ad alta resistenza (*UHSC - Ultra High Strength Concrete*) e fibrorinforzati, caratterizzanti per l'alta lavorabilità, resistenza meccanica, stabilità volumetrica e ridotti fenomeni di fessurazione, buona permeabilità, alti standard di durabilità anche in condizioni microclimatiche ambientali non ottimali. Di seguito si riportano le sottocategorie dei cementi innovativi analizzati.

5.1.1.2 I Cementi fibro-rinforzati (FRC)

Le molteplici funzionalità e qualità del calcestruzzo sono ormai conosciute e assodate; resistenza alla compressione, adattabilità a forme geometriche imposte e durabilità nel tempo (se rispettate tutte le indicazioni di produzione e posa); di contro questo conglomerato nel tempo è stato oggetto di sperimentazioni volte ad assorbire meglio le tensioni e di rispondere con un maggior grado di resistenza a

flessione e a flessio-trazione, in quanto se non armato con un dovuto dimensionamento, una volta fessuratosi collassa molto velocemente, se invece sottoposto a urti accidentali tende a sbracciarsi.

Le nuove norme tecniche per le costruzioni, NTC 2018, approvate con DM 17 gennaio 2018, al punto 11.2.12, includono il calcestruzzo fibrorinforzato tra i materiali per la realizzazione di elementi strutturali.

Le NTC 2018, prevedono che le fibre siano marcate CE in accordo alle norme europee armonizzate, quali la *UNI EN 14889-1* ed *UNI EN 14889-2* per le fibre realizzate in acciaio o materiale polimerico. Tale conglomerato deve inoltre essere sottoposto a valutazione preliminare secondo le indicazioni riportate nel punto 11.2.3, con determinazione dei valori di resistenza a trazione residua $fR1k$ per lo Stato limite di esercizio e $fR3k$ per lo Stato limite Ultimo determinati secondo *UNI EN 14651:2007*.

Partendo dal composto di base questa tecnologia presenta l'introduzione di fibre polimeriche o di acciaio le quali permettono di aumentare notevolmente la resistenza a flessione del prodotto; tale composto pone l'obiettivo di rendere l'armatura del conglomerato duttile, capace di fessurarsi e di continuare a mantenere una capacità portante di sicurezza.

Alla fine degli anni '40 fecero la loro comparsa negli Stati Uniti le fibre di acciaio; successivamente, negli anni '60, apparirono le fibre di vetro e poi quelle organiche provenienti da trattamenti di sintesi. Recentemente sono state utilizzate nella produzione del calcestruzzo anche fibre di ghisa, di ottone, poliolefiniche, etc.; ad oggi, tuttavia, si preferisce ricorrere principalmente alle fibre di acciaio, di vetro, in polipropilene e in poliacrilonitrile. Le fibre rinforzanti sono così di seguito descritte.

5.1.1.3 Fibre di acciaio

Disponibili in forma di aghi di diversa conformazione geometrica: a sezione circolare o rettangolare, ad estremità piegate, dentate, ecc. con diametro equivalente compreso fra 0.4 e 1.2 mm e lunghezza variabile tra 25 e 80 mm. Esse, a seconda delle prestazioni da conseguire, vengono aggiunte in misura variabile da 25 fino a 150 kg/m³ di calcestruzzo. Le principali applicazioni dei calcestruzzi rinforzati con fibre di acciaio riguardano:

- la realizzazione di pavimentazioni industriali in calcestruzzo dove le fibre vengono convenientemente impiegate in sostituzione della tradizionale armatura in forma di rete elettrosaldata;

- la realizzazione di conci prefabbricati per i rivestimenti definitivi delle gallerie;
- per i rivestimenti sia provvisori che definitivi realizzati con calcestruzzi spruzzati.

5.1.1.4 Fibre di vetro e Fibre di natura organica

Le fibre di vetro e quelle di natura organica (prevalentemente poliaccrilonitrile, poliestere e polipropilene) attualmente impiegate si distinguono in:

- Fibre non metalliche strutturali, di lunghezza variabile tra 20 e 60 mm e diametro equivalente di 0.8-1.3 mm aggiunte in quantità comprese fra 2.5 e 6.0 Kg/m³ per la produzione di conglomerati destinati alle stesse applicazioni di quelli prodotti con le fibre di acciaio;
- Fibre non metalliche non strutturali, di lunghezza variabile da 10 a 30 mm e diametro di 0.01-0.02 mm aggiunte in misura di 0.8-1.2 kg/m³ per la realizzazione di calcestruzzi destinati prevalentemente a solette e pavimenti di piccolo spessore per attenuare il rischio fessurativo derivante dal ritiro plastico del conglomerato.

5.1.1.5 Fibre di vetro in materiale polimerico

In questo caso il calcestruzzo fibro-rinforzato viene definito SNFRC (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*); tali fibre hanno una bassa resistenza al fuoco, ai raggi ultravioletti e all'ossigeno. Si suddividono in:

- basso modulo elastico: non accrescono la resistenza a trazione del materiale però migliorano la tenacità e sono utili a contrastare il fenomeno fessurativo della matrice cementizia. Tra le più utilizzate ci sono le fibre polipropileniche non strutturali, polietileniche, di poliestere e di *nylon*;
- alto modulo elastico: rispetto alle precedenti garantiscono anche un aumento della resistenza a trazione del calcestruzzo. Tra le più utilizzate ci sono le fibre polipropileniche strutturali, le fibre di PVA, in carbonio, acriliche e aramidiche.

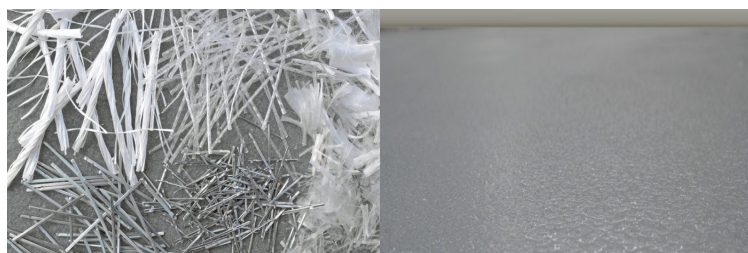


Figura 1 - Fibre di vetro in materiale polimerico e loro applicazione nei conglomerati cementizi.

Fonte: Italcementi

Figura 2 - Le tipologie di fibre adottate nei materiali avanzati ed innovativi.
Fonte: Italcementi



5.1.1.6 Cementi smart

Tipologie nel cui composto sono presenti fibre di carbonio o grafene, in grado di monitorare l'integrità della struttura mediante passaggio di corrente alternata; tali sono oggetto di sperimentazioni e studi scientifici al fine di soddisfare le esigenze del mercato adattando e migliorando le proprietà del prodotto in termini di sicurezza, longevità e funzionalità, riducendo i costi, l'inquinamento ambientale e quindi il *carbon footprint* del prodotto stesso.

5.1.1.7 Cemento con fibre di carbonio (FRP)

Tale conglomerato è possibile ottenerlo sia mescolando le fibre di calcestruzzo che si distribuiscono in modo casuale, sia posando tra gli strati sottili di cemento tappeti a rete in fibra di carbonio¹, sia per iniezione ove le fibre vengono stampate in modo funzionale ottenendo un materiale estremamente resistente a trazione.

Mentre con il calcestruzzo tradizionale per proteggere l'acciaio dalla corrosione è indispensabile aggiungere strati molto spessi di cemento (definito strato di copriferro) con il conseguente consumo ingente di inerti e un'elevata emissione di anidride carbonica nel processo di lavorazione, il carbonio offre il privilegio di non arrugginire il composto da costruzione e di poter essere prodotto utilizzando qualsiasi altro materiale contenente carbonio. Con questo composto si ha un aumento della resistenza fino a cinque volte quella del cemento armato, con durata temporale nettamente superiore.

1. Materiale avente una struttura filiforme, molto sottile, realizzato in carbonio, utilizzato in genere nella realizzazione di una grande varietà di "materiali compositi", così chiamati in quanto sono costituiti da due o più materiali, che in questo caso sono le fibre di carbonio e una cosiddetta matrice, in genere di resina (ma può essere in altro materiale plastico o in metallo) la cui funzione è quella di tenere in "posa" le fibre resistenti (affinché mantengano la corretta orientazione nell'assorbire gli sforzi), di proteggere le fibre ed inoltre di mantenere la forma del manufatto composito.



Figura 3 - Cemento con fibre di carbonio (FRP).

Fonte: Italcementi

La produzione di cemento nel mondo rappresenta una delle maggiori emissioni di carbonio e molti produttori hanno assunto nel tempo, grazie a sperimentazioni e a programmi scientifici finanziati dalle amministrazioni politiche nazionali e mondiali. La maggior parte della CO₂ prodotta durante la produzione di cemento deriva dalla produzione del *clinker*², dalla calcinazione del carbonato di calcio e dalla combustione di combustibili fossili e del consumo di energia per gli altiforni industriali.

Durante la produzione del *clinker* per processo di macinazione, si stima una produzione di CO₂ pari a 862 Kg/ton; ne consegue che ogni sforzo eseguito per la riduzione di *clinker* nel cemento in termini di punto percentuale si traduce in un risparmio di 8-9 Kg/t di CO₂.

Analizzando gli aspetti economici la produzione di un chilogrammo di cemento armato costa circa 1€, mentre un chilo di cemento rinforzato con fibre di carbonio costa circa 20€. Secondo i fattori di emissione di riferimento (*benchmark*) la CO₂ incide sul prezzo finale del cemento con un valore pari a 0,693 tCO₂/t cemento con un extra costo pari a 30€/ton di cemento, raddoppiando i costi variabili; tuttavia tale ampia valutazione di costo è giustificata in quanto il cemento rinforzato con fibre di carbonio consente un risparmio di materiale di circa il 75%, riducendo così anche il costo complessivo della costruzione. Considerando la durata nel tempo, la resistenza e l'assenza di corrosione del materiale, i costi arrivano compensando il delta con la produzione di un calcestruzzo armato tradizionale.

5.1.1.8 Cemento al grafene

In tale combinazione il grafene agisce come supporto meccanico e come superficie catalizzatrice per la reazione di idratazione iniziale, portando a una migliore adesione su scala microscopica e conferendo al prodotto finito maggiore resistenza, durata e resistenza alla corrosione. Il grafene nello specifico è un materiale definito 2D,

2. Componente di base per la produzione del cemento, ottenuto dalla cottura di materie prime naturali (calcarei, marne, argille). Tali materie, dopo l'estrazione, subiscono un processo di macinazione dal quale si ottiene la c.d. "farina cruda"; essa viene portata a cottura all'interno di forni rotanti (a una temperatura di 1400-1500 °C), nei quali avvengono le trasformazioni chimico-fisiche che consentono la produzione del clinker. Dopo la cottura il clinker si presenta sotto forma di granuli di colore scuro e consistenza vetrosa e, una volta raffreddato, subisce un processo di macinazione e miscelazione con gesso e altre sostanze (loppe, ceneri, calcari), da cui si ottengono diverse tipologie di cemento a seconda delle resistenze meccaniche desiderate.

3. Il progetto è stato finanziato da Nationwide Engineering, Innovate UK e dal programma Bridging the Gap del Fondo europeo di sviluppo regionale in joint venture con il Graphene Engineering Innovation Center (GEIC) dell'Università di Manchester e il Dipartimento di ingegneria meccanica, aerospaziale e civile (MACE).

Figura 4 - Applicazione del cemento al grafene durante la sperimentazione scientifica dell'Università di Manchester.
Fonte: Nationwide Engineering, Innovate UK

cioè a due dimensioni; è composto da un singolo strato di atomi di carbonio disposti in una struttura di tipo alveolare. I ricercatori della Università di Manchester³ hanno ideato una tipologia di cemento ibridandolo con il grafene; tale materiale, chiamato *Concretene*, sarebbe un cemento armato efficiente, il 30% più performante rispetto a un calcestruzzo tradizionale riducendo notevolmente le emissioni di CO₂ in quanto può essere prodotto con apparecchiature e strumenti già esistenti sul mercato ma tagliando sulla quota di componente variabile, raggiungendo notevoli risparmi. Una applicazione a livello globale, adeguatamente incentivata e finanziata dalle amministrazioni politiche mondiale potrebbe portare a una riduzione delle emissioni complessive mondiale fino al 2%.



L'azienda Italcementi al *Mobile World Congress 2019* ha presentato per la categoria calcestruzzi intelligenti (*smart concrete*) il prodotto *Graphene Flagship*, un composito cementizio elettricamente conduttivo che apre a nuove applicazioni rivoluzionarie, per il prodotto stesso, nel settore dell'edilizia per molteplici soluzioni quali abitazioni intelligenti e infrastrutture dei trasporti con elevati *standard* di efficienza e durabilità. Incorporando il grafene nel calcestruzzo i ricercatori Italcementi sono riusciti nell'intento di modificare il comportamento isolante dei composti cementizi permettendo il passaggio di corrente elettrica senza alterare le *performance* del prodotto. Questo nuovo conglomerato potrà essere impiegato nel riscaldamento a pavimento o a parete; grazie infatti alla trasformazione dell'energia elettrica in energia termica, un sottilissimo strato di composito cementizio altamente conduttivo, posto al di sotto della pavimentazione o dell'intonaco, sarà in grado di offrire un sistema di riscaldamento poco invasivo ed efficace, accrescendo il *comfort* abitativo e ottimizzando gli spazi.

Quando testato, è stato scoperto che il calcestruzzo arricchito con grafene ha un aumento del 146% della resistenza a compressione rispetto al calcestruzzo normale; un aumento del 79,5% della resistenza alla flessione e una diminuzione della permeabilità all'acqua di quasi il 400%. Il materiale testato soddisfa gli *standard* europei per la costruzione. Il risparmio di CO₂ di tale conglomerato non solo riguarda la produzione dello stesso ma anche i processi di riscaldamento a pavimento o a parete, di possibile applicazione come schermature mature o come protezione antigelo, quantificandolo in una riduzione complessiva pari a 446 Kg/ton.

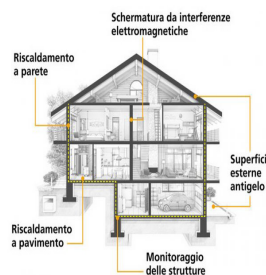
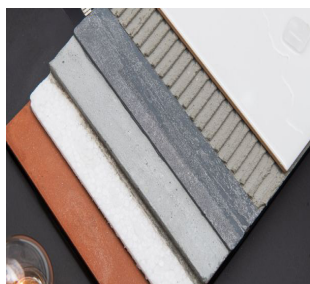


Figura 5 - Stratigrafia del cemento al grafene e possibili applicazioni in un manufatto edilizio.

Fonte: Italcementi

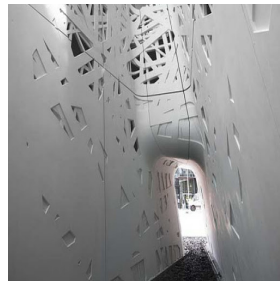
5.1.1.9 Cemento biodinamico

Tale conglomerato cementizio è stato presentato al SAIE 2015 da Italcementi, messo a punto per la realizzazione di Palazzo Italia, padiglione icona di *Expo* 2015, con una prima applicazione sperimentale eseguita dallo studio *Nemesi&Partner*. Il prodotto, nominato tecnicamente *i.active BIODYNAMIC*, è stato realizzato con la tecnologia *Styl-Comp* impiegando un materiale progettato e concepito nello spazio denominato 'chilometro rosso', un edificio che si può visionare lungo l'autostrada A4 dove ha sede la base di ricerca della società Italcementi. Il cemento biodinamico impiega inoltre l'80% di aggregati riciclati, in parte provenienti dagli sfridi di lavorazione del marmo di Carrara; dal punto di vista della materia, si tratta di un prodotto innovativo, che presenta ottime caratteristiche anche per quanto riguarda la lavorazione.

Il cemento biodinamico presenta, infatti, una fluidità tre volte maggiore rispetto alle malte classiche ed è due volte più resistente alla compressione e alla flessione. La fluidità contribuisce notevolmente ad un aumento della durabilità del prodotto, determina una minor presenza di porosità, e quindi un minor assorbimento di acqua e un'elevata resistenza agli agenti atmosferici, garantendo ottime prestazioni di fronte a fenomeni naturali quali gelate e forti precipitazioni. Grazie all'aggiunta di pigmenti inorganici du-

Figura 6 - Applicazione del cemento biodinamico al Padiglione Italia per Expo Milano 2015.
Fonte: Italcementi

rante la miscelazione con acqua, il composto può essere colorato in modi differenti per ottenere soluzioni estetiche diverse.



Impiegare il cemento biodinamico su complessi e distretti urbani significa introdurre un sistema di *self-purification* dell'aria mediante l'eliminazione di *smog* e altri agenti inquinanti presenti nell'aria; tale processo permette di migliorare la qualità della vita dei residenti e dei fruitori e conferire maggior benessere a tutti gli abitanti e allo stesso ambiente naturale. In seguito ad alcuni studi eseguiti medesima azienda produttrice, affermano che ricoprendo il 15% delle superfici delle strutture con del cemento biodinamico si ha una riduzione dello *smog* di almeno il 50%, se con questo cemento innovativo si realizzano pavimenti stradali, si evita che gli agenti inquinanti salgano verso l'alto e che si immettano nel circolo dell'aria.

5.1.1.10 Cementi traslucidi e trasparenti

Tipologie nel cui composto sono presenti fibre rinforzanti di diversa natura le quali permettono una minore densità di impasto. Ciò permette di utilizzare la luce solare come fonte luminosa riducendo i consumi energetici quantificati in circa il 40% dell'energia complessiva impiegata per il fabbisogno degli edifici in Europa. Il cemento traslucido possiede buone proprietà isolanti e quindi può essere impiegato in regioni fredde per trasportare il calore accumulato dal sole all'interno delle abitazioni. La trasmissione della luce è garantita dalla presenza di fibre ottiche inglobate in direzione perpendicolare alle facce illuminanti, quest'ultime possono essere in vetro o in plastica, sono flessibili, lunghe e sottili, e hanno la potenzialità di trasmettere la luce ambo le superfici del composto, garantendo una trasmissione della luce fino a 20 metri; in questo modo è possibile realizzare strutture anche con spessori elevati. Attualmente tale tecnologia viene impiegata per illuminare strutture sotterranee, come le stazioni metropolitane, in futuro però potrebbe essere utilizzato anche per la sicurezza stradale, ad esempio per illuminare le

vie di fuga in caso di emergenza (Mu For & Of, 2013) (Han & Zhang, 2015). Tale tecnologia è stata utilizzata per realizzare il padiglione italiano nell'*Expo* di Shanghai 2010, creando una sequenza di luci e ombre in continua evoluzione nel corso della giornata.



Figura 7 - Applicazione del cemento traslucido al Padiglione Italia di Expo Shanghai 2010.

Fonte: Expo Shanghai 2010

5.1.1.11 Cementi fotoluminescenti

Si tratta di un conglomerato impegnato per la realizzazione di pavimentazioni con effetto architettonico e fotoluminescente, cioè capace di assorbire energia solare e riemetterla come fonte luminosa di notte. La fotoluminescenza è un processo ottenuto attraverso una particolare sequenza termica che consente agli alluminati di aderire al vetro che, in alcuni casi, può essere vetro riciclato.

La fotoluminescenza quindi è una fonte di energia pulita, rinnovabile e contribuisce alla riduzione dei carichi energetici per l'illuminazione di spazi aperti urbani e periurbani, contribuendo a una drastica riduzione della CO₂ in atmosfera. Tali conglomerati sono ideali per la mobilità lenta, come di marciapiedi, sentieri pedonali, piste ciclabili, piazze e parcheggi in zone di scarsa illuminazione.

La componente luminescente può essere fornita in diverse colorazioni, offrendo una vasta possibilità di combinazioni sia cromatiche che di finitura superficiale con durata della luminescenza tra le 6 e le 12 ore. Dal punto di vista applicativo, la quantità di materiale fotoluminescente, visibile sulla superficie della pavimentazione da realizzare, è decisa sostanzialmente in base alle esigenze architettoniche, progettuali e di necessità di restituzione di luminescenza.

Figura 8 - Applicazione del cemento fotoluminescente su percorso pedonale e come segnaletica stradale.
Fonte: Italcementi



4. Federbeton Confindustria
Rapporto di Sostenibilità 2019.

Ricerche in campo sperimentale vertono ora sulla possibilità di impiegare tale materiale per la pavimentazione delle gallerie italiane; il nostro paese, infatti, è tra le nazioni che ospitano il maggior numero di gallerie, il primo Paese europeo per chilometri e il secondo al mondo per numero di tunnel. L'impiego di tale conglomerato per sostituire la pavimentazione di 2.000 gallerie italiane eviterebbe l'emissione in atmosfera di 3,5 milioni di tonnellate di CO₂, nel corso della vita utile dell'infrastruttura, mediamente pari a 20 anni. Ciò significa togliere dalla circolazione 140.000 automobili ogni anno o annullare le emissioni generate in 20 anni da città delle dimensioni di Aosta o Vibo Valentia o ancora a quelle che in 20 anni potrebbe assorbire un'area verde estesa come 6 volte Parco Sempione a Milano o 3 volte Villa Borghese a Roma⁴. Progetti pilota sono stati eseguiti tra l'Umbria e le Marche: 13 viadotti e 13 gallerie che collegano Foligno con Civitanova Marche (Marche); in tutte le gallerie che superano il chilometro è stata fatta una pavimentazione in calcestruzzo per un totale di 40 km e 300 mila metri quadrati.

Figura 9 - Applicazione del cemento fotoluminescente in una galleria del tratto autostradale presso Civitanova Marche.
Fonte: Federbeton



5.1.1.12 Cementi drenanti

I calcestruzzi drenanti, o denominati anche “calcestruzzi senza parti fini” sono caratterizzati da un’elevata macro porosità e sono specialmente indicati per la realizzazione di strutture orizzontali ove si richiede un eccellente drenaggio delle acque piovane al fine di evitare fenomeni di accumulo e di ruscellamento superficiale. Il materiale è caratterizzato da volumi di aria generalmente compresi tra il 20 e il 25%, riuscendo in questo modo a garantire lo smaltimento di volumi di acqua fino a 700 l/(min·m²). Il prodotto risulta strategico per la sicurezza stradale in caso di pioggia, poiché si evitano ristagni di acqua che comportano rischio di *acquaplaning* o, in presenza di basse temperature, la formazione di ghiaccio. Inoltre, grazie al colore chiaro e alla presenza di vuoti, le pavimentazioni realizzate con calcestruzzo drenante riducono l’assorbimento termico (fino a 30°C) rispetto alle pavimentazioni in conglomerato bituminoso tradizionale, migliorando la dissipazione del calore e riducendo le isole di calore; il tutto si traduce in una riduzione complessiva dei costi di manutenzione e maggiore durabilità del prodotto.



Figura 10 - Elemento cementizio con alte specifiche drenanti nella prova di assorbimento di liquidi
Fonte: Italcementi

Il conglomerato realizzato dalla Italcementi, secondo *test* eseguiti presso il Politecnico di Milano, confermano eccellenti capacità drenanti (oltre 100 volte superiore rispetto un terreno tradizionale) e ottime capacità di assorbimento stoccaggio, evitando il fenomeno di percolamento nel sottosuolo, di olii e agenti inquinanti gassosi provenienti dal traffico stradale quali NO_x, SO₂,

5.1.1.13 Cemento *self-healing*

Il calcestruzzo è stato ritenuto un materiale duraturo, ma con il tempo soggetto a fenomeno di degrado e alterazioni se non vengono programmati idonei interventi di manutenzione; per questo motivo la sperimentazione scientifica ha approfondito gli studi nella ricerca di dotare il conglomerato cementizio di un’interna capacità di autori-

parazione di cavillature, fessure e difetti generati durante l'esercizio. Osservando una capacità autogena del calcestruzzo di auto-ripararsi, grazie ai suoi componenti mineralogici ed a una cinetica di idratazione molto prolungata nel tempo, si sono sviluppate negli anni molte metodologie e tecnologie che aiutano e integrano tale capacità del materiale stesso. In particolare alcuni studi si sono concentrati su alcune possibili misure che possano favorire i meccanismi di cicatrizzazione delle fessure nelle strutture in calcestruzzo facendo ricorso all'utilizzo di polimeri e compositi in carbonio provenienti da un riutilizzo della CO₂ precedentemente stoccata con tecnologie CCS (Seon-Yeong, K., et al., 2018), da aggiungere ai tradizionali ingredienti, all'impiego di batteri o ricorrendo a capsule o fibre contenenti un materiale compatibile con la matrice di cemento, ma in grado di sigillare le fessure formatesi durante la fase di maturazione del calcestruzzo stesso. Tra queste soluzioni sono da annoverare l'utilizzo di fibre cave: il metodo consiste nell'inserimento nell'impasto di fibre cave aventi all'interno agenti riparanti di varia natura; a seguito di una possibile fessurazione, le fibre a cavallo della linea di frattura, rompendosi rilasciano l'agente riparante che provvede alla sigillatura della lesione. Il principio è lo stesso nelle tecniche di angioplastica nel quale il capillare arterioso, venendo lesionato rilascia l'agente curativo (piastrine) che provvede alla guarigione della ferita. La soluzione più realistica, però, prevede l'impiego di additivi da aggiungere agli ingredienti del calcestruzzo in fase di getto, senza modificarne le proprietà reologiche e meccaniche, che favoriscono la cristallizzazione dei sali all'interno delle lesioni e quindi il ripristino della monoliticità del materiale (Van Tittelboom & De Belie, 2013).

Figura 11 - Il prodotto PENETRON® prima e dopo l'applicazione in una fessura presente in una prova di manufatto cementizio.
Fonte: Federbeton



Il prodotto *PENETRON*®, secondo gli studi condotti dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale del Politecnico di Milano (Ferrara, 2016), possiede in tal senso ottime capacità di *self-healing*, sino ad un'ampiezza di circa 0,4 mm. In tale prodotto la reazione riparatrice è dovuta ad un'idratazione ritardata dei componenti del cemento presenti lungo le interfacce della fessura, pronti a reagire con l'acqua che penetra nel calcestruzzo attraversando la fessura stessa. I prodotti di questa reazione vanno, dunque, a depositarsi sulle facce della fessura, riducendone l'ampiezza fino al completo ripristino; è bene ricordare che i componenti cementizi preposti al *self-healing* si consumano gradualmente, sino al completo esaurimento.

5.1.2 Materiali a proprietà superficiale - Fotocatalitici

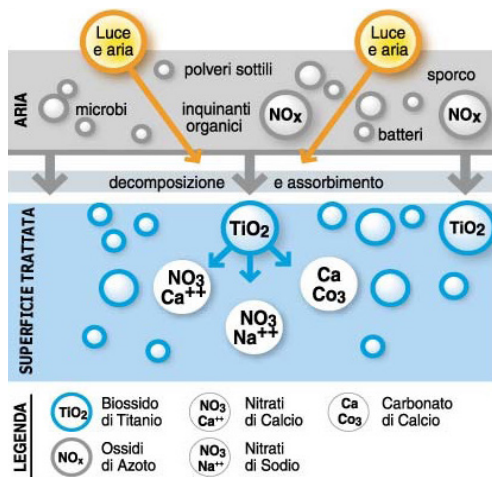
Al giorno d'oggi il calcestruzzo è il secondo materiale più utilizzato al mondo e per questo motivo è di grande importanza realizzare e diffondere un materiale che sia anche eco-compatibile.

5.1.2.1 Il principio della fotocatalisi

La fotocatalisi è un fenomeno naturale in cui una sostanza, il fotocatalizzatore, ad esempio, il TiO₂ (biossido di titanio), accelera la velocità di una reazione chimica attraverso attività come l'azione della luce, naturale o artificiale. Ogni reazione infatti necessita di energia di attivazione per potersi attivare, poiché alcune reazioni sono lente nel divenire, un modo per accelerare questo processo è quello di abbassare l'energia di attivazione sfruttando il catalizzatore, che si combina con i reagenti rendendoli così più facilmente trasformabili (Franzoni et al, 2014). Il prefisso "foto" significa che la sostanza che funge da catalizzatore (o acceleratore) viene attivata tramite la luce, ovvero l'abbassamento dell'energia di attivazione della reazione avviene grazie alla presenza di luce. Grazie all'energia luminosa, i fotocatalizzatori provocano la creazione di reagenti fortemente ossidanti che sono in grado di decomporre le sostanze organiche e parte delle sostanze inorganiche presenti nell'atmosfera favorendo così la più rapida decomposizione degli inquinanti presenti nell'ambiente e evitandone l'accumulo. Quando le particelle inquinanti entrano in contatto con la superficie fotocatalitica, esse vengono trasformate, attraverso il processo, in calcare CaCO₃, nitrati e nitriti di sodio, nitrati e nitriti di calcio, carbonati di sodio Ca(NO₃)₂ e Sali. Nei termini scientifici, il CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche, valutate le caratteristiche di tali residui, ha specificato come i composti che deri-

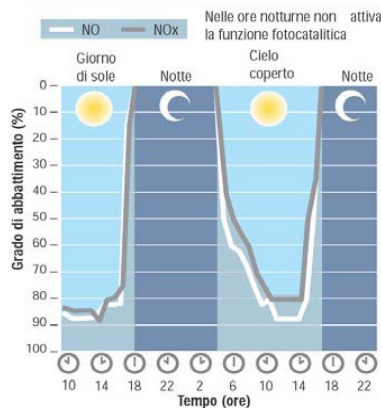
vano dalla trasformazione degli inquinanti sono prodotti in quantità minima (parti per miliardo) invisibili, innocui e facilmente dilavabili dalle piogge. Il risultato è una sensibile riduzione degli inquinanti tossici prodotti dalle automobili, dalle fabbriche, dal riscaldamento domestico e dalle altre fonti di inquinamento *indoor* e *outdoor*.

Figura 12 - Meccanismo di fotocatalisi.
 Fonte: www.globalengineering.info



L'efficacia della reazione fotocatalitica dipende dal contributo dei raggi UV, nella banda di valenza compresa tra i 300 e i 400 nanometri: risulta perciò massima durante le ore di maggior irradiazione solare, minima nelle ore di oscurità, tranne nel caso di adozione di lampade contenenti raggi UV che garantiscono quindi una medesima efficacia della reazione anche in assenza di luce solare, da qui lo sviluppo e l'applicazione in gallerie e tunnel.

Figura 13 - Abbattimento percentuale di NO e NOx nelle ore centrali della giornata e nullo nelle ore notturne, in assenza di apposite lampade UV.
 Fonte: www.globalengineering.info



Sperimentazioni recenti hanno dimostrato come il tema della decarbonizzazione dei distretti urbani e periurbani possano contribuire tecnologie come il processo della fotocatalisi (Yuranova et al, 2007). La fotoreduzione catalitica della CO₂ è un processo sostenibile che permette il controllo delle emissioni e la rimozione in atmosfera della CO₂ in eccesso e la converte in composti chimici solidi come il carbone, liquidi come il metanolo (CH₃OH) (Hung et al, 2007), etanolo (C₂H₅OH) e acido formico (HCOOH) e gassosi come metano (CH₄), monossido di carbonio (CO) e formaldeide (HCHO). Per convertire la CO₂ sono state sviluppate diverse tecnologie sostenibili; la maggior parte utilizzano la radiazione luminosa, la principale risorsa energetica per il pianeta, come fonte primaria di energia per la produzione di combustibili come CH₄, chiamati anche *solar-fuels*. Quest'ultimo processo prende spunto dalla fotosintesi naturale e consente di trasformare la CO₂ in composti organici, per mezzo di un fotocatalizzatore generalmente eterogeneo, ad esempio un semiconduttore come TiO₂, ZrO₂, V₂O₅, ZnO, CeO₂, WO₃, CdS, GaP, SiC (Usubharatana et al, 2006) e un agente riducente come H₂O, H₂ (Tahir et al, 2015), metanolo, etanolo, propanolo e soluzioni di NaOH (Koci et al, 2008).

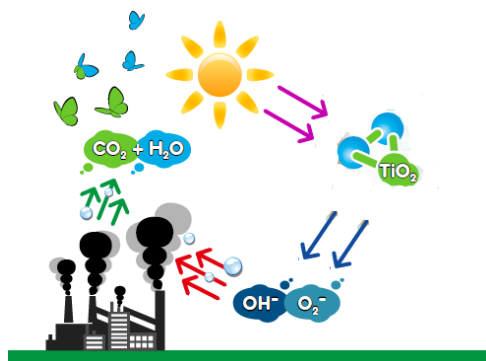


Figura 14 - Riciclo della CO₂ tramite il processo di fotocatalisi.
Fonte: www.globalengineering.info

La fotocatalisi è un processo con molteplici potenzialità: sfrutta l'energia solare, fonte rinnovabile per eccellenza, che oltre alla riduzione di CO₂ per la produzione di prodotti per l'energia, risulta essere una tecnologia adatta per far avvenire la scissione fotocatalitica dell'acqua per produrre ossigeno e idrogeno, il quale potrebbe diventare, la molecola base nel mercato futuro dell'energia. Nella ricerca di tesi, tra i catalizzatori utilizzati nei diversi processi fotocatalitici, quello che risulta essere ideale per la riduzione fotocatalitica di CO₂ è il biossido di titanio (TiO₂); infatti, esso è attivo sia per la trasformazione di anidride carbonica a metano che per la scissione dell'acqua a idrogeno.

5. I raggi ultravioletti hanno una lunghezza d'onda compresa tra 400 nm e 10 nm e tutta la banda dell'ultravioletto viene divisa in quattro sottobande: UVA, UVB, UVC e ultravioletto spinto o da vuoto (VUV). L'UVA, a volte detto anche "luce nera", si estende da 400 a 320 nm, l'UVB si estende da 320 a 280 nm, l'UVC va da 280 a 100 nm. L'ultravioletto da vuoto (VUV) invece è caratterizzato da una lunghezza d'onda compresa tra 100 e 10 nm.

Tabella 1 - Proprietà fisiche e meccaniche della titania.

Fonte: (Kiesgen et al, 2013)

5.1.2.2 Il biossido di titanio

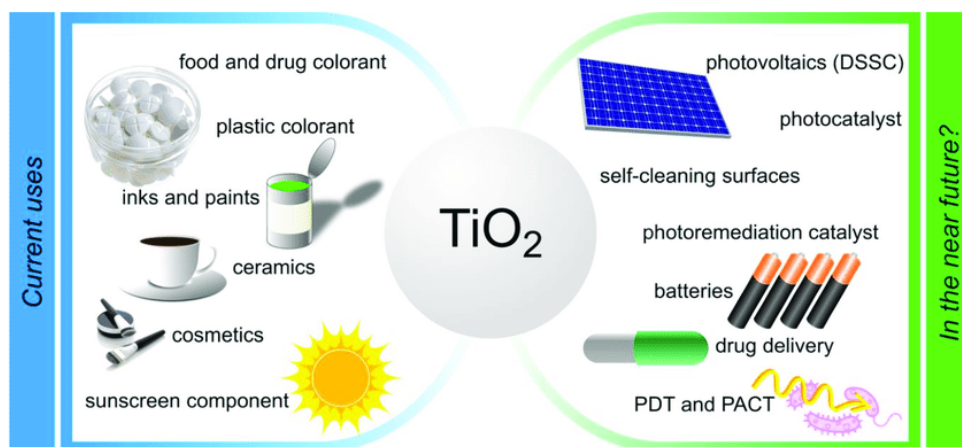
Il biossido di titanio è un semiconduttore dotato di una elevata reattività per cui può essere chimicamente attivato dalla luce solare ultravioletta in banda UV-A⁵ naturalmente presente nella radiazione solare. Il biossido di titanio esiste in tre diverse strutture cristalline (rutilo, anatasio e brookite) e in fase amorfa. La brookite ha una struttura ortorombica, le altre due forme invece hanno una struttura tetragonale contenente tre ottoedri distorti, in particolare la struttura tetragonale del rutilo contiene due molecole di TiO₂ per cella primitiva, il rutilo e l'anatasio sono le forme più diffuse in natura. Comunemente chiamato titania, è un solido inorganico che presenta un'elevata stabilità termica e chimica, non è tossico per la salute umana, è poco costoso, facilmente reperibile, ampiamente disponibile, biocompatibile ed è molto sensibile alla luce UV, viene impiegato in molte applicazioni a causa delle sue proprietà fisiche e chimiche come la sua struttura cristallina, la sua morfologia, la sua struttura atomica superficiale, ma soprattutto per le sue proprietà fotocatalitiche.

Proprietà	Valore e Unità di Misura
Densità	4 gcm ⁻³
Porosità	0%
Modulo di rottura	140 MPa
Resistenza a compressione	680 MPa
Modulo di Poisson	0,27
Tenacità	3.2 MPa m ^{-1/2}
Modulo di taglio	90 Gpa
Modulo di elasticità	230 Gpa
Microdurezza (HV 0,5)	880
Resistività (25° C)	10 ¹² ohm cm
Resistività (700 °C)	2.5 x 10 ⁴ ohm cm
Costante dielettrica (1MHz)	85
Fattore di dissipazione (1MHz)	5 x 10 ⁻⁴
Resistenza dielettrica	4 kVmm ⁻¹
Espansione termica (RT-1000°C)	9 x 10 ⁻⁶
Conduttività termica (25°C)	11.7 WmK ⁻¹

Questa proprietà è dovuta al fatto che tale ossido è un semiconduttore, ovvero un materiale con proprietà di conduzione elettriche intermedie tra quelle tipiche di un metallo (conduttore) ed un isolante (non conduttore).

Il fotocatalizzatore ideale deve avere le seguenti caratteristiche:

- elevato tasso di reattività quando irradiati da energia di *gap* (o superiori);
- foto-stabilità;
- inattività rispetto a sostanze chimiche e biologiche;
- bassi costi e facile reperibilità.

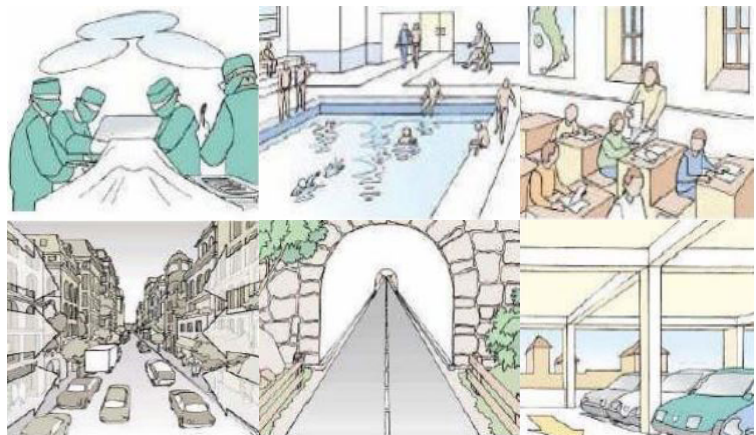


Il biossido di titanio viene utilizzato per molteplici scopi, come materiale per rendere le superfici autopulenti e sterilizzanti, dato che è un battericida (Sunada et al, 1998), nella depurazione delle acque (Kobayakawa et al, 1998) e di aria negli ambienti interni ed esterni. Trova impieghi anche nelle sonde lambda per il rilevamento di ossigeno nelle marmitte catalitiche degli autoveicoli. Viene inoltre usato come pigmento nelle strade, nei segnali stradali, nei riflettori e nelle pareti dei tunnel, in cosmesi viene utilizzato sia come pigmento per creme, *make up* e tatuaggi che come addensante o impiegato nelle creme solari come un agente bloccante, a causa del suo alto indice di rifrazione e della sua forte capacità ad adsorbire raggi UV. Viene utilizzato come elettrodo nelle celle fotovoltaiche (Fujishima et al, 2000), il quale è collegato ad un elettrodo di platino per la decomposizione dell'acqua (idrolisi) senza l'utilizzo di corrente. In questo caso non viene fornita solo energia solare ma anche energia elettrica; questo viene definito processo di fotoelettrocatalisi. Inoltre il TiO_2 viene applicato in materiali da costruzione come cementi o pitture (Càrdenas et al, 2012) ed esercita la sua funzione fotocatalitica per la decomposizione dei composti organici volatili (VOCs), SOx e Nox (Trevisan et al, 2013). Oltre a queste applicazioni, le sue proprietà fotocatalitiche sono importanti in quanto concorrono alla riduzione in atmosfera della CO₂ (Lee et al, 2012). Lo studio del processo che permette l'utilizzo della CO₂ come materia prima per la produzione di combustibili come il metano, utilizzando la fotocatalisi, è stato pubblicato per la prima volta nel 1979 (Inoue et al, 1979); tale studio ha dimostrato che è possibile la conversione fotocatalitica di CO₂ in composti organici, utilizzando dei semicon-

Figura 15 - Attuali e futuri campi di applicazione del biossido di titanio.
Fonte: (Kiesgne et al, 2013)

duttori come catalizzatori. Negli anni sono aumentati il numero di studi in tale settore in quanto è aumentato in modo esponenziale il problema delle emissioni di CO₂ dalle attività antropiche in atmosfera, richiedendo pertanto risposte urgenti ed efficaci.

Figura 16 - Gli utilizzi in vari settori antropici del biossido di titanio.
Fonte: (Kiesgne et al, 2013)



5.1.2.3 Il cemento fotocatalitico

Il calcestruzzo fotocatalitico è definito come materiale ecologico per antonomasia, infatti è in grado di degradare elementi inquinanti, come gli ossidi di azoto (NOx) e i composti organici volatili, dilavati successivamente attraverso l'acqua piovana, ottenendo in questo modo anche un effetto autopulente delle superfici esterne. Per realizzare un calcestruzzo "mangia-smog" è necessario aggiungere dei fotocatalizzatori all'interno del conglomerato cementizio, questi grazie all'energia luminosa provocano la creazione di reagenti fortemente ossidanti che sono in grado di decomporre le sostanze organiche e parte delle sostanze inorganiche presenti nell'atmosfera favorendo così la più rapida decomposizione degli inquinanti presenti nell'ambiente e evitano l'accumulo. Inoltre, gli inquinanti liquidi organici non aderiscono alla struttura ma vengono dilavati dalla pioggia grazie alla proprietà super-idrofilia indotta dalla luce. Esistono diversi fotocatalizzatori come ad esempio il niobato di litio e l'ossido di zinco, ma quello più utilizzato è il biossido di titanio. Dai dati quantitativi ottenuti in una serie di esperimenti, la capacità di depurazione dell'eco-rivestimento in malta cementizia fotocatalitica degli inquinanti atmosferici è valutabile in 30 t/anno per km² di rivestimento. I materiali fotocatalitici contribuiscono a migliorare la qualità dell'aria nei centri urbani e periurbani ed in particolar modo nei luoghi ove risulta difficile la ventilazione naturale come *tunnel* e gallerie (Husken et al, 2009).

5.1.2.4 Pavimentazioni esterne fotocatalitiche

La luce del sole e l'innovazione tecnologica nella produzione di manufatti in cemento possono contribuire a rendere più salubre l'ambiente in cui viviamo e a migliorare la qualità della vita.

Dal 2006, a seguito di numerose sperimentazioni scientifiche, è disponibile sul mercato il cemento fotocatalitico *TX Active*® di Italcementi che risponde ai problemi di inquinamento atmosferico; i risultati delle prove eseguite nei laboratori e sul campo permettono di affermare che i materiali cementizi fotocatalitici, illuminati dal sole (o da una luce ricca di UV), consentono di abbattere molte sostanze nocive presenti nell'aria (come gli ossidi di azoto NOx e di zolfo SOx), responsabili dell'inquinamento atmosferico, inoltre questi manufatti hanno anche il grande pregio di rimanere puliti e quindi di conservare inalterato nel tempo il loro aspetto estetico.

Il principio attivo *TX Active*®, contenuto nel conglomerato cementizio, innesca, in presenza di luce naturale (o di una luce ricca di UV), il processo di "fotocatalisi" che trasforma rapidamente molte sostanze nocive che vengono a contatto con la superficie del prodotto in composti non-nocivi né per l'uomo né per l'ambiente. L'ossidazione delle sostanze nocive in non-nocive avviene anche in natura, ma la fotocatalisi accelera il processo di decomposizione degli inquinanti, evitando il loro accumulo.

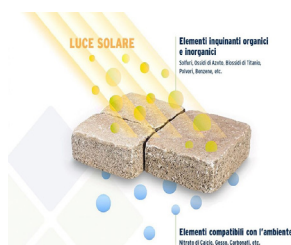


Figura 17 - Esempio di pavimentazione esterna fotocatalitica e funzione del processo di fotocatalisi sulla stessa.
Fonte: <https://www.ferraribk.it/sostenibilita/pavimentazioni-anti-smog>



Figura 18 - Confronto tra pavimentazione in biossido di titanio e tradizionale, capacità di degradazione di un tratto di pennarello su una superficie con biossido di titanio.
Fonte: <https://www.paver.it/sostenibilita/serie-fotocatalitica>

6.1.3 Nanorivestimenti per involucri fotocatalitici

Analogamente alla fotosintesi, dove la clorofilla cattura la luce solare trasformando l'acqua e l'anidride carbonica in ossigeno ed in glucosio, il diossido di titanio fotocatalitico (TiO_2) blocca la luce ultravioletta (UV), formando ossigeno attivato da acqua o ossigeno nell'aria. L'ossigeno attivato è abbastanza forte da ossidare e decomporre i materiali organici o i *gas* maleodoranti e da uccidere batteri, muffa ed alghe. Un'altra proprietà dei rivestimenti fotocatalitici, una volta esposti alla luce UV, è la riduzione dell'angolo di contatto dell'acqua sulla superficie al punto di ottenere eccellente idrofilia. Una varietà di substrati può essere protetta con questo rivestimento applicato a spruzzo, in versione colorata o trasparente, tra cui ceramica, pietra naturale, cemento a getto, acciaio verniciato e superfici in alluminio, policarbonato, vetro e specchi. Applicazioni includono rivestimenti per materiali da costruzione per strade, vetri architettonici, mattonelle in ceramica esterne ed interne, vetri automobilistici e specchietti retrovisori, finestre e specchi per bagni.

5.1.3.1 I vetri fotocatalitici

Definiti anche vetri autopulenti sfruttano le proprietà del biossido di titanio in nano e delle sue particelle con super idrofilicità, grazie all'inclinazione dell'angolo di contatto fra la goccia d'acqua e la superficie minore di 10° , le superfici superidrofiliiche dei vetri autopulenti impediscono la formazione di gocce isolate: l'acqua forma un *film* continuo che tende a scorrere via velocemente. Il vetro autopulente deve essere esposto alla radiazione solare, per l'attivazione del particolare *coating*, e deve essere accessibile alle precipitazioni piovose, presupposti necessari per il suo funzionamento. Inoltre, insinuandosi fra le particelle di sporco e la superficie, l'acqua presenta un ottimo potere di pulizia anche senza contenere tensioattivi. I vetri piani superidrofiliici dei vetri autopulenti aumentano la sicurezza dei vetri non permettendo l'appannamento degli stessi e sono garanzia di igiene anche dove la sua posizione rende molto difficile la pulizia. Il vetro è progettato per ridurre al minimo la necessità di lavaggio, l'eventuale pulizia risulta essere meno frequente e più agevole rispetto ai vetri tradizionali e può essere necessaria dopo lunghi periodi di siccità o quando le finestre sono particolarmente sporche.



Figura 19 - Esempio di un vetro senza (a sinistra) e con applicazione di pellicola fotocatalitica (a destra).
Fonte: <https://www.airlite.com/2021/02/25/airlite-tecnologia-unica-nel-mondo/>

5.1.3.2 Le pitture fotocatalitiche

Le pitture fotocatalitiche, spesso definite “vernici assorbi *smog*” sono in grado di pulire l’aria dagli inquinanti atmosferici. Quando una particella di inquinante (ad esempio biossido di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio, benzene, ammoniaca, formaldeide e particolato atmosferico PM₁₀) entra in contatto con il biossido di titanio, viene decomposta e trasformata in anidride carbonica, azoto e sali. Le vernici fotocatalitiche possono essere utilizzate su pareti interne, per la pulizia *indoor*, ma anche all'esterno, su facciate di manufatti edilizi. In questo modo contribuiscono ad abbassare il livello di inquinamento atmosferico presente nell’aria nei distretti urbani e periurbani, causato dai *gas* di scarico delle auto, dalle fabbriche e dal riscaldamento domestico. Oltre a disgregare le sostanze organiche e inorganiche che si depositano sulle superfici, le vernici fotocatalitiche fungono anche da battericidi e fungicidi, trovando quindi applicazione su piastrelle e rivestimenti di ambienti “sanitari” come le piscine e i luoghi pubblici. Mille metri quadri di superficie in cemento trattati con vernici fotocatalitiche permettono di ridurre la quantità di NOx nell’aria pari a quello di 56 specie arboree sempreverdi adulte.

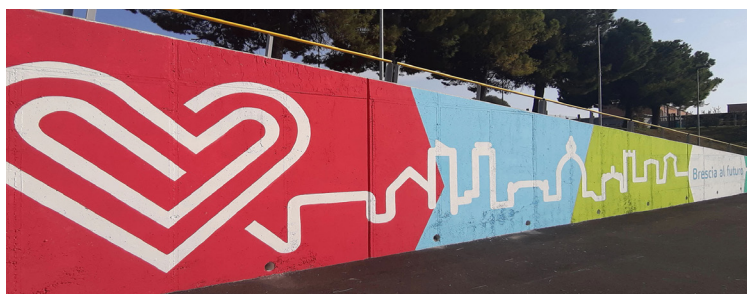


Figura 20 - Brescia, murale con pitture fotocatalitiche per mitigare l’inquinamento veicolare urbano.
Fonte: <https://www.airlite.com/2021/02/25/airlite-tecnologia-unica-nel-mondo/>

5.2 I materiali naturali con proprietà *embodied carbon*

5.2.1 Materiali strutturali in legno

Il legno è infatti composto per circa il 50% da carbonio, 44% ossigeno e 6% di idrogeno. Utilizzare questo materiale nella costruzione di qualsiasi manufatto edilizio, significa realizzare un vero e proprio magazzino di carbonio naturale, che, in caso contrario, sarebbe finito in atmosfera una volta terminata la vita utile dell'albero. Nelle strutture in legno, il carbonio rimane intrappolato per tutto il tempo di vita dell'abitazione e ancor di più se quel legno viene poi riutilizzato o riciclato per la realizzazione di altri prodotti. Se utilizzato correttamente, è in grado di immagazzinare più carbonio di quanto ne viene emesso per le operazioni di raccolta, trasformazione, trasporto e montaggio che lo trasformeranno in una casa. La quantità di anidride stoccata cambia a seconda della tipologia di legno utilizzato; a legni con densità più alta corrisponde uno stoccaggio maggiore.

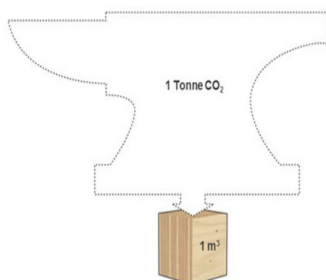
Tabella 2 - Densità al 12% di umidità Kg/m³ delle principali specie arbustive con proprietà embodied carbon.

Fonte: www.metsawood.com

Figura 21 - Generalmente si stima che 1m³ di legno finito e lavorato stocca circa 1 tonnellata di CO₂.

Fonte: www.metsawood.com

Specie	Densità al 12% di umidità Kg/m ³
Abete rosso	460
Douglasia	530
Larice	600
Betulla	660
Castagno	590
Faggio	710
Rovere	680



Un recente studio, condotto da ricercatori dell'Università di Aalto (Aalto University, 2020), dimostra che utilizzare il legno come materiale da costruzione potrebbe ridurre significativamente l'impatto ambientale della costruzione di edifici. Il risultato della ricerca hanno mostrato che se l'80% dei nuovi edifici residenziali in Europa fosse realizzato in legno sia nella la struttura portante, che nei rivestimenti, superfici e arredi, gli edifici immagazzinerebbero 55 milioni di tonnellate di anidride carbonica all'anno. Un dato che equivale a circa il 47% delle emissioni annuali dell'industria del cemento europea.

I ricercatori hanno dimostrato che la soglia di stoccaggio di 55 milioni di tonnellate all'anno potrebbe essere raggiungibile entro il 2024. Nello scenario immaginato, a partire dal 2021 il 10% dei nuovi edifici residenziali mondiali dovrebbe essere realizzato in legno, ciascuno con uno stoccaggio di 100 kg di CO₂. Nella sola Europa vengono costruiti circa 190 milioni di metri quadrati di superficie abitativa ogni anno, con una rapida crescita di quasi l'1% all'anno. Successivamente, la quota di edifici in legno dovrebbe crescere costantemente fino all'80% entro il 2040 (Ali et al, 2020), con uno stoccaggio tra i 200 e i 300 kg di CO₂ al metro quadro. In questo modo quindi la quantità annua di CO₂ catturata sarebbe di 2 Mt per il 2020, 15 Mt per il 2030 e 55 Mt per il 2040, pertanto, la quantità cumulativa per questo periodo di 20 anni sarebbe di 0,42 Gt.

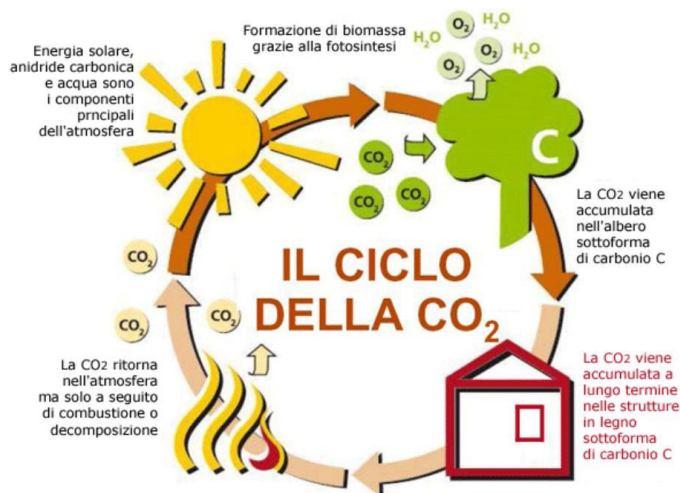


Figura 22 - Ciclo naturale della Co₂
Fonte: <https://www.westwing.it/inspiration/lifestyle/sostenibilita/materiali-isolanti/>

5.2.2 Isolanti naturali

I materiali isolanti non solo garantiscono un alto *comfort* abitativo, essi migliorano l'efficienza energetica dell'abitazione con conseguente riduzione del carico energetico per impianti di raffrescamento e riscaldamento, riducendo quindi sia i consumi economici che ambientali (riduzione di nuova CO₂ in atmosfera).

Tali prodotti sono realizzati con materiali riciclabili e senza l'aggiunta di componenti chimici, riflettendo tutto ciò in minori emissioni di elementi inquinanti legate sia alla loro produzione che al loro smaltimento al termine del loro ciclo di vita in quanto questi, una volta non più utili come isolanti potranno essere riutilizzati in altri impieghi.

Altro aspetto altamente positivo è rappresentato dalle loro eccellenti qualità; oltre ad avere ottime proprietà termiche si denotano anche per la loro resistenza e la loro traspirabilità, resistenza al fuoco, funghi e parassiti. Materiali come il legno e il sughero proprio grazie a quest'ultima qualità permettono di mantenere il livello di umidità nelle abitazioni relativamente basso evitando condense e la creazione di muffe.

I principali materiali isolanti naturali sono i seguenti:

- Fibra di cellulosa: presenta ottime qualità tra cui quella di impedire la formazione del ghiaccio, caratteristica che la rende particolarmente adatta a clima rigidi, inoltre risulta essere un prodotto traspirante, valido antidoto contro l'umidità. Possiede inoltre anche un'ottima capacità di assorbimento dei rumori, aspetto che la rende perfetta per le applicazioni in ambito urbano.
- Lana di pecora: la sua qualità di spicco è quella di essere una fibra climatizzante in quanto eccelle contro il freddo durante gli inverni, ma al tempo stesso assorbe il vapore acqueo evitando la formazione di condense e soprattutto umidità durante l'estate.
- Sughero: il punto di forza del sughero è la sua resistenza in quanto non viene aggredito né da agenti chimici né da agenti naturali esterni, inoltre risulta essere anallergico, atossico nonché un ottimo schermo contro l'inquinamento acustico.
- Fibre di cocco: la fibra di cocco tra i materiali isolanti spicca per le sue ottime proprietà di assorbimento acustico, proprio per tale motivo è frequentemente inserita nelle pareti divisorie interne delle abitazioni.
- Fibre di canapa: utilizzare la fibra di canapa in sostituzione dei minerali comunemente impiegati in edilizia, per realizzare edifici più sostenibili ed efficienti, che riducano i consumi degli impianti di climatizzazione, in particolare nelle aree mediterranee a clima caldo temperato.

5.2.3 Biomattone

Biomattone® è la soluzione alle esigenze della Neoedilizia e dell'edilizia tradizionale, offrendo un elevato risparmio energetico, unito alla sostenibilità dei materiali e del prodotto. Pur non avendo caratteristiche strutturali, combinato con una struttura portante a telaio, è efficace nella realizzazione di muratura perimetrale, in cui assolve sia la funzione di tamponamento che di isolamento. Il sistema di imballaggio e trasporto, la movimentazione e lo stoccaggio in cantiere, il taglio, la posa in opera, le scanalature per gli impianti, architravi

e falsitelai, come anche gli ancoraggi, sono del tutto simili a quelli normalmente utilizzati in edilizia con altri manufatti.



Figura 23 - Biomattone®
Fonte: <https://www.equilibrium-bioedilizia.it/it/prodotto/biomattone>

Il blocco, prodotto da *Equilibrium*, è un isolante massiccio con alta capacità isolante, bassa energia incorporata e capacità di assorbire CO₂ dall'atmosfera: è il primo materiale edilizio a impronta di carbonio negativa. La produzione del *Biomattone*®, viene effettuata con un procedimento a freddo specifico, riducendo significativamente il consumo di energia. Le abitazioni costruite o ristrutturate con tale materiale hanno sequestrato oltre 43,2 tonnellate di anidride carbonica nel loro involucro; l'azienda ha infatti utilizzato oltre 1.000 metri cubi di canapa, una specie arborea di rapida crescita, pari a 150.000 metri quadri coltivati, per il rifacimento degli involucri. Un metro cubo di *Biomattone*® sequestra complessivamente 18 kg di CO₂.

5.2.4 *Natural beton*

Natural Beton® di canapa e calce è un materiale isolante massiccio composto da un legante di calce idrata dolomitica e legno di canapa che combina proprietà di isolamento e massa termica. È il risultato di un lungo processo di innovazione e continua sperimentazione sui cantieri bioedili di *Equilibrium* e si ottiene combinando il truciolo vegetale di canapa derivato dalla lavorazione dello stelo della pianta (*CNB - Canabium*®) con un legante a base di calce idrata dolomitica (*LDN - Legante Dolomitico Naturale*®). Una volta indurito, *Natural Beton*® di canapa e calce diventa un materiale altamente isolante,

rigido e leggero con ampie possibilità di applicazione sia nella nuova costruzione che nella ristrutturazione: è possibile variare le modalità di miscelazione e le proporzioni dei materiali in base alla necessità che si intende soddisfare. Un metro cubo di *Natural Beton* sequestra complessivamente oltre 60 Kg di CO₂.

CNB - Canabium®, il truciolo vegetale di canapa, assolve la funzione di aggregato in sostituzione di ghiaia, pietrisco e sabbia. Grazie alle sue caratteristiche uniche, quali l'alto contenuto di silice e la presenza di milioni di micropori dalle dimensioni nanometriche, il truciolo vegetale di canapa gode di numerose proprietà tra cui spiccano l'elevato isolamento termico e una perfetta veicolazione del vapore acqueo.

LDN Legante Dolomitico Naturale®, il legante a base di calce idrata dolomitica, stabilizza la componente vegetale: la mineralizza proteggendola dalla possibilità di decomporsi, di incendiarsi o di essere aggredita da insetti o roditori.

Figura 24 - *Natural Beton*®

Fonte: <https://www.equilibrium-bioedilizia.it/it/prodotto/biomattone>



Natural Beton® è presente inoltre nel Catalogo Prodotti Proitaca, il software per il Protocollo ITACA, con la Scheda Tecnica Proitaca *Natural Beton*® 200 di Canapa e Calce, che consente di stimare la quantità di prodotto necessaria al proprio progetto. La scheda consente, inoltre, di calcolare le componenti di materiale rinnovabile e riciclabile da indicare nei Criteri del Protocollo ITACA per il calcolo della Valutazione della Sostenibilità Ambientale per gli edifici sottoposti a valutazione nazionale o regionale.

La ricerca e la strutturazione dei paragrafi descritti hanno posto le basi per la costituzione di 20 schede tematiche relative ai materiali avanzati ed innovativi più importanti ed esemplificativi nel campo del settore edile e delle costruzioni secondo il *Topic* di indagine descritto. Nello specifico tali schede prodotte e allegate nella Sezione "Appendice 2 - Le schede dei Materiali Innovativi" rappresentano i blocchi edilizi, gli isolamenti termici, i nano rivestimenti, e le pitture fotocatalitiche con capacità attive o passive di assorbimento e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera.

5.3 Il recupero dei materiali da costruzione e demolizione per la riduzione di nuove emissioni di CO₂ in Europa

I rifiuti da costruzione e demolizione rappresentano uno dei maggiori flussi di rifiuti in tutta Europa, rappresentando un tassello importante nell'economia circolare, per questo, l'UE prevede alti tassi di riciclo di questa tipologia di rifiuti, con attualmente obiettivi non raggiunti. Le percentuali di rifiuti edili riciclati variano da paese a paese, dal 54% al 100%, ma i dati non costituiscono al momento una base solida in quanto sono raccolti ed elaborati in modo differente nei diversi paesi europei.

Il *report* recentemente prodotto dall'Agenzia Europea per l'Ambiente, *Construction and Demolition Waste*, mette in evidenza come non sia importante solo il quantitativo di rifiuti edili riciclati o riusati ma la "qualità del riciclaggio", in quanto oggi, questi materiali, una volta riciclati, perdono parte del loro valore, tanto che si parla di *downcycling* (recupero di basso grado) (Enkvist et al, 2018).

Al momento, infatti, il recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione si basa prevalentemente su operazioni di riempimento, ovvero si usano i rifiuti da macerie per riempire scavi nei cantieri oppure il cemento o le pietre riciclate e frantumate (aggregati) per la realizzazione di fondi stradali. Secondo i dati *Eurostat* (*Eurostat, 2019a*), nel 2016 l'UE ha generato circa 374 milioni di tonnellate di rifiuti da costruzione e demolizione di cui 57,4 milioni di tonnellate in Italia, tale quantità è calcolata attraverso la somma delle categorie Rifiuti, Rifiuti ferrosi, Rifiuti di metalli non ferrosi, Rifiuti misti di metalli ferrosi e non ferrosi, Rifiuti di vetro, Rifiuti di Plastica e Rifiuti di Legno.



Figura 25 - Produzione complessiva dei rifiuti generati da costruzione e demolizione, nel settore edilizio, nei paesi dell'UE, nel periodo 2010-2016, in milioni di ton.
Fonte: (Eurostat, 2019a)

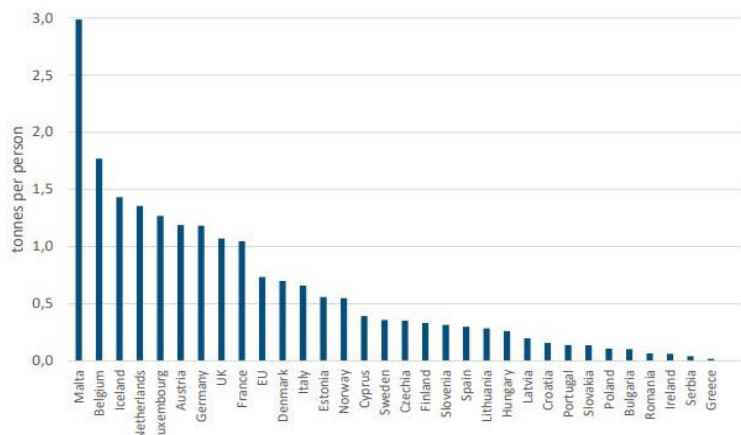
La normativa europea nell'affrontare il tema dei rifiuti edili, pone alcuni principi, quali:

- la prevenzione, con obiettivo di ridurre la mole di rifiuti prodotti;
- la riduzione e l'eliminazione, di tutte le sostanze tossiche presenti nei materiali da costruzione;
- l'alta percentuale di riciclaggio, non solo quantitativa ma anche qualitativa;

L'abbattimento delle emissioni ad effetto serra prodotte dalla gestione dei rifiuti edili.

Il tema della circolarità delle risorse è sempre più di attualità alla luce di un obiettivo mondiale di ridurre le emissioni di CO₂ in ogni settore proveniente da componente antropica, soprattutto nel settore edile, responsabile per oltre 2/3 delle emissioni globali; strategico quindi risulta essere quello di ampliare ed estendere agli attori di tale settore il concetto di demolizione selettiva. In tale direzione la Direttiva 2018/851/UE modifica alcune definizioni e concetti contenuti nella precedente direttiva 2008/98/CE, anche con riferimento ai rifiuti da costruzione e demolizione; questa stabilisce che gli Stati membri adottino misure intese a promuovere la demolizione selettiva al fine di consentire la rimozione e il trattamento sicuro delle sostanze pericolose e facilitare il riutilizzo e il riciclaggio di alta qualità tramite la rimozione selettiva dei materiali, nonché garantire l'istituzione di sistemi di cernita dei rifiuti da costruzione e demolizione almeno per legno frazioni minerali (cemento, mattoni, piastrelle e ceramica, pietre), metalli, vetro, plastica e gesso.

Figura 26 - Produzione di rifiuti da costruzione e demolizione nel settore edilizio nei paesi dell'UE in ton per persona.
Fonte: (Eurostat, 2019a)



In Italia il recepimento di tale Direttiva europea è stato assolto mediante l'approvazione del *D.lgs. 116/2020*; quest'ultimo si concentra in gran parte sulla riforma sostanziale del sistema di Responsabilità estesa del produttore (di un bene), individuandone specificatamente responsabilità, compiti e ruoli, incentivando soprattutto la progettazione di prodotti volta a ridurre la produzione di rifiuti e l'impatto ambientale. Tali misure incoraggiano lo sviluppo, la produzione e la commercializzazione di prodotti e componenti dei prodotti adatti all'uso multiplo, contenenti materiali riciclati, tecnicamente durevoli e facilmente riparabili e che, dopo essere diventati rifiuti, sono adatti a essere preparati per il riutilizzo e riciclati per favorire la corretta attuazione della gerarchia dei rifiuti. Le misure tengono conto dell'impatto dell'intero ciclo di vita dei prodotti, della gerarchia dei rifiuti e, se del caso, della potenzialità di riciclaggio multiplo.

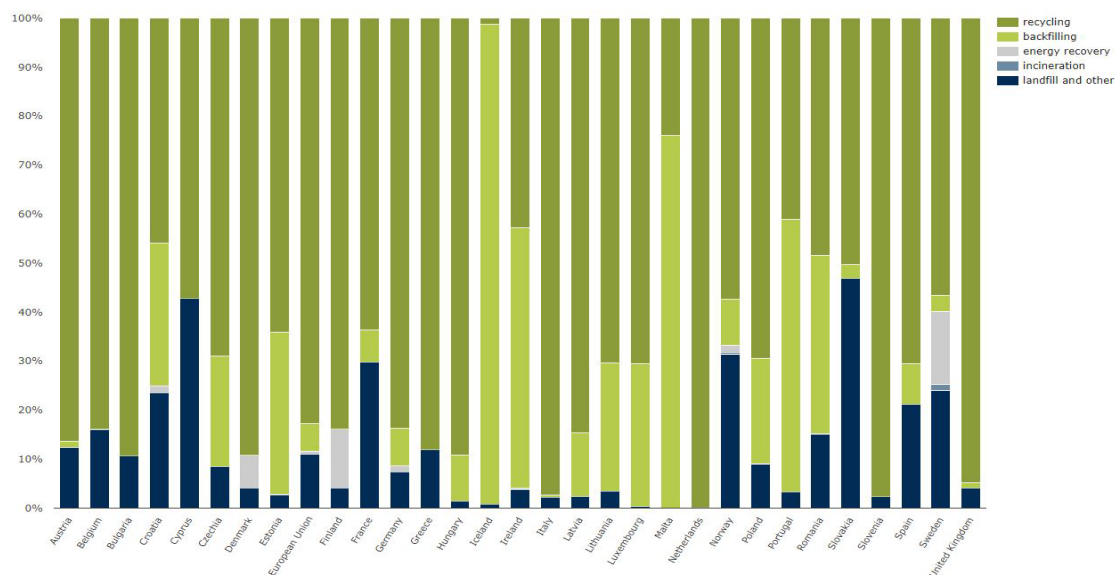
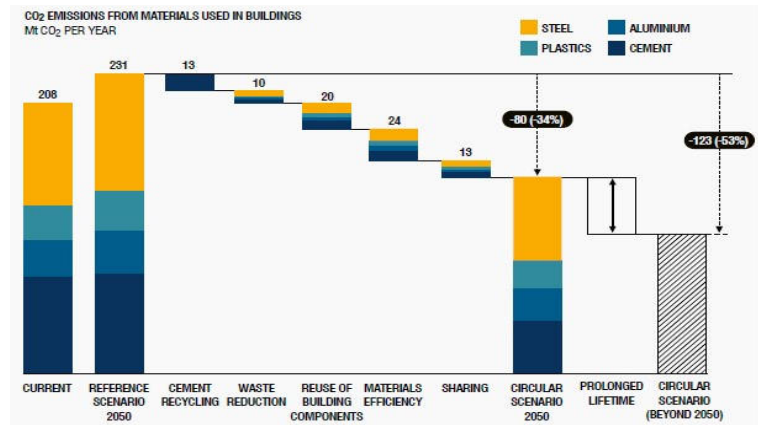


Figura 27 - Percentuale di recupero da costruzione e demolizione di elementi minerali nei paesi membri dell'UE.

Fonte: (Eurostat, 2019a)

Gli impatti ambientali prodotti dal settore delle costruzioni non si limitano alla gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione ma riguardano anche le emissioni in atmosfera; la sfida climatica, nel settore edilizio, è collegata principalmente al consumo energetico e le soluzioni prospettate prevedono il passaggio alle energie rinnovabili per le fasi di estrazione e produzione e l'attuazione di misure di efficienza energetica dei siti produttivi.

Figura 28 - Uno scenario circolare riduce le emissioni di carbonio da materiali da costruzione del 53%.
Fonte: (Enkvist & Klevnäs, 2018)



La costruzione e la manutenzione degli edifici comporta il consumo di quasi la metà di tutti i materiali che entrano nell'economia globale e genera circa il 20% di tutte le emissioni di *gas serra* (Circle Economy, 2019), le emissioni di CO₂ prodotte dai materiali da costruzione costituiscono il 40-50% dell'impronta di carbonio totale di un edificio tipo (RICS Research, 2010), principalmente a causa della produzione del cemento (Olivier et al, 2016) e dell'acciaio necessari per edificarlo. Si stima che, entro il 2050, i materiali utilizzati in edilizia produrranno emissioni pari a 250 milioni di tonnellate di CO₂ (Enkvist et al, 2018) in uno scenario di riferimento in cui saranno realizzati secondo i processi produttivi odierni. L'Agenzia europea per l'ambiente (EEA), in un recente *briefing* del 2020 (EEA, 2020) ha verificato quali azioni specifiche possano migliorare la circolarità del settore dell'edilizia con una maggiore efficacia nella riduzione delle emissioni di CO₂; diminuire l'uso di calcestruzzo, cemento e acciaio può ad esempio ridurre fino al 61% le emissioni di *gas a effetto serra* legate ai materiali da costruzione emesse durante il ciclo di vita di un edificio. La valutazione dell'Agenzia europea presenta di fatto un nuovo approccio metodologico, al fine di aiutare ad identificare e dare priorità a quelle azioni di economia circolare che possono contribuire maggiormente a ridurre le emissioni in qualsiasi settore.

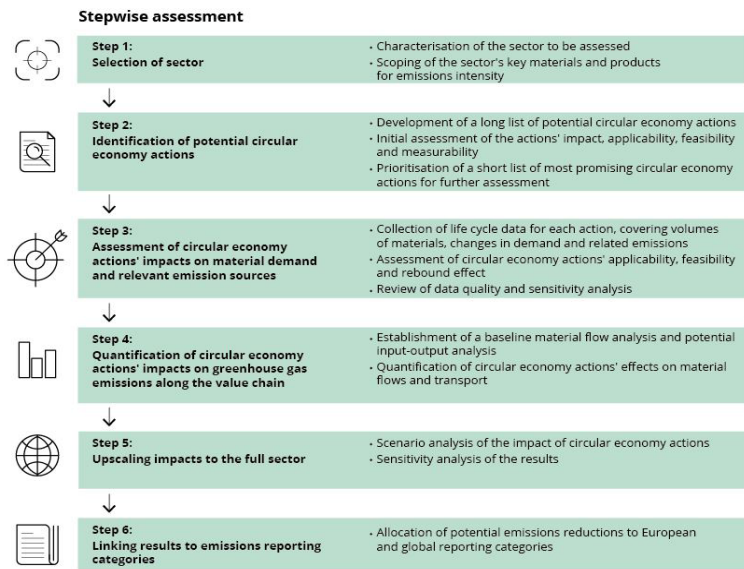


Figura 29 - Metodologia per valutare il potenziale delle azioni di economia circolare per aiutare a ridurre le emissioni in un dato settore.

Fonte: (Ramboll et al, 2020)

Lo studio infine ha definito che ciascuna delle fasi del ciclo di vita di un edificio – dalla progettazione, alla produzione, all'utilizzo, alla demolizione e alla gestione dei rifiuti può offrire opportunità per una maggiore circolarità e riduzioni delle emissioni (Ramboll et al, 2020).

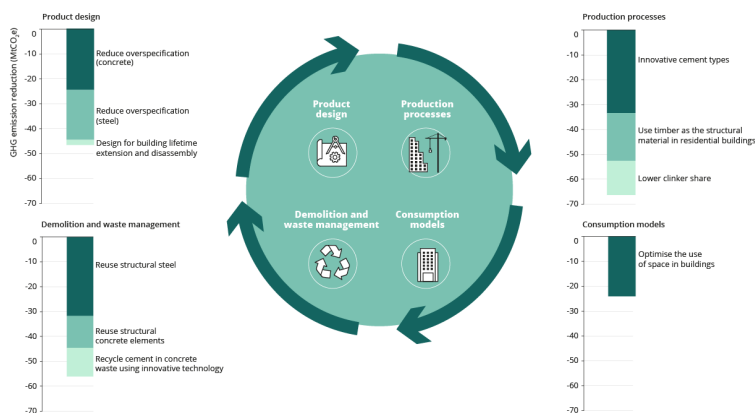


Figura 30 - Le azioni selezionate sono presentate per fase del ciclo di vita e i loro contributi alla riduzione delle emissioni di gas serra sono riportati in MtCO_{2eq}

Fonte: (Ramboll et al, 2020)

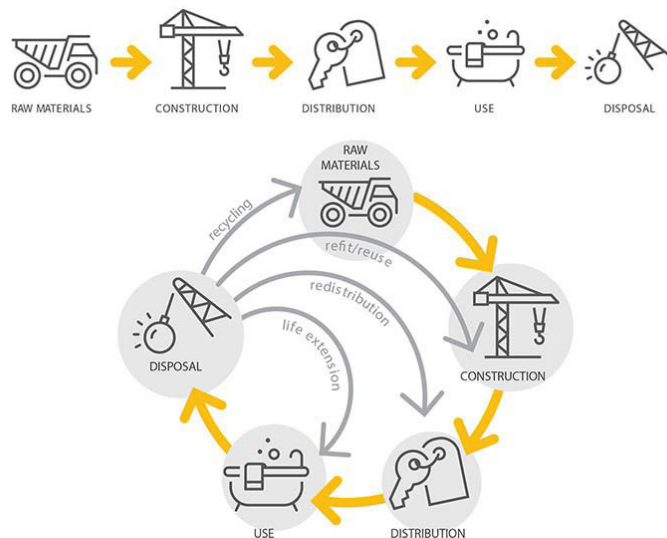
6. Il piano d'azione per l'economia circolare, parte integrante del Green Deal europeo, indica il concetto di circolarità come base per raggiungere l'obiettivo UE di neutralità climatica entro il 2050, specificando una serie di misure relative all'intero ciclo di vita dei prodotti utili per raggiungere tale obiettivo. Il piano include regole per progettare i prodotti con un maggiore impiego di materie prime riciclate, prodotti più duraturi, più facili da riutilizzare, riparare e riciclare.

5.3.1 L'Edilizia circolare dei materiali edili

Migliorare la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D), puntando su alternative sostenibili quali il recupero (riciclo e riuso), può incidere significativamente sull'economia circolare "from cradle to cradle" (dalla culla alla culla) del settore edile. Questi obiettivi sono in linea con quelli di sviluppo sostenibile assunti dall'Unione Europea con l'Agenda 2030, e raggiungibili anche attraverso la transizione verso un'economia circolare, stabilita fin dal 2015 con il "Piano d'azione per l'economia circolare" adottato e rinnovato nel 2020⁶. Sebbene la definizione di «rifiuti da costruzione e demolizione» si riferisca ai rifiuti risultanti da attività di costruzione e demolizione in senso generale, essa comprende anche i rifiuti derivanti da attività secondarie di costruzione e demolizione eseguite fai da te privatamente. I rifiuti C&D dovrebbero essere corrispondenti ai tipi di rifiuti di cui al capitolo 17 dell'elenco di rifiuti stabilito dalla decisione 2014/955/UE nella versione in vigore il 4 luglio 2018. La gestione dei rifiuti è un elemento chiave dell'edilizia circolare perché permette di recuperare, riciclare e riutilizzare quei materiali di scarto del processo edilizio dovuti alle fasi di costruzione e demolizione (C&D), reimmettendoli nel circuito, evitando così di estrarre nuove risorse con relative nuove emissioni di CO₂ nell'atmosfera (Ramboll et al, 2020).

Figura 31 - Confronto tra edilizia lineare e edilizia circolare.

Fonte: (Ramboll et al, 2020)



Un recente studio (Ramboll et al, 2020), ha analizzato la relazione tra economia circolare e mitigazione dei cambiamenti climatici sostenendo come mediante un approccio circolare e non lineare del settore dell'edilizia sia possibile in Europa ridurre fino al 60% di nuove emissioni di CO₂ per una riduzione assoluta di 130 milioni di tonnellate di CO₂ entro il 2050.

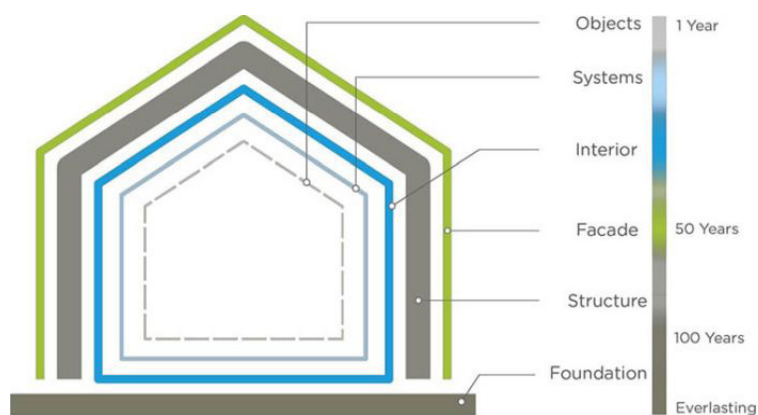


Figura 32 - Elementi di un edificio: la durata media di ogni strato di composizione prima di una necessaria sostituzione. Fonte: (Ramboll et al, 2020)

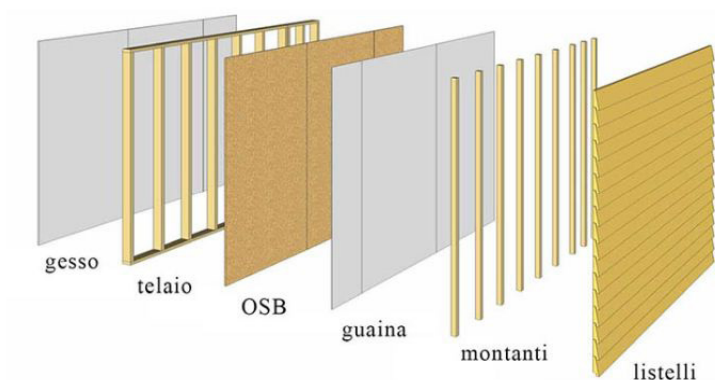
L'analisi del ciclo di vita (LCA) di un edificio deve prendere in considerazione non solo le qualità ambientali dei materiali, ma anche la loro durata in servizio e di conseguenza la loro sostituzione nel tempo (ENEA, 2017). L'economia circolare mira infatti a promuovere un'economia che conservi il valore dei materiali e il più a lungo possibile (EEA, 2016); ciò significa che la quantità di riciclaggio o riutilizzo non è più l'unico obiettivo: il tipo di riciclaggio e la prevenzione del *downcycling* sono fondamentali. Per adottare un'economia circolare, è necessaria un'azione che vada oltre la gestione dei rifiuti e un migliore riciclaggio, poiché devono essere coinvolte tutte le fasi del ciclo di vita dei prodotti.

La demolizione selettiva

Il modo più efficace per poter avviare un processo eccellente di economia circolare applicata ai rifiuti prodotti dalle lavorazioni edilizie è quello della demolizione selettiva (UNI/PdR, 2020). Esso consiste nella separazione, in fase di demolizione dell'edificio, dei diversi materiali (plastica, legno, metallo, parti in muratura).

Figura 33 - Esempio di demolizione selettiva di una struttura intelaiata in legno.

Fonte: <https://www.sistem.it/sistemi-costruttivi/platform-frame/>
<https://www.sistem.it/sistemi-costruttivi/platform-frame/>



5.3.2 La produzione di inerti dal trattamento RSU

Nel caso della produzione di aggregati per le costruzioni, le condizioni sono soddisfatte in modo inequivocabile al momento in cui il produttore effettua la marcatura CE sulla base delle norme tecniche europee armonizzate (CEN). L'operazione di recupero può consistere nel controllare i rifiuti per verificare se soddisfano i criteri adottati caso per caso per specifiche tipologie di rifiuto (ispezione visiva). I criteri dettagliati includono:

- materiali di rifiuto in entrata ammissibili ai fini dell'operazione di recupero;
- processi e tecniche di trattamento consentiti;
- criteri di qualità per i materiali di cui è cessata la qualifica di rifiuto ottenuti dall'operazione di recupero in linea con le norme di prodotto applicabili, compresi i valori limite per le sostanze inquinanti, se necessario;
- requisiti affinché i sistemi di gestione dimostrino il rispetto dei criteri relativi alla cessazione della qualifica di rifiuto, compresi il controllo della qualità, l'automonitoraggio e l'accreditamento, se del caso;
- un requisito relativo alla dichiarazione di conformità.

La Legge 128 del 02 novembre 2019, ha modificato l'art. 184ter del Dlgs 152/06 che disciplina la cessazione della qualifica di rifiuto. Il comma 3 ter, introdotto dalla L. 128/2019 istituisce un sistema di controlli delle autorizzazioni la cui competenza è in capo al Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. L'ISPRA o le ARPA regionali hanno il compito di controllare a campione, "la conformità delle modalità operative e gestionali degli impianti, ivi compresi i rifiuti in

ingresso, i processi di recupero e le sostanze o oggetti in uscita, agli atti autorizzatori rilasciati nonché alle condizioni previste per la cessazione della qualifica di rifiuto, redigendo, in caso di non conformità, apposita relazione” (ISPRA, 2021).

L'utilizzo di aggregati riciclati comporta vantaggi ambientali ed economici, come la riduzione del consumo di suolo, il recupero di rifiuti inerti e costi di trattamento e riutilizzo più bassi rispetto le procedure di estrazioni di nuovi materiali. Come definito dal Dlgs 152/06 per aggregati riciclati s'intende quei prodotti che usano i materiali provenienti da attività di recupero e lavorazione di rifiuti speciali non pericolosi inerti derivanti dalle operazioni di costruzione e demolizione (C&D) o costituiti da materiali di scarto derivanti da processi artigianali/industriali e trasformati in materia prima secondaria mediante idonea operazione di recupero eseguita presso appositi impianti (autorizzati ai sensi del Capo IV del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152).

Per rendere il settore dell'edilizia effettivamente sostenibile, occorre che il sistema arrivi ad un completo recupero dei rifiuti, definendo il *Life Cycle Assessment (LCA)* degli edifici secondo i principi dell'economia circolare. Strumenti digitali quali il *BIM*, insieme ai Criteri Ambientali Minimi degli appalti pubblici verdi (*GPP*), ed un sistema costruttivo a secco come l'uso del legno, sono soluzioni strategiche per il perseguimento dei sopracitati obiettivi.

5.3.2.1 *The Carbon Buster*

L'azienda britannica *Lignacite* ha sviluppato, in collaborazione con la società *Carbon8*, leader nel trattamento dei rifiuti industriali, un blocco composto per oltre il 50% da rifiuti industriali da termovalorizzatori e materiali riciclati, in grado di catturare 14 Kg di CO₂ per ton di prodotto realizzato, definendolo *carbon negative*, in quanto considerato l'intero processo di produzione cattura più CO₂ di quanta ne rilascia, per un saldo negativo pari a 14 Kg per ton di prodotto. Il risultato ottenuto è frutto di uno studio accademico condotto da un gruppo di ricerca della Facoltà di Scienze dell'Università di *Greenwich* e studi scientifici attuali si concentrano per evitare che in futuro, quando il prodotto stesso verrà riciclato, non rilasci nuovamente carbonio. Il processo, che prevede lo scioglimento del diossido di carbonio dei residui termici, viene realizzato in un impianto della società *Carbon8*; il composto viene mescolato prima di essere trasformato in *pellet* e utilizzato per la realizzazione del mattone, insieme a materiali riciclati che vanno dal vetro al legno.



Figura 34 - Blocco edilizio proveniente dal processo di recupero di inerti da RSU.

Fonte: www.c8s.co.uk

5.4 La cattura della CO₂

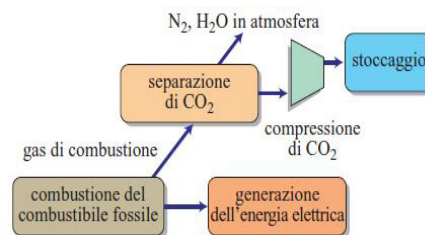
7. EOR è una tecnologia collaudata per ringiovanire la produzione di petrolio nei giacimenti in via di esaurimento, ma può anche fornire un mezzo per immagazzinare carbonio permanentemente, in quanto gran parte del gas iniettato viene infine trattenuto in giacimento per tutta la vita del progetto. Considerare una vera e propria misura di azione di mitigazione del clima, la CO₂ deve provenire da una fonte antropica, come una centrale elettrica o un impianto di lavorazione del gas naturale. In pratica, circa il 70% della CO₂ utilizzato nei progetti EOR degli Stati Uniti oggi proviene da serbatoi sotterranei naturali.

Figura 35 - Processo di cattura della CO₂

Fonte: (Kiesgen et al, 2013)

Il carbonio catturato può essere stoccato permanentemente nel sottosuolo, in formazioni geologiche o utilizzato come materia prima per la produzione di combustibili, prodotti chimici, materiali da costruzione o nel processo EOR⁷.

Si stima che il 90% di tutto il carbonio immagazzinato nel periodo tra il 2020 e il 2070 sarà immagazzinato, di cui l'80% proverrà da processi industriali e il 10% da bioenergia (BECCS) e processi DAC. Oggi la maggior parte del carbonio catturato (125 Mt) è destinato nel processo EOR o nel settore chimico ove viene utilizzato per processo per la produzione di fertilizzanti (ammoniaca per la produzione di urea come fertilizzante).



5.4.1 Perché catturare la CO₂

La CO₂ (biossido di carbonio o anidride carbonica), è un *gas* inerte, inodore, incolore e presente in atmosfera in natura generalmente in concentrazioni limitate. La traspirazione cellulare, la combustione e decomposizione delle molecole organiche genera CO₂ che viene immessa in atmosfera contribuendo al c.d. effetto serra, fenomeno di termoregolazione della Terra il quale grazie a un complesso bilancio termico contribuisce a mantenere costante e omogenea la temperatura media globale, in quanto è un *gas* che presenta uno stazionamento temporale molto lungo (Kiesgen et al, 2013).

Proprietà	Valore e Unità di Misura
Peso molecolare	44,01 g/mol
Punto di sublimazione a 1 atm	-78,5°C
Punto triplo	5.1 atm e -56.5°C
Aspetto	Gas incolore
Temperatura di fusione	-78,5°C
Temperatura di ebollizione	-56,56°C
Temperatura critica (T _c)	31,04°C
Pressione critica (p _c)	72,85 atm
Conducibilità termica	14,65 mW°C ⁻¹ mol ⁻¹
Densità gas a 0°C e 1 atm	1,976 g/L
Densità liquido a 0°C e 1 atm	928 g/L
Densità solido	1560 g/L
Solubilità in acqua a 25°C e 1 atm	0,759 mL CO ₂ / mL H ₂ O
Densità critica (ρ _c)	0,468 g/cm ³

Tale concentrazione viene amplificata dalla componente antropica, la quale, per combustione di combustibili fossili, determina un riscaldamento non naturale del pianeta. I principali *gas* climalteranti che rientrano negli obiettivi prefissati nell'Accordo di Parigi sono:

- il CH₄ (metano), prodotto dalle discariche dei rifiuti, dagli allevamenti zootecnici, dalle coltivazioni agricole e dai successivi processi di trasformazione;
- l'N₂O (protossido di azoto), prodotto nel settore agricolo e nelle industrie chimiche;
- gli HFC (idrofluorocarburi), impiegati nelle industrie chimiche e manifatturiere, principalmente per la refrigerazione e la climatizzazione;
- i PFC (perfluorocarburi), impiegati nelle industrie chimiche e manifatturiere. La loro particolare struttura (costituita da legami carbonio-fluoro) li rende idrofobici e lipofobici, proprietà che hanno consentito un ampio utilizzo nei settori quali refrigerazione, elettronica, produzione di medicinali e tessuti;
- l'SF₆ (esafluoruro di zolfo), impiegato nelle industrie chimiche e manifatturiere, in particolare si applica come *gas* per esperimenti, per la produzione di alluminio e magnesio e nella fabbricazione di semiconduttori.

Ciascuno dei *gas* sopracitati ha un proprio e specifico *GWP* (*Global Warming Potential*), che sostanzialmente corrisponde alla "capacità serra" di quel composto in relazione a quella della CO₂, convenzionalmente posta =1. (Sung-Han et al, 2015)

Tabella 3 - Proprietà fisico chimiche della CO₂

Gas	Permanenza in atmosfera (anni)	GWP
CO ₂	50-200	1
CF ₄	50000	6500
C ₂ F ₆	10000	9200
SF ₆	3200	23900
C ₃ F ₈	2600-7000	7000
CHF ₃	250-390	11700
C ₄ F ₈	3200	8700
CH ₄	12	21
N ₂ O	120	310
NF ₃	50-740	8000

Tabella 4 - Nonostante la maggior parte dei gas citati possieda un potere climalterante molto più alto della CO₂, attualmente l'anidride carbonica risulta essere il principale e più rilevante gas ad effetto serra, contribuendo per oltre il 55%.

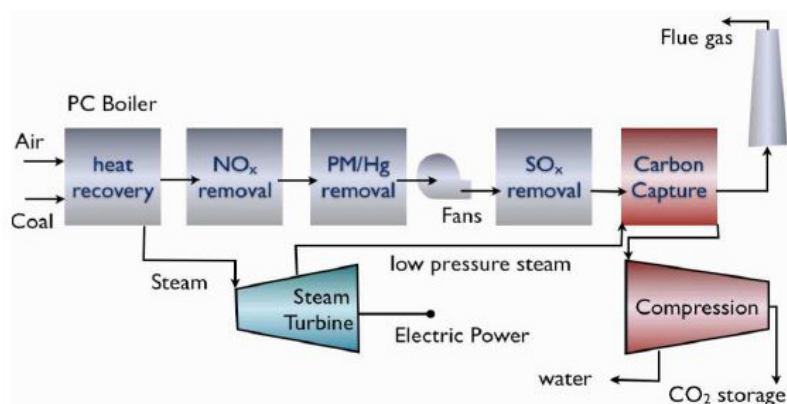
5.4.2 Le tipologie di cattura della CO₂

Le soluzioni definite *grey* vertono attualmente sulla ricerca di tecnologie che consentano la riduzione delle emissioni di CO₂ provenienti da settori fortemente emettitori di tale *gas*, tra i quali il settore industriale, civile e delle costruzioni ed energetico; tali tecnologie rientrano nella concezione di "cattura e stoccaggio del carbonio – CCS, Carbon Capture and Storage" (Wong et al, 2002). Nello specifico il processo consiste nella separazione del biossido di carbonio contenuto in flussi gassosi o combustibili, in maniera tale da sottrarlo alla quota rilasciata in atmosfera; per tale ragione si configura come un'opzione di mitigazione importante nella transizione globale verso un'economia sostenibile *low-carbon*.

L'intero processo CCS si compone di tre fasi: cattura, trasporto e stoccaggio; recentemente, un'ulteriore opportunità correlata alla tecnologia CCS, ovvero il *Carbon Capture Storage and Utilization (CCSU)*, ha iniziato ad attirare l'attenzione mondiale poiché in grado di trasformare le emissioni di CO₂ di scarico in sostanze chimiche e combustibili. L'obiettivo principale di questa tecnologia è quello di ottenere un prodotto di valore commerciale in grado di bilanciare i costi necessari per la cattura e la conversione della CO₂, quest'ultimi con costi di cattura attualmente elevati. Per quanto concerne la prima fase del processo CCS, ossia la cattura, esistono sostanzialmente quattro diverse tipologie di sistemi di cattura della CO₂ a livello industriale da sorgenti puntuali concentrate:

- *Post-combustione*: la CO₂ viene catturata dai fumi di combustione esausti venendo assorbita in un solvente chimico o in un sorbente solido predisposti. Successivamente viene poi separata dal solvente e compressa per poter essere trasportata e stoccata. Altri metodi di se-

parazione *post*-combustione sono per filtrazione tramite membrana ad alta pressione o separazione criogenica. Nonostante gli elevati costi, si tratta di una tecnica preferibilmente applicata su impianti già esistenti (*retrofit*), in quanto le modifiche sono relative all'uscita dei *gas* esausti; in questa configurazione, per impianti a combustibili fossili, tale tecnologia allunga la vita utile dell'impianto stesso. (Seiser et al, 2000)

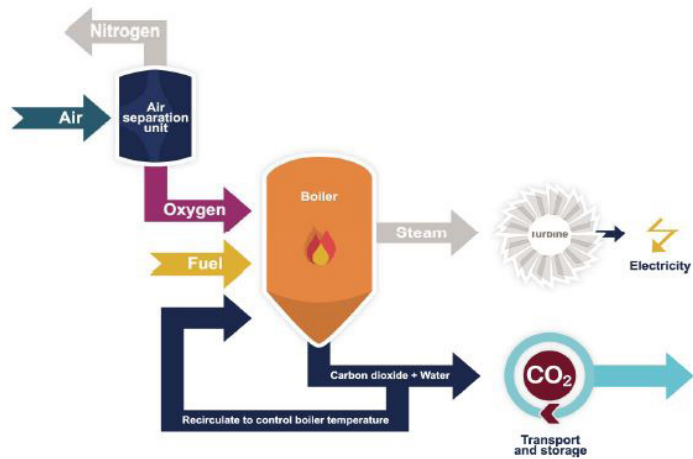


- *Pre*-combustione: il combustibile viene convertito prima della combustione in una miscela di idrogeno e anidride carbonica usando un processo chiamato gassificazione; l'anidride carbonica può essere poi trasportata e stoccata, mentre l'idrogeno, miscelato con l'aria, può essere usato come combustibile per fini energetici. Un tipico esempio di questo processo è un impianto a ciclo combinato a gassificazione integrata (IGCC) nel quale il carbone viene trasformato in *syngas* prima della combustione; tale processo risulta ideale per impianti di nuova generazione. (Smit et al, 2014)

- Ossi-combustione o combustione in ossigeno: questo processo prevede l'utilizzo di ossigeno puro, o aria altamente arricchita, in camera di combustione; tale combustione produce principalmente vapore e anidride carbonica concentrata, più semplice da trattare e inviare allo stoccaggio, minimizzando la produzione di ossidi d'azoto e semplificando la separazione di eventuali inquinanti presenti in concentrazioni maggiori. Tuttavia l'*appealing* di tale tecnologia è limitato dai notevoli consumi energetici associati alla sezione di separazione criogenica dell'aria e alla mancanza di esperienza di esercizio su larga scala. Ad oggi, l'ossi-combustione a scopi di generazione elettrica è stata dimostrata solo su scala inferiore a 10 MWe. (Kuckshinrichs et al, 2015)

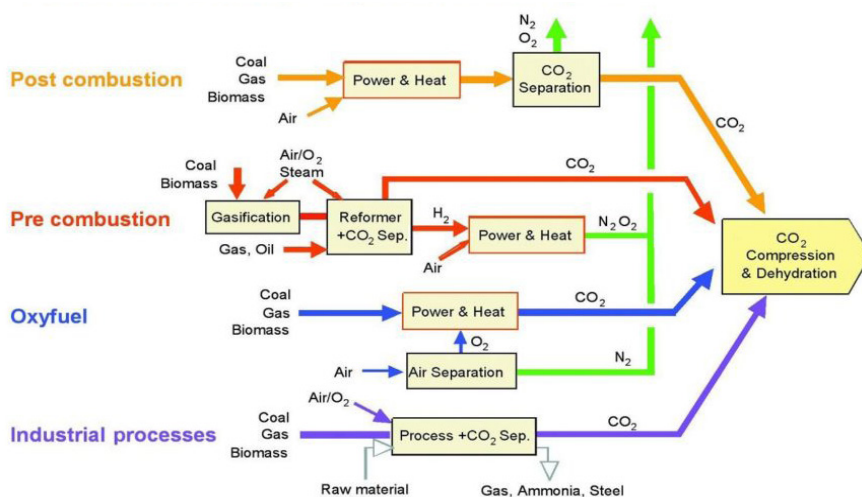
Figura 36 - Schema dell'impianto di cattura in post-combustione in una centrale termoelettrica.
Fonte: (Smit et al, 2014)

Figura 37 - Schema dell'impianto di cattura in ossi-combustione.
 Fonte: www.zeroemissionsplatform.eu



- Processi industriali: questo metodo prevede la cattura di CO₂ da processi industriali, quali la purificazione di *gas* naturale e la produzione di *gas* di sintesi contenenti idrogeno. Ulteriori processi industriali dai quali è possibile catturare la CO₂ consistono nella produzione di cementi e metalli o nella fermentazione per la produzione di cibi e bevande, per i quali è possibile adottare tecniche di cattura simili alla pre-combustione, alla *post*-combustione e all'ossi-combustione. (Kuckshinrichs et al, 2015)

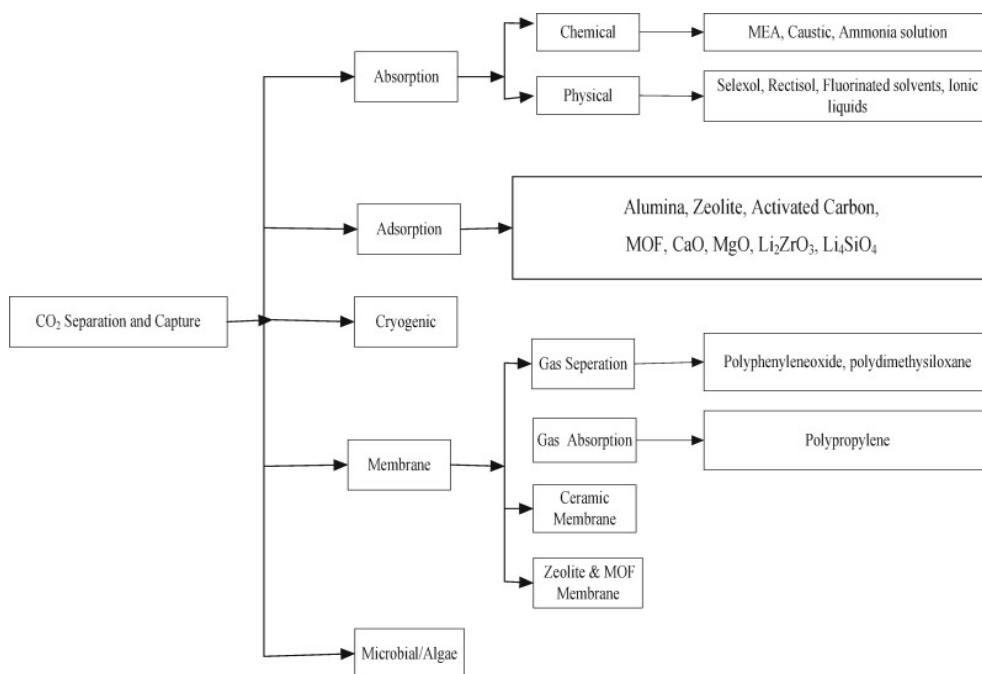
Figura 38 - Processi di cattura del Carbonio.
 Fonte: (IPCC, 2005)



5.4.3 Le tecnologie di cattura della CO₂ post-combustione

Ulteriori processi di carbonio rientrano nelle tecnologie *CSS* definire ad “energia positiva” o “*carbon negative*” quali essere la produzione di bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio (*BECCS*) e il *Direct Air Capture (DAC)* (Yaumi et al, 2017). I principali processi alla base del meccanismo di cattura della CO₂ *post-combustione* operano con quattro diversi approcci:

- Assorbimento liquido;
- Adsorbimento solido;
- Utilizzo di membrane;
- Separazione criogenica.



5.4.3.1 Assorbimento liquido

Questo processo di cattura si basa su un particolare processo di assorbimento chimico definito “lavaggio chimico”: tale consente la separazione della CO₂ dalla miscela gassosa mediante contatto tra *gas* e solvente liquido affine alla CO₂ (Boot-Handford et al, 2014).

Figura 39 - Processi di cattura post-combustione del Carbonio.
 Fonte: (Yaumi et al, 2017)

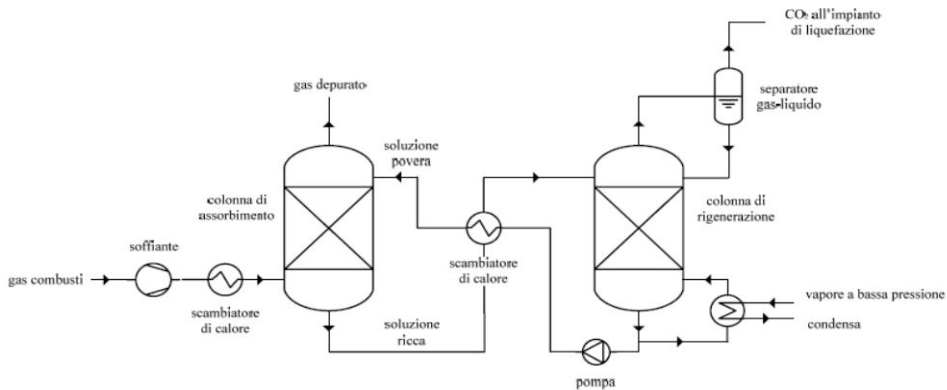


Figura 40 - Schema concettuale di un processo di assorbimento chimico della CO_2
Fonte: (ENEA, 2013)

Lo schema di assorbimento è composto da un *absorber* ove si realizza il lavaggio chimico dei fumi esausti dei siti industriali, e da uno *stripper*, luogo in cui si rigenera il solvente (IEA, 2020). I *gas* in uscita, contenenti carbonio in quantità variabile, collidono, nel processo di risalita dal fondo alla colonna di assorbimento, con una serie di piastre forate resistenti alla azione corrosiva del solvente, quest'ultimo scorrendo contro corrente al flusso prima descritto. La miscela ormai priva della componente di CO_2 viene reimpressa in atmosfera o ricircolata e miscelata con i fumi di processo. La soluzione ad alto contenuto di carbonio viene invece inviato alla colonna di rigenerazione, nella quale il rilascio di carbonio stesso viene ottenuto mediante lo *stripping* termico, cioè rompendo, mediante l'apporto di calore del *reboiler*, i legami chimici creati nella colonna di assorbimento. La CO_2 uscita dalla colonna viene indirizzata a un separatore ove viene prelevata, secondo uno specifico grado di purezza, per le successive operazioni. Il solvente rigenerato, periodicamente rabboccato per le naturali perdite di trascinalimento ed evaporazione, viene indirizzato verso l'*absorber* per poi essere riutilizzato per un nuovo ciclo (ENEA, 2013). Fra le due colonne è interposto uno scambiatore con la funzione di provvedere al raffreddamento del fluido rigenerato dallo *stripper*, garantendo contemporaneamente il riscaldamento del fluido proveniente dall'*absorber*. Tale tecnologia a doppia colonna presenta il grande svantaggio di ingenti quantitativi di solvente per il sequestro di carbonio nel processo stesso, con un considerevole aumento dei costi di installazione e di esercizio. Fra i solventi alternativi ai tradizionali, volti alla riduzione dei costi iniziali vi sono i liquidi ionici, ossia dei sali che si presentano allo stato liquido a temperatura ambiente e che grazie alla loro polarità

influenzano le proprietà del liquido. Sono dotati di caratteristiche che li rendono idonei al processo di cattura con doppia colonna, fra cui una notevole stabilità termica (con una temperatura di decomposizione tipicamente maggiore di 160 °C), una ridotta richiesta di energia per la loro rigenerazione, semplicità nel riciclaggio e una bassa tensione di vapore (IEA, 2013).

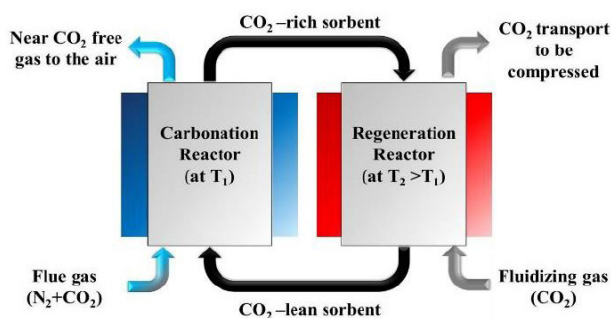
5.4.3.2 Adsorbimento solido

Questo metodo di cattura sfrutta le interazioni superficiali (forze di *Van der Waals*) che si instaurano tra il *gas* e un elemento solido, evitando il fenomeno della corrosione (TRL⁸ 9-11) (Chaitanya et al, 2020) (Seungyeong et al, 2020).

A seconda della tipologia di adsorbimento, vi sono diversi parametri da considerare per garantire un'elevata qualità del prodotto:

- grado di recupero del *gas* adsorbita;
- grado di purezza del prodotto;
- efficienza energetica di adsorbimento e rigenerazione;
- servizi (energia elettrica e/o energia termica e livello termico).

La *Temperature Swing Adsorbption (TSA)* è uno dei processi di maggiore interesse che permette di sfruttare direttamente l'energia termica a basse temperature per rigenerare il solido; il calore può essere fornito in maniera diretta (es. vapore) nel caso di impianti di larga scala, mentre per quelli di piccola scala sono sufficienti sistemi di riscaldamento indiretto (es. serpentine) (Dhoke et al, 2020) (Choi et al, 2020) (Thomas, et al, 2014). Nonostante ciò al fine di garantire una maggiore efficienza di scambio termico e una riduzione del tempo di riscaldamento, è opportuno provvedere all'approvvigionamento di '*sweep gas*'⁹ nella colonna anche con metodi di riscaldamento indiretti (IEA, 2020).



8. TRL Technology Readiness Level (Livello di Maturità Tecnologica) indica una metodologia per la valutazione del grado di maturità di una tecnologia, sviluppata originariamente dalla NASA nel 1974 e successivamente modificata. È basata su una scala di valori da 1 a 9, dove 1 è il più basso (definizione dei principi base) e 9 il più alto (sistema già utilizzato in ambiente operativo).

9. Il gas di spazzamento è un gas presente nel lato permeato di un reattore a membrana per abbassare la pressione parziale delle specie permeanti e aumentare la forza motrice.

Figura 41 - Schema concettuale rappresentante il processo di Temperature Swing Adsorbption per la cattura della CO₂
Fonte: (Seungyeong et al, 2020)

Una seconda tipologia di adsorbimento che si basa invece sulla variazione della pressione è la *Vacuum/Pressure Swing Adsorption (V/PSA)*; l'adsorbimento si realizza ad una pressione maggiore di quella di desorbimento, con conseguente variazione della pressione parziale della specie da adsorbire (Zimmermann et al, 2020).

Se invece si vuole rimuovere il componente adsorbito durante la fase rigenerativa del solido attraverso una corrente di 'sweep gas', si ricorre alla *Concentration Swing Adsorption (CSA)*. Al fine di ottenere il maggior grado di purezza possibile si può operare combinando le diverse tecnologie di adsorbimento/rigenerazione, tenendo però conto dei costi operativi che tali impianti comportano. Per quanto riguarda la configurazione reattoristica, esistono principalmente due modelli di colonne di adsorbimento: a letto fisso o a letto fluidizzato. Il primo prevede l'utilizzo di due o più colonne e consta di quattro fasi: adsorbimento, riscaldamento, desorbimento e raffreddamento. I parametri più rilevanti sono la velocità di filtrazione, il tempo utile della colonna e la quantità di CO₂ prodotta. L'altro sistema invece è volto alla fluidizzazione del letto; in questo caso ci si avvale di due colonne in cui il letto adsorbente è fluidizzato dal *gas* in ingresso (adsorbimento) e dallo 'sweep gas' (rigenerazione). Le due colonne possono essere costituite da più letti fluidizzati e il solido viene continuamente trasportato dalla colonna di adsorbimento a quella di rigenerazione e viceversa con una continua ciclicità del sistema (IEA, 2020).

5.4.3.3 Membrane

Le membrane risultano essere dei composti semi-permeabili aventi la capacità di separare i componenti di una miscela gassosa sotto l'effetto di un gradiente di pressione parziale. Il tipo di applicazione e di combustibile impiegato definiscono i diversi Livelli di maturità tecnologica (*TRL*); attualmente il maggiore investigato scientificamente è il trattamento del *gas* naturale in fase dimostrativa (*TRL 6-7*). In particolare, la separazione può essere diretta se avviene in base alle diverse dimensioni delle molecole che costituiscono la miscela, o inversa, se sfrutta l'interazione tra la barriera e i *gas* permeanti; in quest'ultimo caso la solubilità e la selettività consentono a molecole specifiche, anche se di dimensioni maggiori, di oltrepassare la membrana. Le membrane maggiormente utilizzate sono di natura polimerica in quanto, nonostante una minore resistenza chimica e fisica delle membrane inorganiche e metalliche, presentano un costo ridotto e una maggiore semplicità di fabbricazione,

rendendole ciò replicabili ed utilizzabili a larga scala (ENEA, 2016) (Cher Hon Lau et al, 2013) (Luis et al, 2012) (IEA, 2020).

5.4.3.4 Separazione criogenica

I metodi criogenici (*TRL 9-11*) permettono di ottenere CO₂ in fase liquida ad elevato grado di purezza (> 90%); tali processi non richiedono l'utilizzo di sostanze chimiche altamente volatili (come nell'assorbimento) e vengono condotti sotto l'effetto di moderate pressioni. Risultano semplici dal punto di vista tecnologico, in quanto consistono in due o tre cicli consecutivi di compressione, raffreddamento, espansione e separazione. Attualmente, solo poche soluzioni tecniche con un'elevata efficienza di separazione sono state trattate nel campo scientifico-sperimentale, fra le quali la più frequentemente applicata sfrutta la desublimazione per la separazione criogenica della CO₂. Generalmente, il sistema di cattura dell'anidride carbonica è integrato a processi di gassificazione del gas naturale liquefatto (*LNG*) e/o alla separazione criogenica dell'aria (Knapik et al, 2018).

5.4.4 Compressione e trasporto della CO₂

La CO₂ in basse concentrazioni risulta inodore e incolore, con una massa molecolare di 44 g/ mol e una densità a pressione e temperatura *standard* pari a 1,8 Kg/m³; poiché più pesante di una molecola di ossigeno e azoto, questa tende a stazionare negli strati inferiori dell'atmosfera in assenza di moti convettivi, incrementando l'inquinamento nelle aree urbanizzate e densamente trafficate.

Per comprendere al meglio le condizioni operative applicate alla molecola di carbonio si fa riferimento al digramma di stato (Fig.42) ove osserviamo come oltre i 304,1 K e oltre i 73,8 bar la CO₂ si presenti in forma supercritica¹⁰. L'anidride carbonica per poter essere trasportata in forma liquida verso i siti di stoccaggio viene portata a una pressione di circa 150 bar (148 atm).

Le due opzioni principali per il trasporto su larga scala di CO₂ attualmente disponibili sono via oleodotto e nave, anche se per brevi distanze e piccoli volumi il carbonio può essere trasportato anche su camion o su rotaia, con costi più elevati per tonnellata di CO₂.

Il trasporto tramite gasdotto (*pipeline*) è praticato da molti anni ed è già utilizzato su larga scala (Acorn, 2020).

10. Una sostanza si dice essere in uno stato supercritico quando si trova in condizioni di temperatura superiore alla temperatura critica e pressione superiore alla pressione critica. In queste condizioni, le proprietà della sostanza sono in parte analoghe a quelle di un liquido (ad esempio la densità) e in parte simili a quelle di un gas (ad esempio la viscosità).

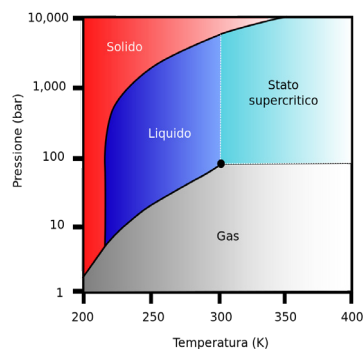


Figura 42 - Diagramma di stato dell'anidride carbonica, ove risulta visibile la zona in cui si verifica lo stato supercritico.

Fonte: (Knapik et al, 2018)

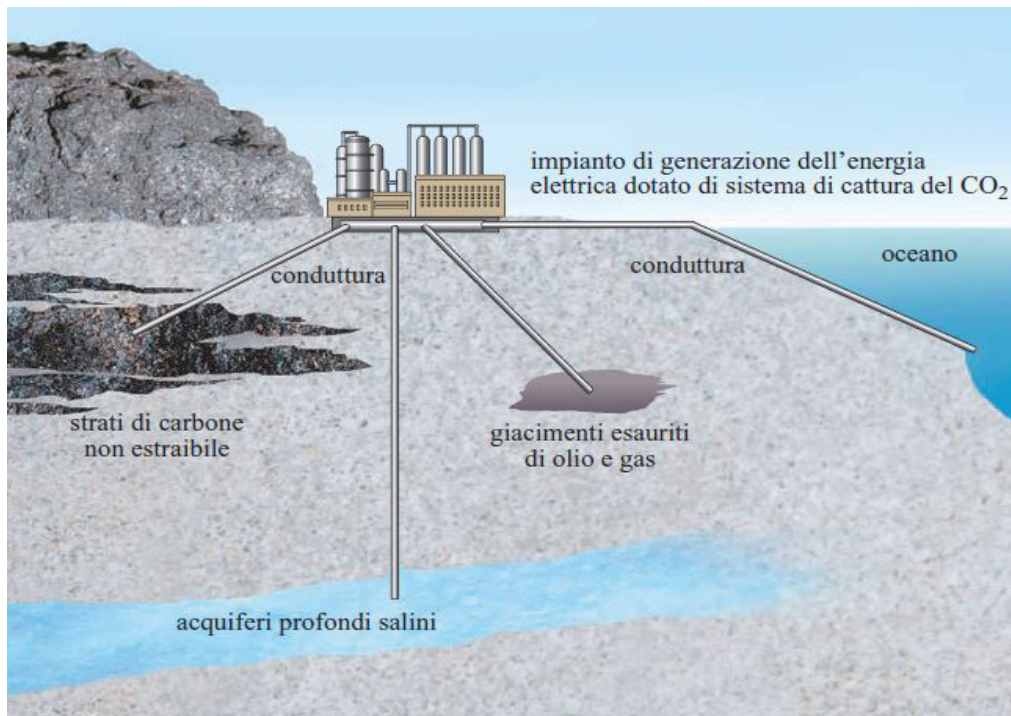


Figura 43 - Principali opzioni per lo stoccaggio del CO₂ in giacimenti naturali.

Fonte: (IEA, 2001)

5.4.4.1 Trasporto attraverso impianti pipeline

Le condutture ad oggi sono il modo più economico per trasportare la CO₂ in grandi quantità *onshore* e, a seconda della distanza e dei volumi, *offshore*. Esiste già un'ampia rete *onshore* di gasdotti in Nord America, con una lunghezza complessiva di oltre 8000 km, principalmente negli Stati Uniti, trasportando più di 70 Mt/anno di carbonio.

È inoltre attivo un progetto in fase di sperimentazione per riutilizzare oleodotti e gasdotti esistenti per il trasporto di carbonio catturato in molte parti del mondo, ciò potrebbe ridurre significativamente i costi di infrastrutture per il trasporto, poiché l'investimento necessario per convertire un gasdotto esistente è stimato nell'1-10% del costo di costruzione di uno nuovo.

Inoltre, il riutilizzo potrebbe aiutare ad evitare gli elevati costi di disattivazione e dismissione dei gasdotti (Government of the United Kingdom, 2019).

Nazione	Localizzazione della rete	Lunghezza (Km)	Capacità
U.S.A.	Permian Basin (West Texas, New Mexico, Colorado)	4180	-
U.S.A.	Gulf Coast (Mississippi, Louisiana, East Texas)	1190	-
U.S.A.	Rocky Mountains (Colorado, Wyoming, Montana)	1175	-
U.S.A.	Midcontinent (Oklahoma, Kansas)	770	-
U.S.A.	Other (North Dakota, Michigan)	345	-
Canada	Alberta Carbon Trunk Line	240	14,6
Canada	Quest	84	1,2
Canada	Saskatchewan	66	1,2
Canada	Weyburn	330	2
Norvegia	Hammerfest	153	0,7
Olanda	Rotterdam	85	0,4
UAE	Abu Dhabi	45	-
Arabia Saudita	Uthmaniyah	85	-

5.4.3.2 Trasporto attraverso il settore navale

Trasporto su larga scala di CO₂ via nave attualmente è in fase di sperimentazione ed impiegato prevalentemente su piccola scala (10000-15000 m³), in quanto il sistema stesso presenta similitudini con il trasporto di *gas* di petrolio liquefatto (*GPL*) e *GNL*; il cabotaggio delle navi più moderne, che dispongono di sistemi di refrigerazione e pressurizzazione, è tale da consentire, per ciascun viaggio, il trasporto di circa 230.000 tonnellate di CO₂ allo stato liquido.

Tuttavia, rimangono notevoli possibilità di innovazione, in particolare per lo scarico *offshore* di CO₂, e le ricadute dell'industria navale in generale, compresa l'automazione e nuove tecnologie di propulsione (Edwards et al, 2018).

Tabella 5 - Infrastrutture pipeline presenti nel mondo.

Fonte: (Rielaborazione su dati IEA, 2013)

5.5 Il processo di stoccaggio di CO₂. Il CSS "Carbon Capture and Storage" e il CCU "Carbon Capture and Utilization"

Esistono attualmente diverse forme, metodologie e strumenti per rimuovere il carbonio dall'atmosfera, soluzioni definite *green* come rimboschimenti, *urban forest*, o processi naturali come il *biochar* (carbone prodotto dalla biomassa) e soluzioni industriali definite *grey* nelle quali rientrano le tecnologie *Carbon Capture Use and Storage (CCUS)*. Il rapporto de l'Agenzia Internazionale per l'Energia (*IEA*) evidenzia da tempo che non esistono singole soluzioni volte al raggiungimento degli obiettivi energetici e climatici a livello internazionale; la cattura, lo stoccaggio e il riutilizzo del carbonio (*CCSU – Carbon Capture Storage and Utilization*) diviene uno dei principali assi strategici al fine di ridurre drasticamente le emissioni di CO₂ nell'atmosfera, rispettando gli accordi climatici intrapresi dai principali paesi industrializzati mondiali al fine di mitigare i cambiamenti climatici (*IEA, 2013*).

Tali tecnologie, capaci di evitare le emissioni di anidride carbonica alla fonte e di permettere diminuzioni su larga scala di CO₂ nell'atmosfera attraverso la rimozione e stoccaggio, sono essenziali, come evidenziato dal Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (*IPCC*) al fine di raggiungere le emissioni nette zero entro la metà del secolo.

Il recente *report* pubblicato dall'ente intergovernativo presenta quattro scenari per limitare l'aumento della temperatura globale a 1,5 °C, tutti richiedono la rimozione della CO₂ (*Sandrine et al, 2017*) e tre comportano un maggiore uso di tale tecnologia, investimenti mirati nelle seguenti quattro linee di indirizzo:

- Raggiungere una profonda decarbonizzazione dei settori industriali maggiori emettitori di CO₂:

I settori del cemento, del ferro e dell'acciaio e della chimica emettono carbonio a causa della natura dei loro processi industriali, e al fabbisogno di calore ad alta temperatura, risultando tra i più difficili da decarbonizzare.

- Consentire la produzione di idrogeno a basso contenuto di carbonio a larga scala:

L'idrogeno svolgerà un ruolo fondamentale nella decarbonizzazione dei settori industriali ove risulta difficile ridurre le emissioni, risultando inoltre una importante fonte di energia per il riscaldamento residenziale, energetico e dei trasporti. Per decarbonizzare i settori difficili da abbattere e raggiungere le emissioni nette zero, la produzione globale di idrogeno produzione globale di idrogeno dovrà crescere in modo significativo, da 70 Mt all'anno odierni a 425-650 Mt all'anno entro la metà del secolo.

- Fornire energia a bassa emissione di carbonio:

Per raggiungere la neutralità carbonica una terza linea di indirizzo sarà quella di decarbonizzazione il settore della produzione di energia; le centrali elettriche dotate di *CCS* forniscono elettricità dispacciabile a basse emissioni di carbonio, così come servizi di stabilizzazione della rete, dell'inerzia, il controllo della frequenza e della tensione. I servizi di stabilizzazione della rete non possono essere alimentati dal solare fotovoltaico (PV) o dalla generazione eolica, in questo caso le tecnologie *CCS* completa il ciclo delle energie rinnovabili, aiutando a rendere la rete energetica a bassa emissione di carbonio, resiliente e affidabile nei processi di produzione e gestione.

- Generare emissioni negative (*Negative emission*):

Le emissioni residue nei settori difficili da abbattere devono essere compensate; il *CCS* fornisce le basi per la rimozione dell'anidride carbonica basata sulla tecnologia, compresa la produzione la bioenergia (*BECCS*) e la cattura diretta dell'aria con stoccaggio del carbonio (*DACCS*).

Lo scenario di sviluppo sostenibile (*SDS*) dell'*IEA* descrive con una proiezione temporale al 2050 gli obiettivi raggiungibili dalle Nazioni Unite (ONU) relativi alle emissioni del settore energetico. La massa di carbonio catturata usando le tecnologie *CCS* salgono da circa 40 Mt di CO₂ all'anno del 2020 a circa 5,6 Gt nel 2050. Il contributo risulta significativo, rappresentando tra il 16% e il 90% delle riduzioni di emissioni nei settori del ferro e dell'acciaio, cemento, prodotti chimici, trasformazione dei combustibili e generazione di energia (IISA, 2018).

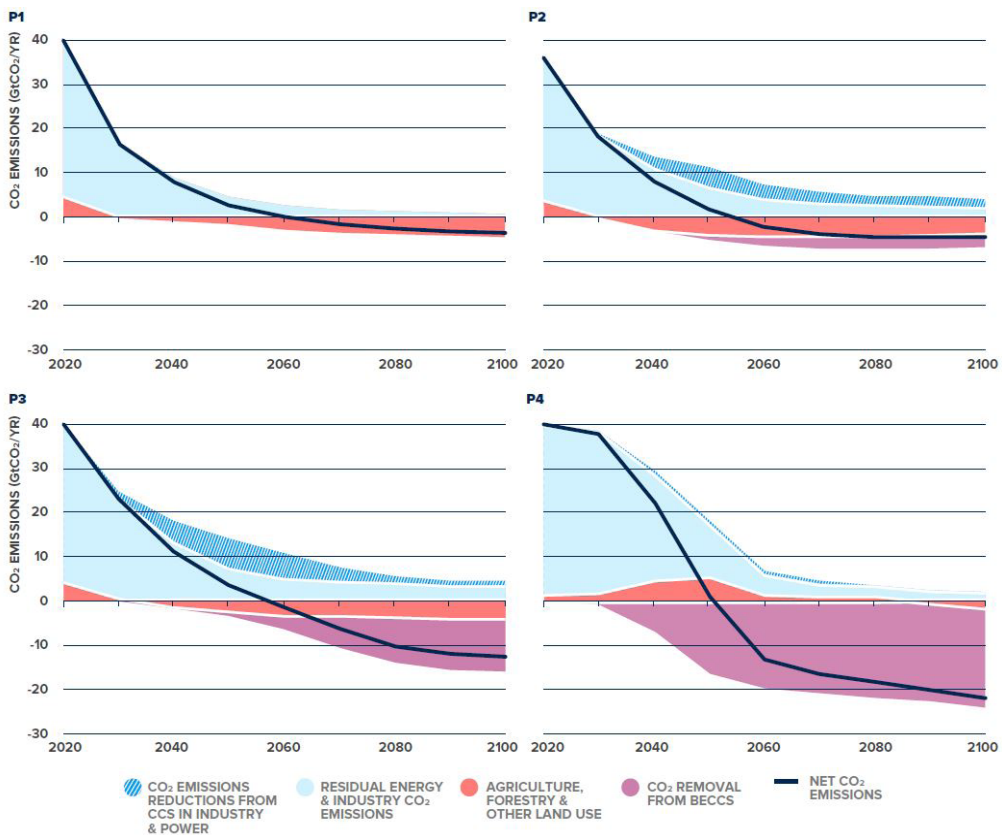
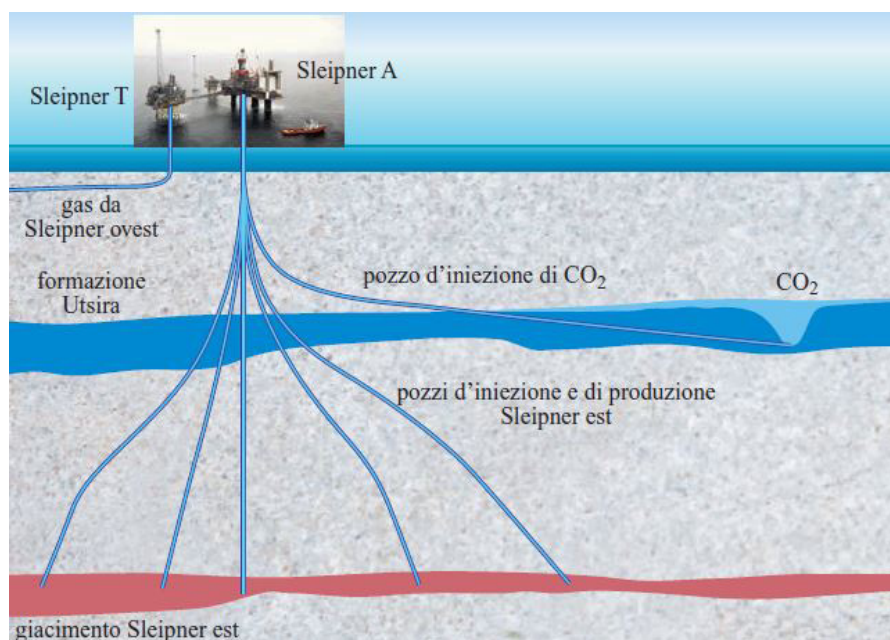


Figura 44 - I quattro scenari presenti nell' "IPCC Special Report on Global Warming of 1.5°C".
 Fonte: (IISA, 2018)

Il CCUS (Carbon Capture Use and Storage) si riferisce a un complesso di tecnologie che prevede la cattura di carbonio da punti localizzati di grandi dimensioni ove generalmente si trovano impianti per le produzioni di energia o che utilizzano combustibili fossili o biomassa come combustibile. Il carbonio può essere catturato direttamente dall'atmosfera, compresso e trasportato tramite condutture su navi, treni o camion per una vasta gamma di riutilizzo, o iniettato in formazioni geologiche profonde (come giacimenti di petrolio e gas dismessi o formazioni saline) che lo intrappolano permanentemente. La bioenergia prodotta dalla cattura e stoccaggio del carbonio (BECCS), comporta la cattura e lo stoccaggio da processi in cui la biomassa (che incorpora anch'egli carbonio durante il ciclo di vita) viene bruciata per produrre energia (IISA, 2018).

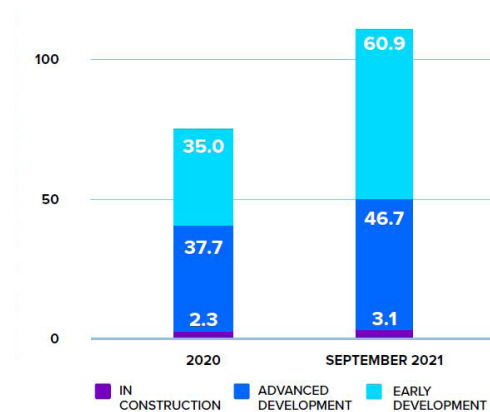


Affrontare le emissioni delle centrali elettriche e degli impianti industriali diviene la sfida fondamentale per la transizione energetica globale; tali *asset* potrebbero generare più di 600 Gt di CO₂, quasi due decenni di emissioni annuali attuali, una prospettiva non percorribile per le popolazioni e le economie di tutto il mondo. Il settore della produzione di energia da carbone rimane una sfida aperta; tale rappresenta quasi un terzo delle emissioni globali di carbonio nel 2019 e il 60% degli impianti potrebbe essere ancora operativo nel 2050. Tali impianti sono dislocati principalmente in Cina, dove l'età degli impianti mediamente è inferiore a 13 anni. Se per alcuni settori la transizione energetica verso il raggiungimento della neutralità carbonica nel 2050 potrà verificarsi attraverso largo impiego di impianti di produzione energetica rinnovabile, per altri non potranno raggiungere il *target zero emission* senza le tecnologie *CCUS*; è il caso del settore della produzione del cemento in quanto produce elevate emissioni di carbonio per riscaldare calcare (carbonato di calcio) e scomporlo in ossido di calcio e carbonio. Queste emissioni nel processo rappresentano circa i due terzi dei 2,4 Gt di emissioni globali per la produzione del cemento e oltre il 4% di tutte le emissioni nel settore energetico. In altri settori quali il siderurgico, tecnologie *CCUS* permettono un per-

Figura 45 - Iniezione di CO₂ nel serbatoio profondo di acque saline di Utsira. Il CO₂ viene estratto dal gas naturale del giacimento Sleipner West prima che questo venga immesso sul mercato.
Fonte: Statoil

corso di produzione a basse emissioni di carbonio e meno costose per la produzione di acciaio vergine, rappresentante circa il 70% della produzione complessiva di acciaio nel mondo. La maggiore diffusione di impianti di cattura e stoccaggio di carbonio è ad oggi concentrata negli Stati Uniti, i quali ospitano quasi la metà di tutte le strutture operative; ciò in parte è dovuto alla disponibilità di ampie reti di gasdotti e di adeguati programmi di finanziamento pubblico. I primi progetti *CCUS* si concentravano su applicazioni industriali il cui costo di estrazione del carbonio rappresentava un costo aggiuntivo relativamente basso, circa 15 USD/tCO₂; ad esempio nella lavorazione del *gas* naturale, il quale per essere venduto ha bisogno di essere separato dal carbonio prima della sua liquefazione per evitare congelamenti e danneggiamenti agli impianti di produzione. Nel 2009 la *roadmap* dell'*IEA*, ha fissato l'obiettivo di sviluppare 100 progetti *CCUS* tra il 2010 e il 2020 per raggiungere gli obiettivi climatici globali, immagazzinando circa 300 MtCO₂/annue (IEAGHG, 2009a); oggi la capacità effettiva di stoccaggio annuo a livello mondiale è pari a 111 Mt, con un incremento del 48% rispetto al 2020 (75 Mt) (CO₂RE, 2021).

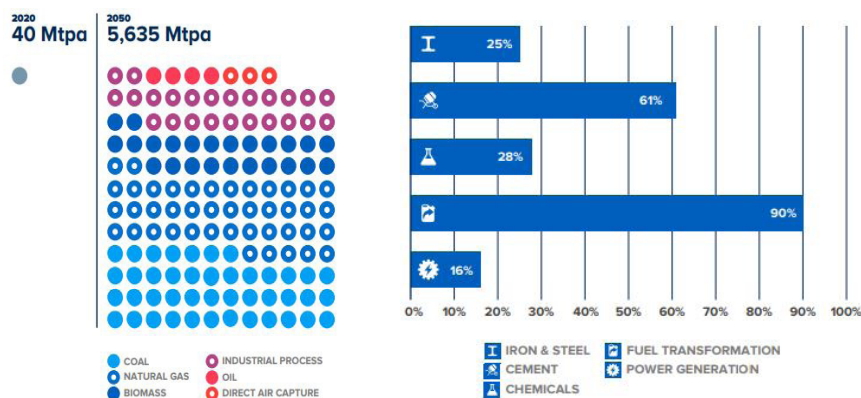
Figura 46 - Capacità di Stoccaggio mondiale mediante tecnologie CSS (Mtpa).
Fonte: (CO₂RE Database, 2021)



Anche gli investimenti economici in tali tecnologie sono arretrati rispetto ad altre tecnologie che impiegano fonti di energia rinnovabile; l'investimento annuale ha rappresentato meno dello 0,5% degli investimenti globali in tali settori (produzione di energia da fonti rinnovabili e tecnologie di efficientamento energetico) (IEA, 2020b). Dal 2010 sono stati investiti circa 15 miliardi di dollari in 15 progetti *CCUS* a larga scala, di questi 2,8 impiegati nella struttura a Kemper (Mississippi), abbandonata nel 2016 (IEA, 2016).

Dopo alcuni anni di contrazione degli investimenti, dal 2017 sono stati annunciati piani per oltre 30 nuovi impianti CCUS, localizzati principalmente in Stati Uniti e Europa ma anche in Australia, Cina, Korea, Medio Oriente e Nuova Zelanda. Se la proiezione verrà rispettata, la quantità globale di carbonio catturata sarà più che triplicata rispetto gli *standard* odierni raggiungendo circa 130 Mt/annue. 16 progetti in fase avanzata inclusi altri arrivati in fase di approvazione economica entro i prossimi 12 mesi, rappresentano un investimento totale stimato di oltre 27 miliardi di dollari.

11. Kilo-ton per anno.



Il *Global CCS Institute* ha introdotto un sistema di classificazione nel 2020 per riflettere meglio lo sviluppo dell'industria CCS basato su due categorie di impianti, in base alla loro capacità annuale di cattura di CO₂ (Global CCS Institute, 2021):

Figura 47 - Capacità di stoccaggio di CO₂ nel 2020 con proiezione al 2050 nel settore della produzione di energia da combustibili secondo lo scenario di sviluppo sostenibile e relativo contributo delle tecnologie CCUS.

Fonte: (IEA, 2020)

1. Impianti CCS su larga scala:

- impianti che catturano CO₂ da fonti industriali con una capacità di 400 ktpa¹¹ o superiore;
- impianti che catturano CO₂ dalla produzione di energia elettrica con una capacità di 800 ktpa o superiore;
- infrastrutture di trasporto di CO₂ e progetti di *hub* di stoccaggio con una capacità di 400 ktpa o superiore.

2. Impianti pilota e dimostrativi:

- impianti che catturano CO₂ da fonti industriali o dalla produzione di energia, che non soddisfano le soglie di capacità degli impianti CCS su larga scala.

Bibliografia:

- *European Commission (2021), Urban Greenup, Wondering how you can bring nature into your city? European Union. Doi 10.2777/322126.*

Sitografia:

- <https://www.construction21.org/articles/h/the-urban-greenup-catalogue-of-nature-based-solutions-is-now-public.html>
- <https://www.urbangreenup.eu/cities/front-runners/izmir.kl>

A partire dal 2019, tale classificazione è venuta meno poiché gli impianti di cattura più piccoli possono essere commercialmente fattibili, gli *hub CCS* odierni offrono economie di scala più piccole nel trasporto e stoccaggio a fonti multiple e la capacità di cattura non è più l'indice principale per classificare gli impianti.

Dal 2020, l'introduzione di un nuovo sistema di classificazione definisce gli impianti *CCS* come segue:

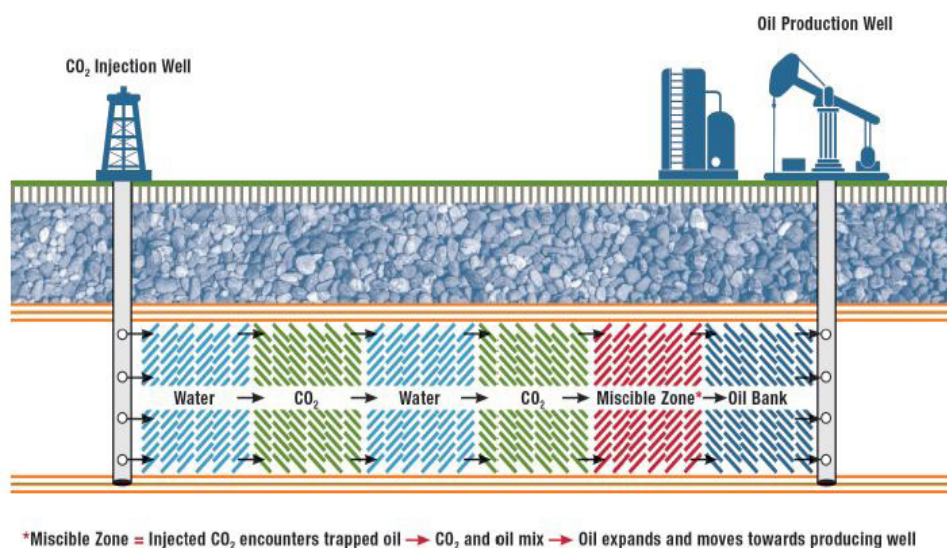
1. Impianti *CCS* commerciali:

- CO_2 catturata per lo stoccaggio permanente come parte di una operazione commerciale in corso;
- lo stoccaggio può essere effettuato da una terza parte o dal proprietario dell'impianto di cattura;
- generalmente hanno una vita economica simile a quella dell'impianto ospitante di cui catturano il CO_2 ;
- devono sostenere un ritorno commerciale durante il funzionamento e/o soddisfare un requisito normativo.

2. Impianti pilota e dimostrativi:

- CO_2 catturata per testare, sviluppare o dimostrare tecnologie o processi *CCS*;
- la CO_2 catturata può o non può essere immagazzinata in modo permanente;
- vita generalmente breve rispetto ai grandi impianti commerciali.

Il nuovo sistema di classificazione ha portato ad alcuni cambiamenti radicali; sei impianti precedentemente classificati come pilota e dimostrativi sono ora classificati come commerciali, i siti di *Brevik Norcem* e *Fortum Oslo Varme* sono ora due distinti impianti *CCS* commerciali separati (erano raggruppati come un unico impianto su larga scala, parte del *Norway Full Chain Project*), i siti petroliferi *Occidental Petroleum Corporation* e *White Energy's Plainview* e *Herford Ethanol* per il recupero migliorato del petrolio (*EOR*) sono ora classificati come due impianti commerciali separati. Infine sei progetti di trasporto e stoccaggio di CO_2 precedentemente classificati come impianti *CCS* su larga scala saranno elencati separatamente in una nuova sezione di censimento annuale denominata "*Hubs CO_2RE* " con la sua completa costruzione entro il 2021; fino a tale momento, questi *hub* saranno definiti "*Storage CO_2* ".



5.5.1 Stato globale degli impianti CSS attivi

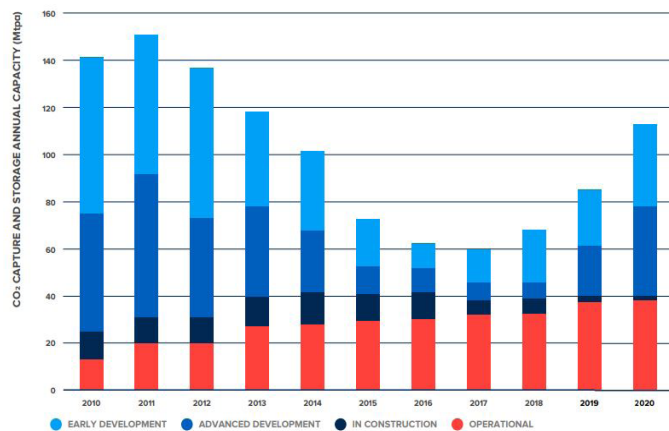
La figura presente nella successiva pagina (Fig.49) mostra lo sviluppo degli impianti CCS commerciali nel corso dell'ultimo decennio; la capacità totale è diminuita di anno in anno tra il 2011 e il 2017, molto probabilmente a causa di fattori prettamente economici a seguito della crisi finanziaria globale. Tuttavia, negli ultimi tre anni, vi è stata una forte crescita, uno dei grandi fattori che guidano la crescita del CCS è data dal *target* sempre più vicino della drastica riduzione delle emissioni nette di *gas serra (GHG)* a livello globale. Ciò è reso possibile grazie alla ratifica dell'Accordo di Parigi del 2015 il quale stabilisce una chiara ambizione di limitare il riscaldamento globale a meno di due gradi *Celsius*, successivamente rafforzata a limitare il riscaldamento a 1,5 gradi *Celsius* (Global CCS Institute,2021). Secondo il *Global Status of CCS Report 2021*, ad oggi vi sono 135 impianti CCS commerciali, di questi:

- 27 sono operativi;
- 2 hanno sospeso le operazioni, ufficialmente il primo a causa della crisi economica, il secondo a causa di un incendio;
- 4 sono in costruzione;

Figura 48 - Diagramma schematico rappresentante un piano di aumento del recupero d'olio (EOR) utilizzando la CO₂.
Fonte: (IEA, 2001)

- 59 sono in sviluppo avanzato e stanno raggiungendo lo stadio finale della progettazione ingegneristica (*FEED*);
- 44 sono in fase di sviluppo iniziale.

Figura 49 - Capacità di stoccaggio annuale di CO₂ (Mtpa) tra il 2010 e il 2021.
Fonte: (GCCS, 2001)



Tali valori rappresentano un positivo raddoppio delle strutture complessive mondiali con tecnologie CSS rispetto il *report* del 2020, con una capacità di cattura potenziale pari a 149,3 Mtpa. In ordine cronologico, gli ultimi 21 progetti con tecnologie CCUS sono stati annunciati negli ultimi 3 anni, principalmente in Europa e Stati Uniti, ma anche Australia, Cina, Corea del Sud, Medio Oriente e Nuova Zelanda con un potenziale investimento di oltre 27 miliardi di euro. Alcuni dei 27 impianti CCS sono attivi dagli anni '70, quando impianti di trattamento del *gas* naturale in *Texas* catturavano il carbonio fornendolo ai produttori locali di petrolio nelle operazioni *EOR*.

Il primo impianto a larga scala è stato commissionato nel giacimento di *gas Sleipner* in Norvegia nel 1996, che ad oggi ha immagazzinato oltre 20 Mt di CO₂ in una profonda falda acquifera salina; per motivi tecnici e commerciali il carbonio deve essere rimosso dal *gas* prima della vendita; l'incentivazione, anche economica di tale processo ha reso il progetto commerciabile e replicabile.

Gli impianti CCS attualmente in funzione possono catturare e stoccare in modo permanente circa 40 Mt di CO₂ ogni anno. Vi sono inoltre 34 impianti con tecnologie CCS su scala pilota e dimostrativa, impianti CCS in funzione o in fase di sviluppo e 8 centri di prova della tecnologia CCS. Dal censimento si rileva una forte presenza degli impianti negli Stati Uniti; 36 nuovi impianti programmati, in pro-

gettazione o in costruzione nel continente americano sono dovuti alla concessione di importanti crediti d'imposta (*45Q*), programma divenuto legge nel 2018. Inoltre alcuni impianti statunitensi beneficeranno del programma di incentivi economici (*California standard*) per i combustibili a basso contenuto di carbonio (*LCFS*). Gli *hub* e i *cluster* inoltre riducono significativamente il costo unitario di stoccaggio della CO₂ attraverso le economie di scala e offrono sinergie commerciali che riducono il rischio di investimento (Global CCS Institute, 2021).

Nome Impianto	Stato	Localizzazione	Entrata in esercizio	Output industriale	Capacità di cattura (Mtpa) max.	Tipologia di cattura	Tipologia di stoccaggio	Costo impianto (mln €)
Terrell Natural Gas Processing Plant (formerly Val Verde Natural Gas Plants)	Operativo	U.S.A.	1972	Raffinazione gas naturale	0,40	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	23,4
Enid Fertilizer	Operativo	U.S.A.	1982	Produzione di fertilizzanti	0,20	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	15,1
Shute Creek Gas Processing Plant	Operativo	U.S.A.	1986	Raffinazione gas naturale	7,00	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	72,9
Sleipner CO ₂ Storage	Operativo	Norvegia	1996	Raffinazione gas naturale	1,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo	84,8
Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale	Operativo	U.S.A.	2000	Gas naturale sintetico	3,00	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	1781,6
Core Energy CO ₂ -EOR	Operativo	U.S.A.	2003	Raffinazione gas naturale	0,35	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	27,0
Sinopec Zhongyuan Carbon Capture Utilisation and Storage	Operativo	Cina	2006	Prodotti chimici	0,12	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	19,6
Snohvit CO ₂ Storage	Operativo	Norvegia	2008	Raffinazione gas naturale	0,70	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo	49,9
Arkalon CO ₂ Compression Facility	Operativo	U.S.A.	2009	Produzione etanolo	0,29	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	67,0
Century Plant	Operativo	U.S.A.	2010	Raffinazione gas naturale	5,00	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	933,6
Bonanza BioEnergy CCUS EOR	Operativo	U.S.A.	2012	Produzione etanolo	0,10	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	13,2
PCS Nitrogen	Operativo	U.S.A.	2013	Produzione fertilizzanti	0,30	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	355,6
Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field CCS	Operativo	Brasile	2013	Raffinazione gas naturale	4,60	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	875
Lost Cabin Gas Plant	Sospeso	U.S.A.	2013	Raffinazione gas naturale	0,90	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	365,6
Coffeyville Gasification Plant	Operativo	U.S.A.	2013	Produzione fertilizzanti	1,00	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	73,2
Air Products Steam Methane Reformer	Operativo	U.S.A.	2013	Produzione idrogeno	1,00	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	0,1
Boundary Dam Carbon Capture and Storage	Operativo	Canada	2014	Produzione elettrica	1,00	Cattura post-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale	1442,7
Uthmaniyah CO ₂ -EOR Demonstration	Operativo	Arabia Saudita	2015	Raffinazione gas naturale	0,80	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	1145,7
Quest	Operativo	Canada	2015	Produzione idrogeno	1,20	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo	51,3
Karamay Dunhua Oil Technology CCUS EOR	Operativo	Cina	2015	Produzione chimica e Metanolo	0,10	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	17,8

Abu Dhabi CCS (Phase 1 being Emirates Steel Industries)	Operativo	UAE	2016	Produzione ferro e acciaio	0,80	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	12730,2
Petra Nova Carbon Capture	Sospeso	U.S.A.	2017	Produzione elettrica	1,40	Cattura post-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale	176,5
Illinois Industrial Carbon Capture and Storage	Operativo	U.S.A.	2017	Produzione etanolo	1,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo	9,3
CNPC Jilin Oil Field CO ₂ EOR	Operativo	Cina	2018	Raffinazione gas naturale	0,60	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	59408,0
Gorgon Carbon Dioxide Injection	Operativo	Australia	2019	Raffinazione gas naturale	4,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo	24357,2
Qatar LNG CCS	Operativo	Qatar	2019	Raffinazione gas naturale	2,10	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo	1018,4
Alberta Carbon Trunk Line (ACTL) with North West Redwater Partnership's Sturgeon Refinery CO ₂ Stream	Operativo	Canada	2020	Raffinazione del petrolio	1,40	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale	420,1

Tabella 6 - Elenco impianti CSS operativi.

Fonte: (Rielaborazione su dati Global CCS Institute, 2021)

Nome Impianto	Stato	Localizzazione	Entrata in esercizio	Output industriale	Capacità di cattura (Mtpa) max.	Tipologia di cattura	Tipologia di stoccaggio
Guodian Taizhou Power Station Carbon Capture	In costruzione	Cina	Fine 2021	Produzione elettrica	0,3	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale
Sinopec Shengli Power Plant CCS	Presto in sviluppo	Cina	Fine 2021	Produzione elettrica	1,00	Cattura post-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale
Acorn Scalable CCS Development	Presto in sviluppo	U.K.	Fine 2021	Raffinazione del petrolio	4,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Korea-CCS 1 & 2	Presto in sviluppo	Sud Korea	Fine 2021	Produzione di energia a carbone	1,00	In valutazione	Stoccaggio nel sottosuolo
Sinopec Qilu Petrochemical CCS	In costruzione	Cina	Fine 2021	Prodotti chimici	0,40	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale
Project Interseqt - Hereford Ethanol Plant	Presto in sviluppo	U.S.A.	Fine 2021	Produzione etanolo	0,30	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Project Interseqt - Plainview Ethanol Plant	Presto in sviluppo	U.S.A.	Fine 2021	Produzione etanolo	0,33	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Mustang Station of Golden Spread Electric Cooperative Carbon Capture	Sviluppo avanzato	U.S.A.	Quarto trimestre 2021	Produzione elettrica	1,50	Cattura post-combustione	In valutazione
Prairie State Generating Station Carbon Capture	Sviluppo avanzato	U.S.A.	Quarto trimestre 2021	Produzione elettrica	6,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Plant Daniel Carbon Capture	Sviluppo avanzato	U.S.A.	Quarto trimestre 2021	Produzione elettrica	1,80	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Dave Johnston Plant Carbon Capture	Presto in sviluppo	U.S.A.	Quarto trimestre 2021	Produzione elettrica	6,00	Ossi-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale
NextDecade Rio Grande LNG CCS	Presto in sviluppo	U.S.A.	Quarto trimestre 2021	Raffinazione gas naturale	5,00	Processo industriale	In valutazione
Nautical Energy Blue Methanol	Presto in sviluppo	Canada	Quarto trimestre 2021	Produzione metano	1,00	Ossi-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale
Net Zero Teesside - NET Power Plant	Presto in sviluppo	U.K.	Quarto trimestre 2021	Produzione elettrica	-	Processo industriale	In valutazione
PAU Central Sulawesi Clean Fuel Ammonia Production with CCUS	Presto in sviluppo	Indonesia	Quarto trimestre 2021	Produzione fertilizzanti	2,00	Processo industriale	In valutazione
Saskatchewan NET Power Plant	Presto in sviluppo	Canada	Quarto trimestre 2021	Produzione elettrica	0,95	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Tata Steel project EVEREST	Presto in sviluppo	Olanda	Quarto trimestre 2021	Produzione ferro e acciaio	-	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Acorn CCS	Presto in sviluppo	U.K.	Quarto trimestre 2021	Raffinazione del petrolio	0,34	Processo industriale	In valutazione
Barents Blue Clean Ammonia with CCS	Presto in sviluppo	Norvegia	Quarto trimestre 2021	Produzione cemento	2,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Petronas Kasawari Gas Field Development Project	Presto in sviluppo	Malesia	Quarto trimestre 2021	Raffinazione del petrolio	-	Processo industriale	In valutazione
Polaris CCS Project	Presto in sviluppo	Canada	Quarto trimestre 2021	Produzione idrogeno	0,75	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Caroline Carbon Capture Power Complex	Presto in sviluppo	Canada	Quarto trimestre 2021	Produzione elettrica	3,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Acorn Direct Air Capture Facility	Presto in sviluppo	U.K.	Quarto trimestre 2021	DAC	1,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Wabash CO ₂ Sequestration	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2022	Produzione fertilizzanti	1,75	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo

Acorn Direct Air Capture Facility	Presto in sviluppo	U.K.	Quarto trimestre 2021	DAC	1,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Wabash CO ₂ Sequestration	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2022	Produzione fertilizzanti	1,75	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Midwest AgEnergy Blue Flint ethanol CCS	Presto in sviluppo	U.S.A.	2022	Produzione etanolo	0,18	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
LafargeHolcim Cement Carbon capture	Presto in sviluppo	U.S.A.	Quarto trimestre 2022	Produzione cemento	0,72	Processo industriale	In valutazione
The ZEROS Project	In costruzione	U.S.A.	2023	Produzione energia dai rifiuti	1,50	Ossi-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale
San Juan Generating Station Carbon Capture	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2023	Produzione elettrica	6,00	Cattura post-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale
Santos Cooper Basin CCS Project	Sviluppo avanzato	Australia	2023	Raffinazione gas naturale	1,70	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Bridgeport Energy Moonie CCUS project	Sviluppo avanzato	Australia	2023	Raffinazione gas naturale	0,20	Cattura post-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale
OXY and Carbon Engineering Direct Air Capture and EOR Facility	Presto in sviluppo	U.S.A.	Quarto trimestre 2023	Aria	1,00	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale
Fortum Oslo Varme - Langskip	Sviluppo avanzato	Norvegia	2023-2024	Energia dai rifiuti	0,40	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Brevik Norcem - Langskip	Sviluppo avanzato	Norvegia	2023-2024	Produzione cemento	0,40	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Air Liquide Refinery Rotterdam CCS	Presto in sviluppo	Olanda	2024	Produzione elettrica	0,80	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
ExxonMobil Benelux Refinery CCS	Presto in sviluppo	Olanda	2024	Produzione idrogeno	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Shell Refinery Rotterdam CCS	Presto in sviluppo	Olanda	2024	Produzione idrogeno	0,90	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Air Products Refinery Rotterdam CCS	Presto in sviluppo	Olanda	2024	Produzione idrogeno	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Project Pouakai Hydrogen Production with CCS	Presto in sviluppo	Nuova Zelanda	2024	Produzione idrogeno	1,00	Processo industriale	In valutazione
Caledonia Clean Energy	Presto in sviluppo	U.K.	2024	Produzione elettrica e di idrogeno per trasporti	3,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Atkinson Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,14	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Fairmont Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,30	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Otter Tail Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,14	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Shenandoah Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,21	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Superior Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,15	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Wood River Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,31	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo

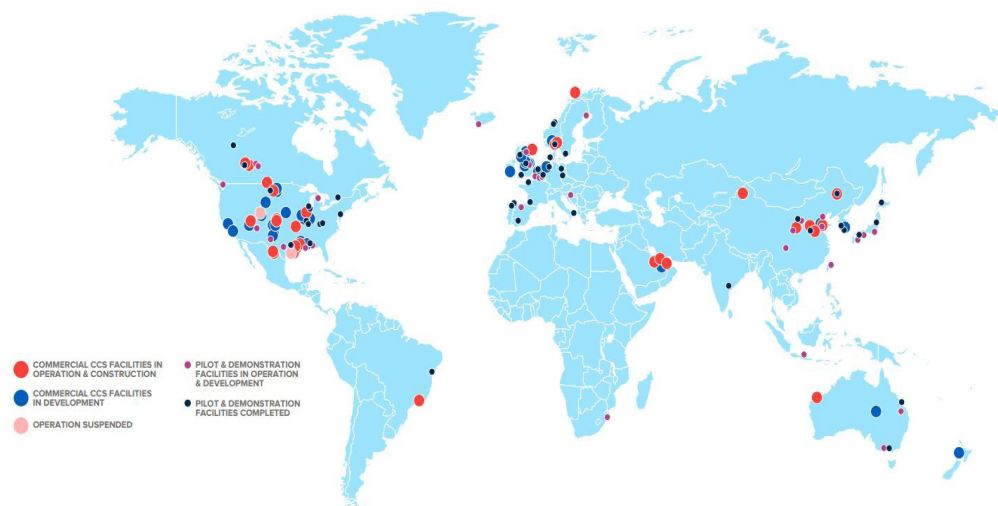
York Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,13	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Central City Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,30	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Aberdeen Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,12	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Casselton Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,43	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Galva Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,09	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Cal Capture	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione elettrica	1,40	Cattura post-combustione	Miglioramento processi recupero olio industriale
Goldfield Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,22	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Grand Junction Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,34	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Granite Falls Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,18	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Heron Lake Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,19	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Huron Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,09	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Lamberton Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,16	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Lawler Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,57	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Marcus Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,46	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Mason City Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,34	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Merrill Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,16	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Mina Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,40	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Nevada Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,26	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo

Norfolk Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,15	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Onida Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,23	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Plainview Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,32	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Redfield Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,17	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Sioux Center Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,19	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Steamboat Rock Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,23	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Watertown Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,37	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Wentworth Biorefinery Carbon Capture and Storage	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2024	Produzione etanolo	0,26	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Hydrogen 2 Magnum (H2M)	Presto in sviluppo	Olanda	2024	Produzione elettrica	2,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Lake Charles Methanol	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2025	Prodotti chimici	4,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Velocys' Bayou Fuels Negative Emission Project	Presto in sviluppo	U.S.A.	2025	Prodotti chimici	0,50	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
HyNet North West	Presto in sviluppo	U.K.	2025	Produzione idrogeno	0,80	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Preem Refinery CCS	Presto in sviluppo	Svezia	2025	Produzione idrogeno	0,50	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Coyote Clean Power Project	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2025	Produzione elettrica	0,86	Cattura post-combustione	In valutazione
Gerald Gentleman Station Carbon Capture	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2025	Produzione elettrica	3,80	Cattura post-combustione	In valutazione
Lake Charles Methanol	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2025	Prodotti chimici	4,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Dry Fork Integrated Commercial Carbon Capture and Storage (CCS)	Presto in sviluppo	U.S.A.	2025	Produzione elettrica	3,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Copenhill (Amager Bakke) Waste to Energy CCS	Sviluppo avanzato	Danimarca	2025	Trattamento dei rifiuti	0,50	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Net Zero Teesside - CCGT Facility	Presto in sviluppo	U.K.	2025	Produzione elettrica	6,00	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo
Abu Dhabi CCS Phase 2: Natural gas processing plant	Sviluppo avanzato	UAE	2025	Raffinazione gas naturale	2,30	Processo industriale	Miglioramento processi recupero olio industriale
Red Trail Energy BECCS Project	Presto in sviluppo	U.S.A.	2025	Produzione etanolo	0,18	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
The Illinois Clean Fuels Project	Presto in sviluppo	U.S.A.	2025	Prodotti chimici	2,70	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Clean Energy Systems Carbon Negative Energy Plant - Central Valley	Presto in sviluppo	U.S.A.	2025	Produzione elettrica	0,32	Ossi-combustione	In valutazione
Project Tundra	Sviluppo avanzato	U.S.A.	2025-2026	Produzione elettrica	3,60	Cattura post-combustione	Stoccaggio nel sottosuolo

Northern Gas Network H21 North of England	Presto in sviluppo	U.K.	2026	Produzione idrogeno	1,50	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Hydrogen to Humber Saltend	Presto in sviluppo	U.K.	2026-2027	Produzione idrogeno	1,40	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Acorn Hydrogen	Presto in sviluppo	U.K.	2025	Produzione idrogeno	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
HyNet North West - Hanson Cement CCS	Presto in sviluppo	U.K.	2025	Produzione cemento	0,80	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Repsol Sakakemang Carbon Capture and Injection	Presto in sviluppo	Indonesia	2026	Raffinazione gas naturale	2,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Ravenna Hub - ENI Power CCS	Presto in sviluppo	Italia	2026	Produzione elettrica	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Ravenna Hub - ENI Hydrogen CCS	Presto in sviluppo	Italia	2026	Produzione idrogeno	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
G2 Net-Zero LNG	Presto in sviluppo	U.S.A.	2026	Raffinazione gas naturale	4,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Net Zero Teesside - BP H2Teesside	Presto in sviluppo	U.K.	2026	Produzione idrogeno	2,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Net Zero Teesside - Suez Waste to Energy CCS	Presto in sviluppo	U.K.	2026	Treatmento dei rifiuti	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
ZERO Carbon Humber - Keady 3 CCS Power Station	Presto in sviluppo	U.K.	2027	Produzione elettrica	2,60	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Antwerp@C - Ineos Antwerp CCS	Presto in sviluppo	Belgio	2027	Prodotti chimici	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Antwerp@C - Exxonmobil Antwerp Refinery CCS	Presto in sviluppo	Belgio	2027	Prodotti chimici	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Antwerp@C - Borealis Antwerp CCS	Presto in sviluppo	Belgio	2027	Prodotti chimici	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Korea-CCS 1 & 2	Presto in sviluppo	Sud Corea	2027	Produzione idrogeno	1,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Drax BECCS Project	Presto in sviluppo	U.K.	2027	Produzione elettrica	4,00	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Humber Zero - VPI Immingham Power Plant CCS	Sviluppo avanzato	U.K.	2027	Produzione elettrica	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Ervia Cork CCS	Presto in sviluppo	Irlanda	2028	Produzione elettrica e raffinazione prodotti petroliferi	2,50	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Humber Zero - Phillips 66 Humber Refinery CCS	Sviluppo avanzato	U.K.	2028	Produzione idrogeno	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo
Antwerp@C - BASF Antwerp CCS	Sviluppo avanzato	Belgio	2030	Prodotti chimici	-	Processo industriale	Stoccaggio nel sottosuolo

Tabella 7 - Elenco impianti CSS in sviluppo, in costruzione e in sviluppo avanzato.

Fonte: (Rielaborazione su dati Global CCS Institute, 2021)



5.5.2 Considerazioni ed analisi sugli impianti CSS operativi e programmati

Figura 50 - Localizzazione mondiale degli impianti CSS.
 Fonte: (GCCS, 2021)

Il censimento degli impianti *CCS* operativi e di quelli in sviluppo, in costruzione e in sviluppo avanzato, ha permesso una analisi statistica al fine di quantificare lo Stato di fatto di tali tecnologie di catture e stoccaggio di carbonio e quali sono gli indirizzi futuri degli impianti programmati nei prossimi anni.

Lo stato dell'arte odierno mostra complessivamente 27 impianti *CCS* operativi, con entrata in esercizio compreso tra il 1972 e il 2020, evidenziando un picco nell'anno 2013 (Fig.51). La capacità complessiva di stoccaggio è pari a 39,26 Mtpa con una media di assorbimento ad impianto pari a 1,5 Mtpa (Global CCS Institute, 2021).

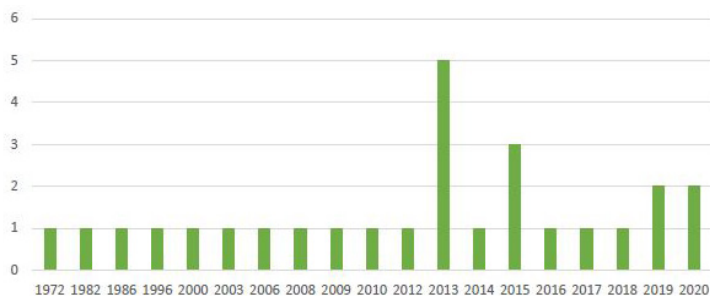


Figura 51 - Impianti CSS operativi - Anno di entrata in esercizio.

12. I costi degli impianti CSS operativi sono stati reperiti attraverso le seguenti fonti sitografiche:

- <http://www.globalenergy.org>
- <https://www.power-technology.com>
- <https://www.sequestration.mit.edu>
- <http://www.zeroco2.no>

Tali impianti, per il 48%, sono situati negli Stati Uniti d'America, il 15% in Canada e per il 7% in Norvegia, evidenza di come le tali tecnologie, favorite da incentivi economici governativi, siano soprattutto concentrate, per oltre la metà, in America (Fig.52). Relativamente al costo di impianto in esercizio si evidenzia un media sui 27 impianti operativi, pari a 3908,6 mln di €¹²; tale valore risente di impianti con *output* industriale innovativo quale, ad esempio, la produzione di idrogeno, e non risultano direttamente proporzionali alla loro capacità di stoccaggio di carbonio. Alcuni valori elevati sono invece rapportati alla tipologia di *output* industriale e alla capacità di cattura, in Mtpa, di CO₂.

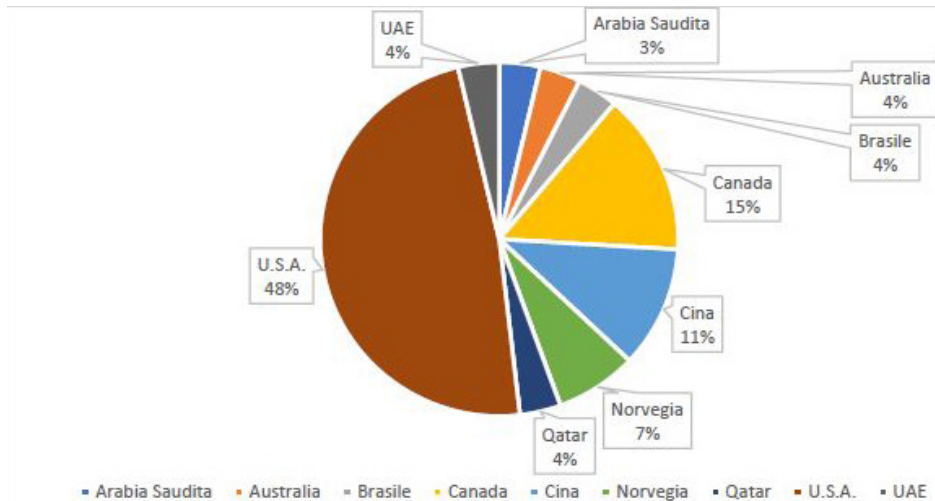
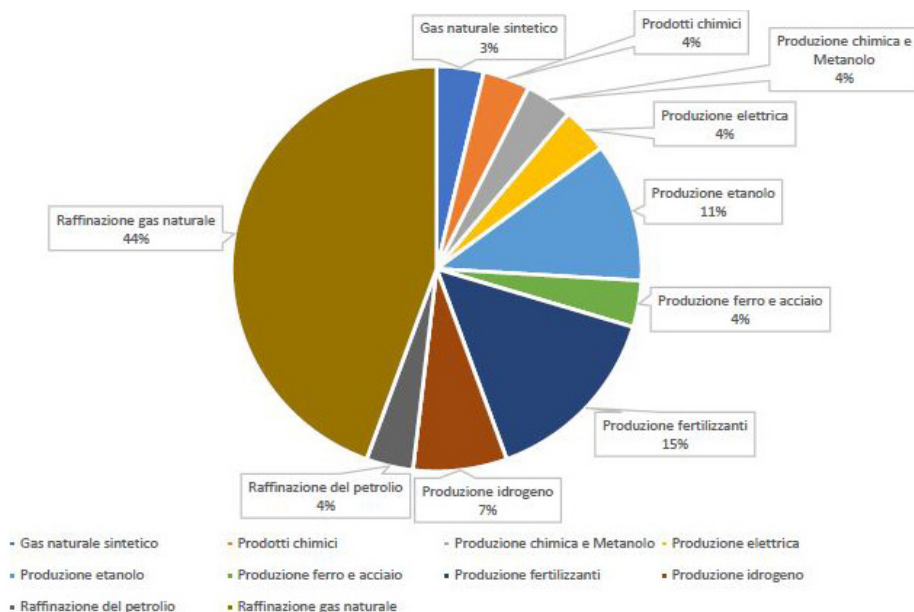


Figura 52 - Impianti CSS operativi - Localizzazione geografica.

Una specifica analisi di ricerca relativa agli *output* industriali di tali impianti CSS operativi, ha evidenziato come ad oggi siano i processi per la raffinazione del *gas* naturale e dei derivati del petrolio quelli ove tali impianti operano massivamente; tale risultato risulta essere correlato con la localizzazione geografica in quanto in America, la maggior parte degli impianti CSS operano per l'estrazione e la raffinazione del petrolio e derivati. Ridotti risultano gli impianti volti per il settore edilizio quale i cementifici e la produzione di ferro e acciaio (Fig.53). Lo stato di programmazione 107 impianti CSS globali suddivisi per fasi temporali di realizzazione in "in costruzione", "sviluppo avanzato", "presto in sviluppo", permette di definire la linea di indirizzo cui tali tecnologie, spinta da incentivi statali dei singoli Stati di appartenenza forniscono. Tali impianti risultano essere, per la maggior parte, in previsione di entrata di esercizio, tra il



quarto trimestre del 2021 e il 2025, ciò dimostra una forte volontà a livello globale di incentivare la costruzione e l'adozione di tali tecnologie con tempistiche di realizzazione inferiore, nella media, ai 5 anni.

Si evidenzia inoltre un incremento, rispetto il *Report Global Status of CCS* del 2020, in incremento del 75% della programmazione e realizzazione di nuovi impianti.

La capacità complessiva di stoccaggio attualmente stimata è pari a 124,09 Mtpa con una media di assorbimento ad impianto pari a 1,3 Mtpa (Fig.54).

Figura 53 - Impianti CSS operativi - Output industriale.

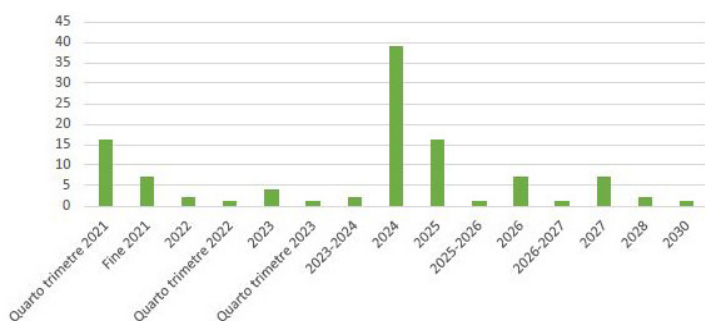


Figura 54 - Impianti CSS programmati - Anno di entrata in esercizio.

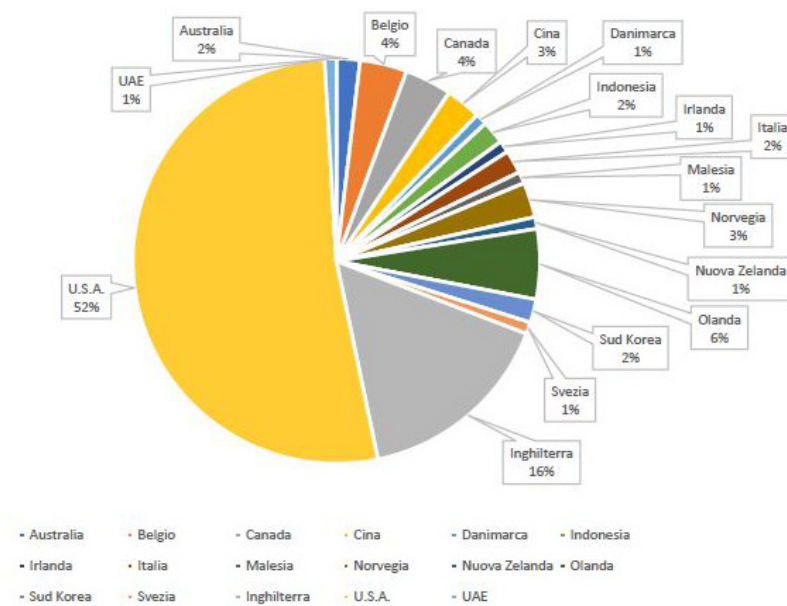


Figura 55 - Impianti CSS programmati - Localizzazione geografica.

I nuovi impianti programmati si confermano essere localizzati per oltre la metà negli Stati Uniti d'America, con un forte incremento nel continente Europeo (complessivamente il 33% del totale), nello specifico in Inghilterra (17 impianti) (Fig.55).

In relazione agli *output* industriali, (Fig.56) si denota una linea programmatica completamente diversa dagli impianti operativi, dettata dalle politiche globali di lotta e mitigazione di cambiamenti climatici e di produzioni di energia da fonti rinnovabili al fine di decarbonizzare i settori antropici maggiormente emettitori di carbonio. Per il 33% la produzione di etanolo risulta essere il fine industriale maggiormente presente nella programmazione dei nuovi impianti, seguito dalla produzione elettrica (24%) e di idrogeno (13%).

Si segnalano inoltre *output* industriali relativi al settore delle costruzioni, quali cementifici (4%) e produzione di ferro e acciaio (1%), al settore del trattamento e gestione dei rifiuti con relativa produzione di energia (4%) e tecnologie CSS a energia negativa quali il *Direct Air Capture* - (DAC), pari a 4% del totale.

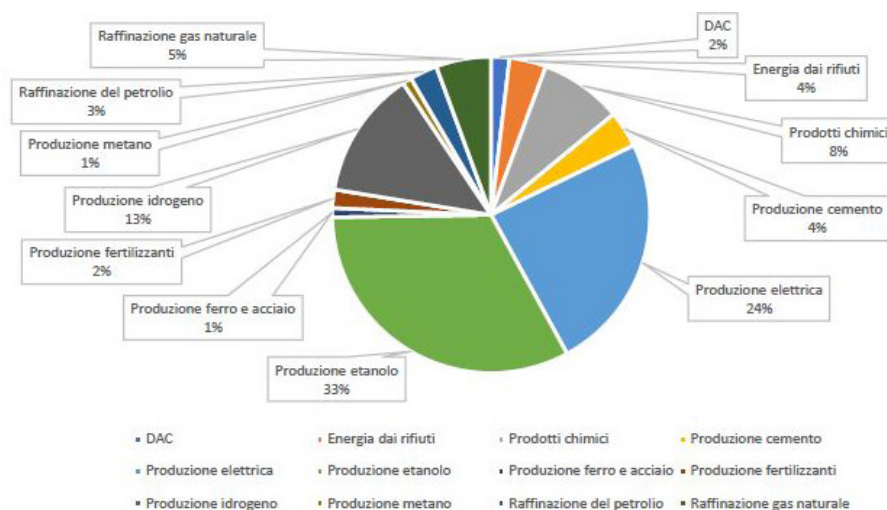


Figura 56 - Impianti CSS programmati - Output industriale.

5.5.3 Policy e regolamentazioni

Il contributo del *CCUS* alla transizione energetica varierà considerevolmente tra i paesi. Nello scenario di sviluppo sostenibile, la Cina vede il più grande dispiegamento di tecnologie *CCUS*, che rappresentano circa un quarto di tutta la CO₂ catturata cumulativamente fino al 2070. Anche l'Europa e il Nord America, altre due regioni chiave per l'attività *CCUS*, registrano un forte aumento della capacità di cattura. Dal 2030, il *CCUS* verrà distribuito su ampia scala in altre parti dell'Asia, in particolare in India e in Medio Oriente.

Gli Stati Uniti attualmente sono *leader* globale nelle tecnologie *CCUS*, che rappresentano oltre il 60% delle tecnologie ad oggi disponibili per la cattura del carbonio, sostenuta da nuovi incentivi politici (stanziamento nel 2021 da parte del Congresso di oltre 228,3 milioni di dollari) e da un ambiente favorevole agli investimenti tra i quali la regolamentazione 45Q (Committee on Climate Change, 2019). La regolamentazione 45Q fornisce un credito d'imposta basato sulle prestazioni alle centrali elettriche e agli impianti industriali che catturano e immagazzinano CO₂ che verrebbe altrimenti emessa nell'atmosfera. In particolare, il credito è legato all'installazione e all'uso di attrezzature per la cattura del carbonio su fonti industriali, centrali elettriche a *gas* o a carbone, o strutture che rimuovono direttamente il carbonio dall'atmosfera. Il carbonio catturato può essere utilizzato nello sviluppo di prodotti compresi i materiali da costruzione,

i biocarburanti, il recupero migliorato del petrolio (*EOR*), oppure stoccato in formazioni geologiche saline profonde. In tutti i casi, per ricevere il credito, la CO₂ deve essere immagazzinata geologicamente o essere utilizzata come materia prima o componente di prodotti. Di seguito si elencano i processi di funzionamento (Global CCS Institute, 2021):

- per incentivare la cattura del carbonio, i crediti d'imposta vengono indirizzati direttamente all'azienda che esegue la cattura (generalmente il proprietario dell'impianto di cattura). Questo processo riguarda tutti i settori che emettono CO₂ da attività antropiche come gli impianti di etanolo, le acciaierie, le centrali elettriche a carbone o a gas, centrali elettriche a bioenergia, impianti di cattura diretta dell'aria, etc.;
- una volta catturato, l'impianto può scegliere di immagazzinare permanentemente il carbonio in formazioni saline profonde o conservare la CO₂ fornendola alle aziende che la utilizzeranno nella produzione di prodotti che vanno dalla plastica, al cemento, ad altri materiali commerciali e recupero migliorato del petrolio (*EOR*). Per altre forme di utilizzo, i prodotti devono anche fornire una riduzione netta delle emissioni certificata;
- il valore del credito d'imposta dipende dal tipo di stoccaggio della CO₂; il carbonio usato per lo stoccaggio salino riceve 50 dollari per tonnellata di CO₂ immagazzinata, mentre l'utilizzo in prodotti, incluso l'*EOR*, riceve 35 dollari per tonnellata di CO₂;
- lo stoccaggio salino guadagna un credito di stoccaggio di CO₂ più alto rispetto ad un suo possibile utilizzo poiché le operazioni saline non generano un prodotto commerciabile, e quindi richiedono un livello di incentivo più alto per essere economici.

La maggior parte delle fonti di emissioni fisse negli Stati Uniti si trova vicino a potenziali siti di stoccaggio geologico: l'85% delle emissioni proviene da impianti situati entro 100 km da un sito e l'80% entro 50 km. Lo stoccaggio potenziale totale è stimato a 800 Gt, pari a circa 160 anni di emissioni attuali del settore energetico degli Stati Uniti. Il Mare del Nord è al centro dello sviluppo delle tecnologie *CCUS* in Europa; due strutture immagazzinano già 1,7 MtCO₂/anno e almeno altri 11 progetti con una capacità combinata di quasi 30 Mt/anno sono in sviluppo. Quasi il 70% delle emissioni derivanti dalla produzione di energia e dall'industria si trova entro 100 km da un potenziale sito di stoccaggio di cui il 50% entro 50 km.

La capacità totale di stoccaggio potrebbe raggiungere i 300 Gt, pari a circa 80 anni di emissioni del settore energetico dell'Europa. Due attualmente sono i siti a larga scala che operano attualmente in Europa: *Sleipner* e *Snøhvit*, entrambi situati in Norvegia e che catturano CO₂ dalla lavorazione del *gas* naturale e la sua reiniezione in siti di stoccaggio dedicati. La loro capacità combinata è di 1,7 Mt/anno. Inoltre sono presenti numerosi progetti pilota a scala ridotta come, ad esempio, il progetto *CarbFix* in Islanda (cattura di carbonio dal fluido geotermico e dall'aria e immagazzinamento in formazioni basaltiche con la mineralizzazione entro due anni) entrato in esercizio nel mese di Settembre 2021, il progetto pilota *Drax CCS* nel Regno Unito (attualmente sperimentando la cattura di carbonio dalla generazione di energia basata sulla biomassa), il progetto *STEPWISE* in Svezia, il progetto *CIUDEN* in Spagna (incentrato principalmente sulle tecnologie di stoccaggio) e un impianto geotermico con tecnologia *CCS* in Croazia (generazione di elettricità geotermica da siti salini). Per il settore energetico in Europa nel 2020 le emissioni di carbonio sono state pari a 3,9 Gt suddivise per settore energetico (32%), settore dei trasporti (25%), dalle industrie manifatturiere (20%) e dall'edilizia e dall'agricoltura (18%) (Global CCS Institute, 2021).

Le emissioni industriali nel 2020 sono state di circa 800 MtCO₂ provenendo in gran parte da industrie ad alta intensità energetica, tra cui ferro e acciaio (26%), cemento (19%) e prodotti chimici (18%). Circa il 32% delle emissioni di questi tre settori proveniva da processi industriali rispetto che alla combustione di fonti fossili.

L'ambiente di investimento per le tecnologie *CCUS* in Europa è migliorato, in particolare grazie all'adozione di obiettivi climatici più ambiziosi e a un maggiore sostegno politico per le tecnologie energetiche pulite. La Commissione europea ha fissato un obiettivo di zero emissioni nette all'interno della sua strategia per il clima a lungo termine per il 2050, facente parte delle strategie del *Green Deal* europeo recentemente annunciato, una serie di iniziative politiche elaborate dalla Commissione per raggiungere tale obiettivo. Anche il Regno Unito ha adottato un obiettivo di zero emissioni nette entro il 2050, seguendo il parere del *Committee on Climate Change*.

Lo stesso ha suggerito una serie di opzioni di decarbonizzazione, tra cui l'efficienza energetica e delle risorse, l'elettrificazione estensiva, lo sviluppo di un'economia dell'idrogeno e il *CCUS* (Committee on Climate Change, 2019).

Tra le misure politiche recenti figurano il Fondo per l'innovazione dell'UE, il quale mette a disposizione fino a 10 miliardi di € (11,9

miliardi di USD) per sostenere la dimostrazione di tecnologie innovative a basse emissioni di carbonio, e il programma *Horizon 2020* dell'UE (70,2 miliardi di EUR/83 miliardi di USD) dedicato alla ricerca e l'innovazione che copre una serie di argomenti tra cui la decarbonizzazione del sistema energetico. Le politiche nazionali facenti parte dell'UE includono il programma olandese *SDE++*, una sovvenzione operativa destinata a sostenere la diffusione di energia sostenibile, tecnologie, pratiche di riduzione del carbonio e finanziamenti *CCUS* nel Regno Unito.

Il governo del Regno Unito, nello specifico, ha annunciato l'istituzione di un fondo infrastrutturale *CCS* di almeno 800 milioni di sterline (1 miliardo di dollari) per supportarlo in almeno due siti, uno entro il 2025 e uno entro il 2030 (UK Government, 2020).

Questo rinnovato clima di investimenti ha contribuito a un numero crescente di progetti *CCUS* in fase di sviluppo in Europa, tra cui diversi *hub* industriali mirati:

- *Porthos*, Paesi Bassi: il porto di *Rotterdam* emette attualmente circa 28 MtCO₂ all'anno. Nell'ambito del progetto *Porthos*, l'Autorità del porto di *Rotterdam* e due società energetiche statali, *Gasunie* ed *EBN*, hanno unito le loro competenze in materia per sviluppare impianti di stoccaggio di carbonio da 2 Mt a 5 Mt all'anno sotto il Mare del Nord. La capacità di stoccaggio potrebbe essere aumentata fino a 10 Mt/anno o più, consentendo al sito di immagazzinare CO₂ provenienti da altri paesi europei (*Rotterdam CCUS, 2020*) (*OGCI, 2019*).

- Progetto *Longship CCS*, Norvegia: questo progetto consiste in due impianti di cattura di CO₂ e un *hub* di trasporto e stoccaggio. Le aziende *Fortum Oslo Varme* (*waste-to-energy*) e *Norcem* (produzione di cemento) lavorano congiuntamente al fine di costruire impianti di cattura del carbonio presso i propri impianti, consegnando il *gas* al consorzio *Northern Lights* (*Equinor, Shell e Total*), che si occuperà del trasporto e dello stoccaggio permanente della CO₂ nel Mar del Nord. Sebbene questo progetto non si concentri su un polo industriale esistente (attualmente si sta pianificando di catturare 0,8 Mt l'anno), ha il potenziale per aumentare la capacità di trasporto e stoccaggio fino a 5 Mt/anno (capacità di stoccaggio totale intorno a 100 Mt) e fornire una soluzione di stoccaggio per gli impianti industriali in tutta Europa (*Northern Lights, 2019*).

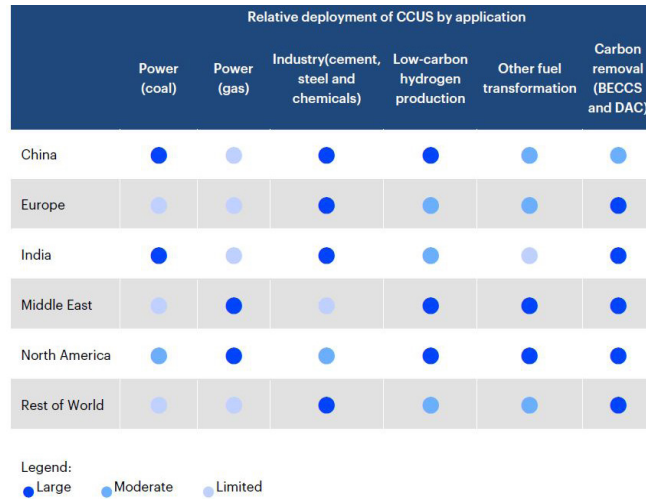
- *Zero Carbon Humber*, Regno Unito: Questo progetto mira attualmente a convertire la rete del *gas* nella regione di *Humber (UK)* in idrogeno, catturando CO₂ dall'impianto di idrogeno e implementando anche da una serie di fonti di emissione (tra cui un progetto *BECCS* proposto da *Drax*) con lo stoccaggio *offshore* nel Mare del Nord (capacità di cattura iniziale equivalente a 10 MtCO₂/anno) (*Northern Lights*, 2019).

- *Net Zero Teesside*, Regno Unito: Questo progetto è integrato con tecnologie *CCUS* che mirano a immagazzinare fino a 6 Mt/anno di CO₂ da una serie di industrie ad alta intensità energetica situate a *Teesside (UK)*. La regione ospita cinque delle 25 aziende con i più alti parametri di emissioni di carbonio del Regno Unito e rappresentano il 5,6% delle emissioni industriali totali della nazione. Il sito di stoccaggio, con una capacità di almeno 1 Gt, è situato nel Mare del Nord (*Net Zero Teesside*, 2019).

- *Ervia Cork*, Irlanda: Lo scopo di questo progetto è ridurre le emissioni di carbonio proveniente dai settori dell'elettricità, del riscaldamento, dell'industria, dell'agricoltura e dei trasporti in Irlanda. Catturerà inizialmente 2,5 MtCO₂ da due centrali *turbogas* a ciclo combinato (440 MW ciascuna) e una raffineria di petrolio (con una capacità di 75000 barili al giorno).

Guardando l'Oriente, la Cina ospita i più grandi asset di centrali elettriche a carbone, cemento, ferro e acciaio e impianti chimici, pertanto *retrofit CCUS* saranno importanti per far sì che le emissioni di questi impianti vengano mitigate e successivamente neutralizzate. Vi è un grande potenziale per lo stoccaggio di carbonio nelle province occidentali e settentrionali, di tipo *offshore*; circa il 45% delle emissioni di carbonio da industrie ad alta intensità energetica è entro i 50 km da potenziali siti di stoccaggio individuati e il restante 65% delle emissioni entro 100 km. In previsione, lo stoccaggio potenziale potrebbe ammontare a 425 Gt, pari a circa 40 anni di emissioni del settore energetico della Cina (*ERVIA*, 2020).

Figura 57 - Distribuzione mondiale di CCUS secondo la grandezza di utilizzo e il relativo settore di applicazione.
 Fonte: (IEA, 2020)



5.5.4 Capacità di stoccaggio globali

Stoccare CO₂ significa prevederne l'iniezione in un profondo serbatoio geologico sotterraneo di roccia porosa ricoperto da uno strato impermeabile di rocce, sigillando il serbatoio e impedendone la migrazione verso l'alto. Esistono diversi tipi di serbatoi adatti allo stoccaggio di carbonio, quali, ad esempio, formazioni saline profonde e giacimenti esauriti di petrolio e gas con la maggiore capacità. Le formazioni saline profonde sono composte da strati di rocce porose e permeabili saturate di acqua salata (salamoia), che sono diffuse sia nei bacini sedimentari *onshore* che *offshore*. I giacimenti di petrolio e gas esauriti sono formazioni rocciose porose che hanno intrappolato petrolio greggio o gas per milioni di anni prima di essere estratti e che possono intrappolare allo stesso la CO₂ catturata. Quando il carbonio viene iniettato in un serbatoio (posizionato a una profondità superiore a 800 metri), lo attraversa, riempiendo lo spazio dei pori rimanendo permanentemente intrappolato nel serbatoio attraverso diversi meccanismi: intrappolamento strutturale da parte di sigilli, intrappolamento per solubilità nell'acqua dei pori, intrappolamento residuo in singoli o gruppi di pori e intrappolamento minerale reagendo con le rocce del serbatoio per formare minerali carbonati. La natura e il tipo dei meccanismi di intrappolamento del carbonio efficaci ed accessibili variano seconda delle condizioni geologiche del sito (Global CCS Institute, 2021). La CO₂ iniettata reagisce con i componenti chimici per formare mi-

nerali stabili, intrappolandola. Tuttavia, sono necessari ulteriori *test* e ricerche per sviluppare tale tecnologia, in particolare per determinare il fabbisogno idrico, che può essere considerevole (IEAGHG, 2017). Esistono grandi formazioni basaltiche in diverse regioni del mondo e per lo stoccaggio sono stati presi in considerazione sia siti *onshore* che *offshore*. Tali formazioni esistono anche in luoghi, come l'India, dove potrebbe esserci una capacità di stoccaggio convenzionale limitata, aprendo potenzialmente nuove opportunità per le tecnologie *CCUS*. La capacità tecnica complessiva di stoccaggio di CO₂ nel sottosuolo di tutto il mondo è incerta, in particolare per gli acquiferi salini dove è ancora necessaria una maggiore caratterizzazione ed esplorazione scientifica della tematica. La figura sottostante (Fig.58), sintetizza le risorse di stoccaggio dei principali giacimenti di petrolio e *gas* sulla base degli ultimi rapporti nazionali e internazionali, considerando la massa di petrolio o *gas* in loco, o già prodotta, (liberando la capacità di stoccaggio), e la differenza di densità tra la CO₂, il petrolio e il *gas*. Mentre i giacimenti di petrolio e di *gas* hanno la capacità di soddisfare i requisiti globali di stoccaggio della CO₂ globale, la loro distribuzione geografica è relativamente limitata. Ci sono molti casi in cui la distanza tra una fonte di CO₂ e il più vicino giacimento di petrolio o di *gas* è ampia, aumentando il costo del trasporto.

Formazioni rocciose simili a quelle dei giacimenti di petrolio o *gas*, ma che contengono acqua di scarsa qualità invece di idrocarburi,

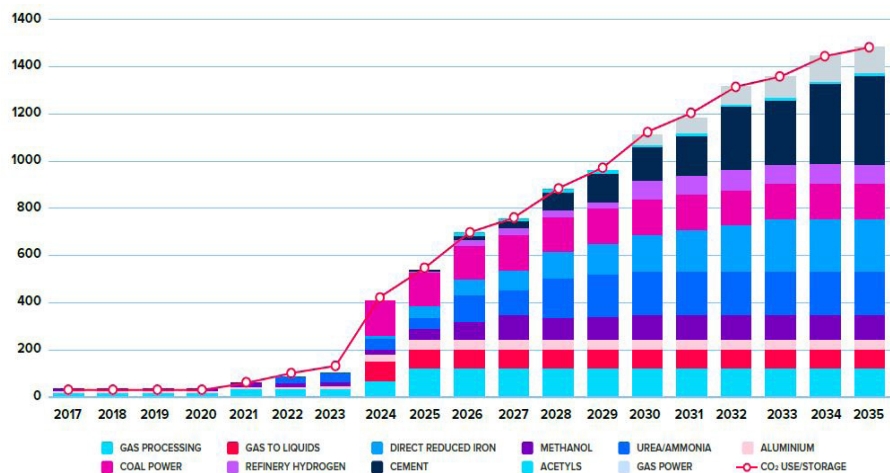
Figura 58 - Capacità di stoccaggio di CO₂ mondiale nel sottosuolo (formazioni saline e ex giacimenti di petrolio) in bilioni di tonnellate.
Fonte: <http://www.CO2stored.co.uk>.



sono molto più diffuse; queste formazioni principalmente saline sono comuni e hanno vaste risorse di stoccaggio di CO₂, diverse migliaia di miliardi di tonnellate di CO₂ rispetto alle centinaia di miliardi nei giacimenti di petrolio e di gas.

Purtroppo, dato che le formazioni saline non hanno alcun valore economico, non vi è stato quasi nessun investimento nella ricerca relativamente al loro potenziale di stoccaggio. La possibilità che il carbonio immagazzinato nel sottosuolo possa fuoriuscire ha sollevato dubbi sull'efficacia delle tecnologie CCUS come misura di mitigazione del clima e preoccupazioni da parte dell'opinione pubblica sui rischi per la sicurezza. Decenni di esperienza su larga scala ha dimostrato che il rischio di infiltrazioni di CO₂ all'atmosfera o la contaminazione delle acque sotterranee può essere gestita in modo efficace. La probabilità e il potenziale impatto di tali eventi sono stati studiati in modo completo e sono risultati generalmente bassi, con rischi in diminuzione nel tempo. Tuttavia, un'attenta selezione del sito di stoccaggio e una valutazione approfondita sono fondamentali per garantire lo stoccaggio sicuro e permanente della CO₂ riducendone i rischi. Una valutazione approfondita include una modellazione dettagliata del comportamento previsto della CO₂ nel tempo, insieme al monitoraggio, alla misurazione e alla verifica continui. Un completo e dettagliato quadro giuridico e normativo risulta essere importante al fine di garantire un'adeguata selezione del sito e un funzionamento sicuro dello stesso. Tale approccio metodologico esiste già in molti paesi; gli sviluppatori di progetti e le autorità pubbliche devono affrontare le preoccupazioni dell'opinione pubblica attraverso un efficace coinvolgimento delle parti interessate. Il costo di sviluppo dei siti di stoccaggio sarà un fattore importante per la rapidità di implementazione del CCUS nei prossimi decenni in alcune regioni, anche se generalmente si prevede che i costi saranno più bassi rispetto a sistemi di cattura diretta di carbonio.

Il costo dello sviluppo di nuovi siti, soprattutto dove lo stoccaggio di carbonio non è stato effettuato prima, è molto incerto, in particolare per quanto riguarda l'effetto delle proprietà e delle caratteristiche del giacimento. In alcuni casi, i costi di archiviazione possono essere piuttosto bassi. Infatti, quando la CO₂ viene immagazzinata come conseguenza delle operazioni nella tecnologia EOR, il costo di stoccaggio può essere effettivamente negativo al netto dei ricavi incrementali dalla produzione di petrolio (Global CCS Institute, 2021).



5.5.5 Esempi di impianti CSS attivi e in sviluppo avanzato

Il sito della centrale elettrica esistente *Drax*, Regno Unito, ha subito negli anni modifiche di *output* energetico, passando da una centrale a carbone a una alimentata a biomassa, l'aggiunta di tecnologie *CCS* ridurranno ulteriormente la relativa *carbon footprint* dell'impianto stesso. Il sito ha l'obiettivo di catturare 4 Mtpa di CO₂ dalle sue quattro unità di generazione di energia, lo stoccaggio sarà nel Mar del Nord, con una data di entrata in esercizio per il 2027. *Enchant Energy* sta sviluppando un progetto *CCS* per *San Juan Generating Station* alimentata a carbone, nel *New Mexico, USA*; fino a 6 Mt di CO₂, catturata attraverso la tecnologia di cattura post-combustione, verrebbe usata per l'*EOR* nel bacino di *Permian* (The Crown Estate, 2020).

In Australia, la società energetica *Santos* ha annunciato di aver iniziato studi preliminari per un progetto *CCS* al fine di catturare CO₂ dalla lavorazione del *gas* naturale al suo impianto di *gas Moomba*, ottenendo, nel mese di Dicembre 2021, la fattibilità ambientale.

Il progetto catturerà e immagazzinerà nel sottosuolo 1,7 Mt di CO₂ annuo; l'azienda ha dichiarato costi di abbattimento di meno di 30 *AUD* dollari per tonnellata (22 dollari USA) (Qamar energy, 2020).

La società *Lafarge Holcim* sta esaminando la fattibilità della cattura del carbonio nel suo cementificio in Colorado, negli Stati Uniti; questo progetto, in collaborazione con *Svante, Oxy Low Carbon Ventures* e *Total*, catturerebbe 0,72 Mt di CO₂ all'anno (Venture Global LNG, 2021). Usando la CO₂ catturata per *EOR*, riceverebbe un'importante quota di crediti d'imposta e diverrebbe uno dei poli con tecnologia

Figura 59 - Proiezione a lungo termine delle capacità di cattura delle tecnologie *CCS* (Mtpa).

Fonte: (Qamar energy, GCCSI)

di cattura a larga scala di Svante. Il progetto ZEROS comporta lo sviluppo di due innovativi impianti di per ossicombustione da rifiuti a energia (WtE) in Texas, USA con un obiettivo di cattura di 1,5 Mt di CO₂ all'anno; tale processo assicura un'un'alta concentrazione di

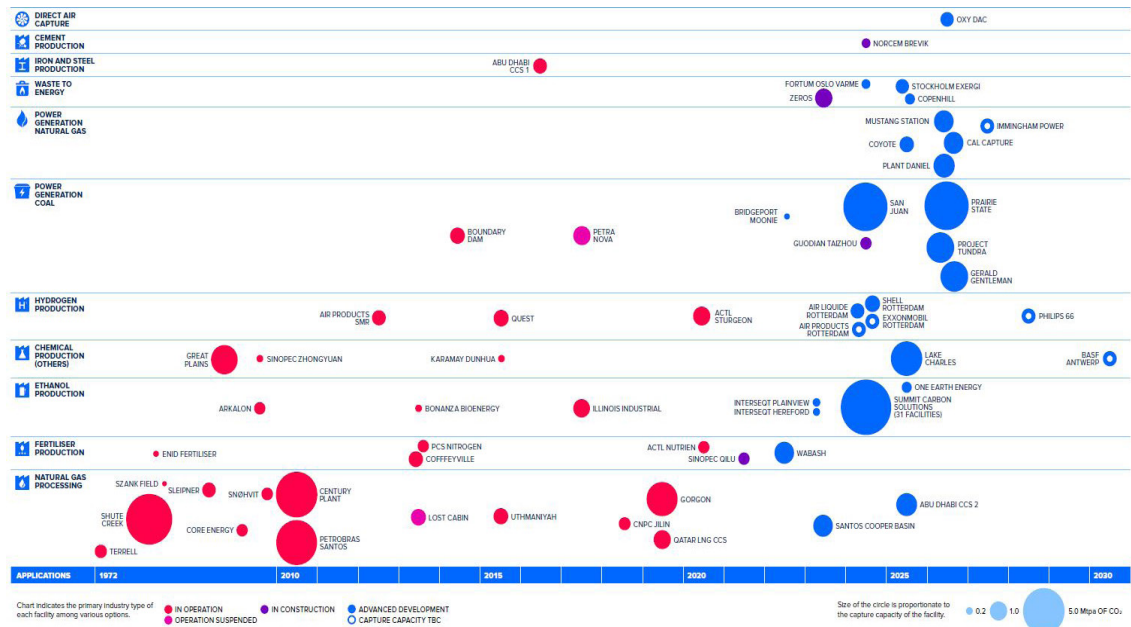


Figura 60 - Gli impianti CSS applicati a diversi settori e rappresentati per potenza di cattura della CO₂ e stato attuale (operativi, in costruzione, in sviluppo avanzato e sospesi).
 Fonte: (GCCS, 2021)

CO₂ nei suoi gas di scarico, rendendo la cattura del carbonio più economico che negli impianti convenzionali.

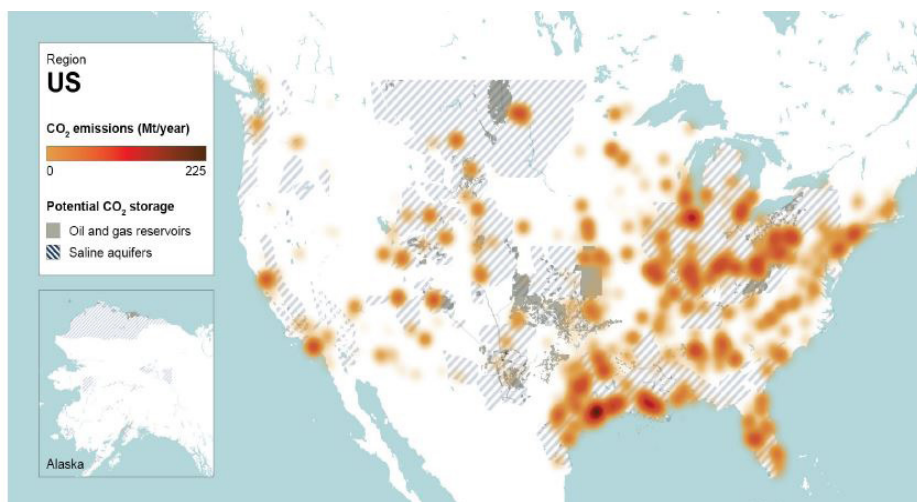
Una politica più forte per incentivare un rapido investimento in CCS è attesa da tempo, l'attuale censimento di impianti commerciali fornisce esempi di mix di politiche basate su incentivi, sgravi fiscali e caratteristiche del progetto che hanno incoraggiato gli investimenti.

Tipicamente, i costi di progettazione e costruzione della CCS sono nell'ordine delle centinaia di milioni, a volte miliardi, di dollari, le aziende private e alcune in co-partecipazione pubblica, sono più propense a investire dove c'è una grande iniezione di capitale da parte del governo, attraverso finanziamenti diretti a fondo perduto, per sostenere investimenti azionari del settore privato (Global CCS Institute, 2021).

5.5.6 Panoramica di dettaglio per aree geografiche

5.5.6.1 America

Nel 2020, lo slancio della *CCS* ha continuato a crescere in tutto il continente americano; vi è un impegno sostenuto e crescente per le tecnologie *CCS* al fine di contrastare, con una azione politica e delle imprese generale, i cambiamenti climatici a fronte anche degli impatti economici della pandemia e il recente crollo dei prezzi del petrolio. Questo impegno è riflesso nel crescente numero di progetti *CCS* in sviluppo, così come gli annunci di grandi imprese, sempre più frequenti, sulla profonda riduzione delle emissioni di CO₂ per raggiungere la neutralità carbonica (Bellona, 2016).



Esempio di applicazione di partenariato pubblico-privato in America è stato l'avvio del sito *Alberta Carbon Trunk Line (ACTL)* in Canada; il progetto offre una visione visionaria del futuro dello sviluppo industriale a basse emissioni di carbonio. Durante il 2020 sono stati annunciati e aggiunti nel *database* dei progetti dell'Istituto, solo dagli Stati Uniti, 12 nuovi impianti su larga scala, in gran parte incentivati dal credito d'imposta *45Q* e dallo *standard* per i carburanti a basse emissioni di carbonio (*LCFS*) della California. Attualmente nella nazione vi sono 38 impianti commerciali in sviluppo, costruzione o funzionamento pari alla metà del totale globale. Le forti preoccupazioni per le fluttuazioni del prezzo del petrolio e la necessità quindi di mitigare questo rischio, hanno fatto sì che un maggior numero di progetti includa lo stoccaggio o opzioni di stoc-

Figura 61 - Dati potenziali in America di stoccaggio CO₂ basati su CO₂StoP.
Fonte: (DOE/NETL, 2015)

caggio, utilizzando sia lo stoccaggio geologico dedicato in formazioni saline che il recupero migliorato del petrolio (*EOR*). Il credito d'imposta *45Q* e l'*LCFS* hanno permesso questa tendenza, ponendo una riduzione delle emissioni di CO_2 , progetti inoltre sostenuti inoltre dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti (*US DOE*). Nell'anno fiscale 2020, il Congresso ha stanziato 217,8 milioni di dollari per la cattura, lo stoccaggio e utilizzo, impiegando complessivamente più di 270 milioni di dollari in accordi di cofinanziamento per studi di ingegneria e progettazione (*FEED*), per le tecnologie di cattura di CO_2 da fonti industriali e di *gas* naturale, *DAC* e per le tecnologie di stoccaggio geologico (OGCI, 2019).

Nel 2020 sono state raggiunte diverse obiettivi significativi, tra i quali (Global CCS Institute, 2021):

- l'impianto *Shell Quest*, che cattura la CO_2 da un'unità di produzione di idrogeno presso la raffineria *Scotford* in Alberta, Canada, ha superato 5 Mt di CO_2 immagazzinati nei suoi primi 5 anni di esercizio;
- l'impianto *Boundary Dam 3* in *Saskatchewan*, Canada ha ad oggi catturato e immagazzinato più di 3,6 Mt di CO_2 ;
- al largo del Brasile, l'impianto *CCS* di *Petrobras Santos Basin*, ha superato i 14 milioni di tonnellate di CO_2 immagazzinate dall'entrata in esercizio.

Si segnalano contestualmente anche alcune battute d'arresto per gli impianti *CCS*:

- alla fine del 2018, un incendio si è verificato presso l'impianto di *gas Lost Cabin* in *Wyoming, USA*, con conseguente arresto temporaneo dell'impianto *CCS* dell'impianto. Il funzionamento dovrebbe essere ripristinato entro la fine del 2021, e l'unità *CCS* catturerà e immagazzinerà nuovamente CO_2 al ritmo di circa 0,7 Mt di tonnellate all'anno.
- *Petra Nova*, l'impianto *CCS* collegato all'unità 8 della centrale *W.A. Parish* vicino a *Houston, Texas*, è entrato in funzione nel 2017 con grandi riconoscimenti per la celere costruzione rispettando al tempo stesso il budget imposto. All'inizio 2020 a causa della crisi economica mondiale causata dalla pandemia globale e da un simultaneo crollo dei prezzi del petrolio, ne è stata decisa la sospensione dell'esercizio dell'impianto.

Le tecnologie *CCS* sono state integrate nella politica energetica e climatica nazionale con il sostegno sia dei democratici che dei repubblicani, con obiettivi storici importanti quali:

- l'inclusione della *CCS* come tecnologia chiave nel *Select Report* sul cambiamento climatico redatto dai democratici alla Camera dei Rappresentanti (House Select Committee on the Climate Crisis, 2020);
- il sostegno *bipartisan* a numerose proposte di legge per migliorare la legislazione del credito di imposta *45Q*.

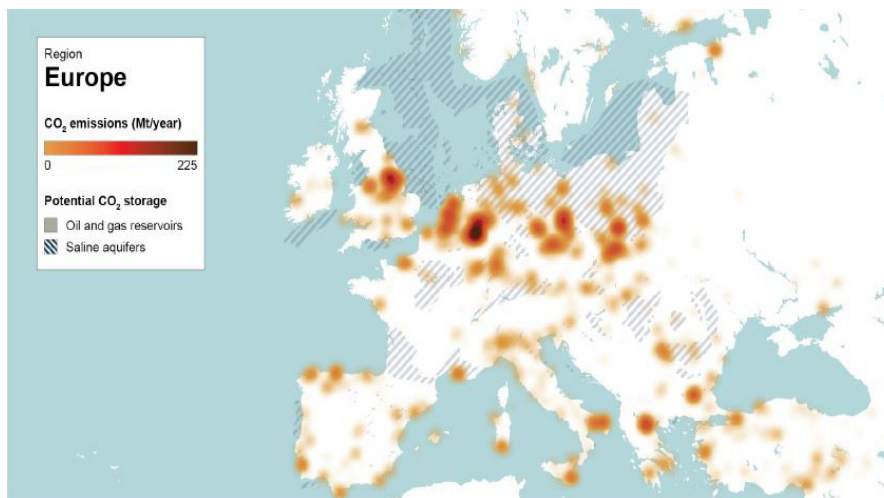
Tali tecnologie inoltre rendono collaborativi tra di loro diversi stati, come, ad esempio, la California, che si sta impegnando a porre in campo tutte le politiche necessarie al fine di rendere più velocemente possibile il processo di decarbonizzazione dei settori energetici. Diversi stati si sono impegnati a raggiungere emissioni nette zero, come la Louisiana, il quinto più grande emettitore di CO₂ negli Stati Uniti e sede di un grande polo industriale (DOE/NETL, 2015).

5.5.6.2 Europa

Con l'introduzione di forme legislative volte a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 nell'UE e i piani di ogni singolo stato membro per stabilire obiettivi importanti entro il 2030, strategico diviene l'utilizzo di impianti *Carbon Capture and Storage* - *CCS* per accelerare tale progresso (Zero Carbon Humber, 2019).

Figura 62 - Dati potenziali in Europa di stoccaggio CO₂ basati su CO₂StoP.

Fonte: (DOE/NETL, 2015)



Alla fine del mese di ottobre 2020 gli enti *BP, Eni, Equinor, National Grid, Shell* e *Total* hanno annunciato la formazione della *Northern Endurance Partnership*. Con la *BP* che agisce come operatore, il gruppo svilupperà infrastrutture di trasporto e stoccaggio *offshore* nel Mare del Nord del Regno Unito per servire i *cluster* industriali *Net Zero Teesside* e *Zero Carbon Humber*. Lo stoccaggio utilizzerà l'*Endurance*, una falda acquifera salina situata nel Mare del Nord meridionale, una delle riserve di stoccaggio di CO_2 più grandi e meglio conosciute del Regno Unito; per offrire una soluzione scalabile di trasporto e stoccaggio di CO_2 con una riduzione drastica dei costi, attualmente compreso tra i 600 e gli 800 dollari per tonnellata di anidride carbonica con l'obiettivo di raggiungere i 300 dollari per tonnellata entro il 2030, il progetto scozzese *Acorn* si è concentrato per la realizzazione di una petrolifera e di raffinazione del *gas* nelle vicinanze del sito stesso, minimizzando così i costi. Il progetto mira a fornire sia la tecnologia *CCS* che alla produzione di idrogeno, essenziali per soddisfare gli obiettivi climatici del governo scozzese e del Regno Unito (CO2StoP, 2020).

Athos, uno sviluppo guidato da *Gasunie, EBN, Port of Amsterdam* e *Tata Steel*, mira a sviluppare una rete di trasporto e una rete di stoccaggio nella zona industriale del Canale del Mare del Nord nei Paesi Bassi; la CO_2 sarà trasportata in mare aperto per lo stoccaggio in giacimenti di petrolio e *gas* del Mare del Nord o per lo stoccaggio in siti geologici dedicati; una piccola parte di carbonio invece sarà venduta per i processi di orticoltura in serra. Dopo uno studio di fattibilità all'inizio del 2020, il progetto ha esplorato le potenziali opzioni di stoccaggio ricevendo *feedback* positivi dagli operatori industriali, incoraggiando quindi il progresso in tali tecnologie. Negli ultimi mesi sono emersi altri nuovi progetti europei - diversi dai paesi non tipicamente associati alla *CCS*; durante il mese di giugno 2020 in Italia in una conferenza stampa al termine degli Stati Generali, servita a definire le politiche dopo il blocco per la pandemia da *COVID-19*, l'ex premier italiano Giuseppe Conte ha fatto riferimento ai piani industriali per costruire uno dei centri di cattura e stoccaggio di CO_2 più grandi del mondo presso gli impianti ENI nel porto di Ravenna, nel Nord Italia (*Progetti scientifico-sperimentali - Le ricerche scientifiche ENI*). Le emissioni di CO_2 saranno catturate dalle centrali elettriche e industriali in funzione e immagazzinate in giacimenti di *gas offshore* esauriti. Sarebbe uno degli impianti *CCS* operativi in Europa al di fuori dell'area del Mare del Nord (CO2StoP, 2020).

In Danimarca, la *CCS* è stata presentata come un importante strumento di decarbonizzazione; *INEOS*, *Maersk Drilling*, *Wintershall Dea* e *GEUS* hanno ricevuto un finanziamento dal Programma danese di sviluppo e dimostrazione della tecnologia *CCS* al fine di sostenere un progetto per immagazzinare CO₂ nel campo *Nini* di *INEOS*. In parallelo il progetto *Cinfracap* in Svezia svilupperà proposte per infrastrutture *CCS* ad accesso aperto, con l'intento di sviluppare strategie per il trasporto di CO₂ da diversi impianti industriali nella Svezia occidentale, attraverso il porto di *Göteborg*, per lo stoccaggio attraverso il sito di *Northern Lights* in Norvegia. Tale progetto beneficerà di una *partnership ad hoc* tra *Göteborg Energy*, *Nordion Energy*, *Preem*, *St1*, *Renova* e l'Autorità Portuale di *Göteborg*. Il progresso tecnologico europeo è stato accompagnato da significative iniziative politiche in tutta il continente. L'iniziativa europea senza precedenti del *Green Deal* Europeo e la prima Legge Europea sul clima, convertendo l'impegno politico per la neutralità climatica in un obbligo legale, ha portato allo sviluppo di un maggiore sostegno politico dell'UE per le tecnologie *CCS*. Il mese di luglio 2020 ha visto il lancio del primo bando per progetti nell'ambito del Fondo per l'innovazione dell'UE da 10 miliardi di euro; uno dei più grandi programmi per lo sviluppo di tecnologie a basse emissioni di carbonio. Si prevede che sarà un'importante fonte di finanziamento per la pianificazione, costruzione e funzionamento in tutta l'UE delle tecnologie *CCS*. Un quadro UE completo per la certificazione delle rimozioni di carbonio è previsto per il 2023; ciò potrà incentivare tecnologie innovative e complementare al *CCS* come il *BECCS* e il *DAC*, su larga scala.

5.5.6.3 Asia & Australia

Nonostante la pandemia globale da *COVID-19* e i bassi prezzi di petrolio e *gas*, i progetti *CCS* e gli sviluppi politici nella nel continente hanno proseguito ininterrottamente. L'Australia e il sud-est asiatico sono importanti produttori di idrocarburi, mentre i paesi dell'Asia orientale sono grandi consumatori di energia e ospitano una grande industria manifatturiera. Anche se l'Asia ospita due soli impianti *CCS* commerciali operativi, diversi nuovi progetti commerciali sono entrati nella fase di sviluppo iniziale o di progettazione preliminare. Sono presenti progetti pilota nel trattamento del *gas* naturale, nella produzione di fertilizzanti, di idrogeno, di energia dal trattamento dei rifiuti, dal trattamento del ferro e dell'acciaio, del carbone e del cemento. La diffusione dei progetti *CCS* in tutti i settori riflette la diversità economica nella produzione di energia e nelle industrie manifatturiere della regione (Wei et al, 2015).

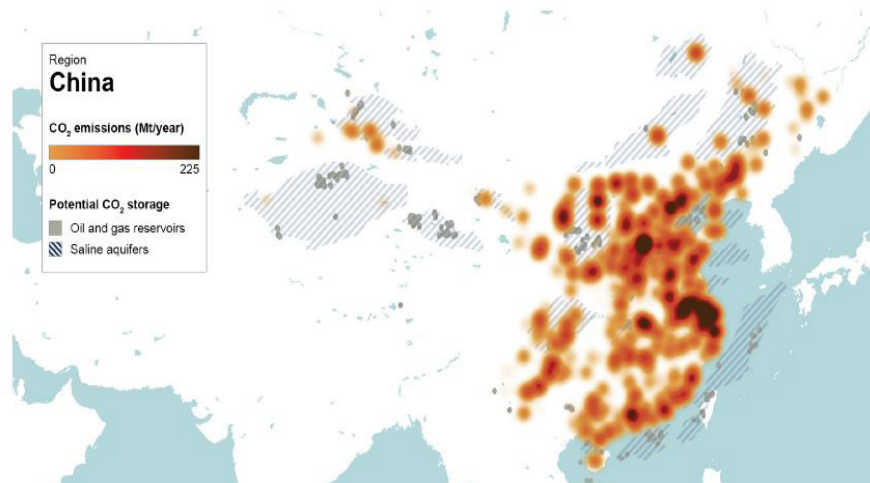


Figura 63 - Dati potenziali in Cina di stoccaggio CO₂ basati su CO₂StoP. Fonte: (IEA, 2019)

Attualmente i principali sviluppi nel continente asiatico, nell'ambito di impianti con tecnologie CCS, sono riassunti nei seguenti punti:

- Singapore a partire dal mese di aprile 2020 ha adottato una strategia di sviluppo a basse emissioni, riconoscendo nel potenziale della CCS il perseguimento degli obiettivi della neutralità climatica e carbonica (Singapore National Climate Change, 2020);
- la Malesia attualmente sta lavorando su un quadro normativo nazionale per il riutilizzo di *ex* giacimenti di *gas* al fine di stoccare CO₂ nel sottosuolo;
- il Giappone ha inserito la CCS nella sua strategia di innovazione ambientale (NEDO, 2020), lanciando, nel mese di Giugno 2021, l'Asia CCUS Network, per supportare la conoscenza e la condivisione di tale tecnologia (Ministry of Economy METI, 2021);
- la Cina si è impegnata a diventare *carbon neutral* entro il 2060 e sta lavorando al suo quattordicesimo piano quinquennale (Pearl, 2020), l'uso della CCS sarà probabilmente parte delle azioni raccomandate innescando un rinnovato interesse per tale tecnologia;
- il governo australiano ha emanato numerose leggi politiche volte a dare slancio e supporto alle tecnologie CCS.

Importante risultano essere le collaborazioni tra nazioni del continente asiatico, sia enti pubblici che privati, come aziende fortemente interessate a ridurre le proprie emissioni di CO₂ nell'atmosfera; esempio ne è il Giappone, il quale attraverso il *Joint Crediting Mechanism (JCM)*, sta cercando di sostenere progetti CCS in Indonesia, alla luce di un crescente consenso nella regione verso i quadri normativi CCS, necessari al fine di intraprendere azioni politiche per

la mitigazione dei cambiamenti climatici a lungo termine. *Petronas*, nel mese di Giugno 2021, ha annunciato un progetto *CCS* da 2,5 Mtpa a *Sakekamang*, nel sud dell'Isola di Sumatra; questa struttura catturerà la CO₂ dagli impianti di lavorazione del *gas* di proprietà *Repsol* per poi stoccarla permanentemente nelle vicinanze dei giacimenti petroliferi. Seppur vi sono attori interessati a tali progetti dalle aree pubblico-private, attualmente in Indonesia non esistono leggi e regolamenti specifici per le tecnologie *CCS*, definendo una barriera burocratica a tale avanzamento di tecnologia. L'Australia è attualmente l'unico solo paese del continente asiatico con un quadro normativo completo sulle tecnologie *CCS*. I progetti di ricerca nelle tecnologie *CCS* e *CCU* vertono sempre più verso la ricerca di nuovi *output* energetici per il riutilizzo della CO₂ stoccata precedentemente nel sottosuolo o in *ex* giacimenti petroliferi. Un consorzio industriale è stato selezionato dalla *New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)* per condurre una ricerca sul riciclaggio di CO₂ dalla città di *Tomakomai, Hokkaido*. Il consorzio studierà la produzione di metanolo (20 tonnellate al giorno) dalla CO₂ catturata e di idrogeno, ottenuto dalle raffinerie o dall'elettrolisi dell'acqua all'interno gli impianti *CCS* esistenti di *Tomakomai* (CO2StoP, 2020). L'integrazione degli impianti *CCU* con gli impianti *CCS* porterebbe a una ottimizzazione del processo industriale in quanto si potrà condividere l'unità di cattura del carbonio migliorando quindi l'interoperabilità di entrambi gli impianti. Nel campo delle sperimentazioni internazionali *Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC)*, *Petronas*, e *JX Nippon Oil & Gas Exploration Corporation* hanno deciso di condurre uno studio congiunto sullo sviluppo di giacimenti di *gas* ad alta CO₂ con tecnologie *CCS*. Lo studio esaminerà la possibilità di produzione di idrogeno da *gas* naturale e la sua successiva esportazione in Giappone. In India, temi chiave per uno sviluppo a larga scala dei processi *CCS*, volti alla decarbonizzazione dei settori maggiormente emettitori di CO₂, risultano essere lo sviluppo delle capacità tecnologiche e sperimentali e il coinvolgimento delle parti interessate, supportati dal finanziamento dalle banche, per lo sviluppo di tecnologie *green*. I settori dell'acciaio e del cemento in India perseguono attivamente le tecnologie *CCS* come parte delle loro ambizioni di riduzione delle emissioni di carbonio. Nel settembre 2020, una "Carta dell'industria" per emissioni quasi zero entro il 2050 è stata concordata da sei aziende indiane; l'azienda *Reliance Industries Limited* ha annunciato un piano per sviluppare la tecnologia *CCS* come parte

del suo impegno a ridurre le emissioni di carbonio nell'atmosfera, il Dipartimento indiano di Scienza e Tecnologia ha invece istituito un programma nazionale di ricerca sullo stoccaggio della CO₂ e, in agosto 2020, ha proposto un concorso al fine di presentare proposte per sostenere la ricerca, lo sviluppo, i progetti pilota e dimostrativi di tali tecnologie. Facenti parte di tale iniziativa risultano essere la *Accelerating CCS Tecnologie (ACT)*, per la quale l'India ha impegnato un milione di euro per sostenere lo sviluppo; i progetti selezionati sono stati programmati per iniziare il processo di cantierizzazione nel settembre 2021 (*Accelerating CSS Technologies, 2020*).

Nel mese di febbraio 2020, il governo australiano ha emanato direttive politiche verso la ricerca di nuove metodologie CCS al fine di ridurre le emissioni di CO₂ dai settori industriali; con l'introduzione di finanziamenti agevolati ed incentivi, gli operatori dei settori avranno maggiore supporto finanziario al fine di impiegare tali metodologie nei loro siti industriali. A maggio 2020, il governo australiano ha pubblicato un quadro legislativo (*Investment Roadmap Discussion Paper*) al fine di accelerare l'adozione di tecnologie a basse emissioni, introducendo modifiche in merito allo stoccaggio di CO₂ nel sottosuolo per permettere l'utilizzo delle aree rientranti nel *Commonwealth* e il territorio giurisdizionale della nazione; ciò ha unificato e semplificato la regolamentazione dell'iniezione di CO₂ nel sottosuolo a livello transfrontaliero.

Il governo australiano ha poi annunciato una serie di misure nel mese di settembre 2020, progettate per sbloccare "...nuove tecnologie al fine di aiutare a ridurre i costi, creare nuovi posti di lavoro, migliorare l'affidabilità e ridurre le emissioni di tali tecnologie" (*Morrison, 2020*).

Queste misure, tra l'altro, includono:

- un fondo di sviluppo di tecnologie CCUS di 50 milioni di AUD;
- 70,2 milioni di AUD per stabilire un centro di esportazione dell'idrogeno;
- ulteriori 1,62 miliardi di AUD per l'*Australian Renewable Energy (ARENA)* e la *Clean Energy Finance Corporation (CEFC) (CEFC)* e un'espansione della loro ricerca per permettere loro di sostenere una gamma più ampia di tecnologie, compresa la CCS.

Queste misure richiedono emendamenti legislativi che devono essere approvati dal Parlamento australiano. L'annuncio di cui sopra è stato seguito da vicino dal rilascio di dichiarazione del governo australiano sulle tecnologie a basse emissioni; questo documento ha delineato cinque tecnologie prioritarie e obiettivi economici

ambiziosi per rendere tali efficaci dal punto di vista dei costi come le tecnologie esistenti, compresa la *CCS* con l'adozione di un costo pari a 20 dollari *AUD* per tonnellata di CO₂ per la compressione della CO₂, trasporto e stoccaggio. Altre tecnologie prioritarie incluse nella dichiarazione sono state la produzione di idrogeno pulito con un prezzo massimo di 2 dollari australiani per chilogrammo, la ricerca e sperimentazione di materiali a basso contenuto di carbonio come l'acciaio a basse emissioni e la produzione di alluminio. Il medesimo governo, mese di Dicembre 2021, ha annunciato il progetto *Moonie*, in grado di catturare e iniettare nel sottosuolo circa 1 Mtpa di carbonio proveniente da centrali elettriche nell'area del *Queensland* sudorientale. Tale progetto, in cantierizzazione dei primi mesi del 2023, verrà completato entro il 2028 (Global CCS Institute, 2021).

5.5.6.4 Arabia Saudita & UAE

Nonostante le sfide economiche poste dal calo dei prezzi del petrolio e del *gas* negli ultimi 12 mesi, i paesi del *Gulf Cooperation Council (GCC)* - Arabia Saudita, *Kuwait*, Emirati Arabi Uniti, *Qatar*, *Bahrain* e *Oman*, stanno emergendo come attori importanti per il breve e medio termine nelle tecnologie *CCS* globali. Con meno dell'1% della popolazione mondiale, questi paesi producono circa un quarto della produzione mondiale annuale di petrolio (Crippa et al, 2019); con la domanda mondiale di petrolio e *gas* che, secondo le previsioni, dovrebbe ridursi nel perseguimento delle emissioni nette zero, vi è una maggiore attenzione alla diversificazione industriale e alla decarbonizzazione e tutti i paesi del *GCC* al fine di raggiungere tale obiettivo. L'impegno ad agire sul cambiamento climatico si sta intensificando, il *CCS* è una forte componente dei piani nazionali a basse emissioni di carbonio dei paesi del *GCC*, insieme alle energie rinnovabili, alla riduzione dell'uso del *gas* naturale e del carbone contestualizzata a una maggiore efficienza energetica (Omar Visione, 2040) (Government of Saudi Arabia, 2016) (General Secretarian For Development Planning, 2008). La necessità di una quantità significativamente maggiore di CO₂ per sostituire il *gas* naturale nella produzione di petrolio assistita da processi *EOR* è un altro ambito di ricerca nei progetti *CCS* (Hydrocarbon Processing, 2018). Quasi tre quarti delle emissioni di CO₂ del Medio Oriente provengono da solo due stati: Arabia Saudita ed Emirati Arabi Uniti (*UAE*) (Crippa et al, 2019), sono entrambi membri di *Mission Innovation* e attivi nell'iniziativa ministeriale *Clean Energy CCS*. Entrambi gli stati hanno strategie nazionali ambiziose per diversificare e decarbonizzare

le loro economie, il Regno dell'Arabia Saudita Araba Saudita mira a ridurre ulteriormente le emissioni di CO₂ dalle operazioni di estrazione petrolifera al fine di raggiungere la *carbon footprint* più bassa al mondo (Saudi Aramco, 2020).

L'attuale attività degli impianti CCS è distribuita in tre stati, UAE, Arabia Saudita e Qatar:

- circa 0,8 Mtpa di CO₂ vengono catturati dall'acciaieria *Emirates* ad *Abu Dhabi* come Fase I del progetto *ADNOC Al Reyadah*; i piani per la Fase II sono in corso, con l'obiettivo di catturare altri altri 2,3 Mtpa dal 2025, dall'impianto di lavorazione di gas di *Shah Shah*, sempre per uso di tecnologie *EOR*;
- l'obiettivo di *ADNOC* di ridurre la sua intensità operativa di CO₂ del 25% entro il 2030 include piani per crescere con la fase III del progetto *Al Reyadah* per catturare altri 2 Mtpa dall'impianto *Habshan* e dall'impianto di trattamento del gas di *Bab*;
- la produzione di petrolio di *Uthmaniyah* della *Saudi Aramco* (parte del *Ghawar*) utilizza 0,8 Mtpa di CO₂ catturata dall'impianto di gas naturale liquido di *Hawiyah* (Saudi Aramco, 2020);
- l'impianto CCS della *Saudi Basic Industries Corporation (SABIC)* presso suoi impianti di etilene a *Jubail* cattura circa 0,5 Mtpa per l'uso stesso nella produzione di metanolo e urea;
- la *Qatar Fuel Additive Company* cattura 0,2 Mtpa nella sua raffineria di metanolo;
- la *Qatar Gas* ha annunciato recentemente i piani industriali per aggiungere la tecnologia CCS al suo impianto di liquefazione del gas di *Ras Laffan* (Paraskova, 2019), con un tasso di cattura iniziale di 2,1 Mtpa che dovrebbe crescere fino a 5 Mtpa entro il 2025.

Una caratteristica spesso trascurata delle emissioni di gas serra del Medio Oriente è che le emissioni di CO₂ dalla produzione di energia sono più del doppio rispetto a quelle dell'industria, comprese le attività petrolifere e del gas (IEA, 2020a). Poiché i piani di decarbonizzazione prevedono la sostituzione del carbone e del petrolio con il gas naturale, eolico e solare, la CCS potrebbe avere un ruolo strategico e di maggior rilievo, visto i promettenti risultati, nella produzione di energia. Alcune stime relative ai progetti CCS in tali aree prevedono volumi di CO₂ catturati che aumentano da circa 2 Mtpa nel 2019 a oltre 100 Mtpa entro il 2040. I prossimi anni potrebbero vedere una espansione senza precedenti delle tecnologie CCS in Medio Oriente, specialmente negli Emirati Arabi Uniti e in Arabia

Saudita; cresce anche l'attenzione nel settore della produzione di idrogeno a basse emissioni di carbonio; con il suo vasto potenziale di stoccaggio sotterraneo (Consoli, 2018), le abbondanti risorse di *gas* naturale e le capacità di produzione, il Medio Oriente potrebbe usare la sua esperienza di sviluppo nelle tecnologie *CCS* e la sua localizzazione strategica, per sviluppare un'industria di esportazione di idrogeno pulito.

5.5.7 Sviluppo in corso e *output* energetici

Il carbonio può essere utilizzato come *input* per una gamma di prodotti e servizi; tra le potenziali applicazioni dell'uso della CO₂ si include l'uso diretto, dove la CO₂ non è chimicamente alterata (non convertita) e la trasformazione della CO₂ ad un prodotto utile (convertita). Oggi circa 230 Mt di CO₂ vengono utilizzati a livello globale ogni anno, il maggior consumatore ne risulta essere l'industria dei fertilizzanti, che utilizza 125 Mt/anno di CO₂ come materia prima nella produzione di urea, seguita dall'industria petrolifera e del *gas*, che consuma circa 70-80 Mt all'anno per metodologia *EOR*. Altri usi commerciali della CO₂ comprendono la produzione di alimenti e bevande, il raffreddamento, il trattamento delle acque e le serre, dove viene utilizzata per stimolare la crescita delle piante.

Di seguito si illustrano i principali settori ove derivano importanti *output* energetici dalla sottrazione, stoccaggio e riutilizzo della CO₂ (Global CCS Institute, 2021).

5.5.7.1 Industria del cemento e dell'acciaio

Il settore dell'industria produce complessivamente circa otto miliardi di tonnellate di emissioni dirette di CO₂ all'anno, i settori del cemento, del ferro e dell'acciaio e della chimica sono responsabili di circa il 70%. Se si aggiungono le emissioni indirette, l'industria rappresenta quasi il 40% delle emissioni globali di CO₂ antropogeniche (IEA, 2019b). La domanda di prodotti industriali prodotta crescerà almeno fino alla metà di questo secolo, guidata da una crescita demografica pari a due miliardi. Considerando gli attuali impegni nei *Nationally Determined Contributions* (NDC) per limitare le emissioni e migliorare l'efficienza energetica, l'IEA stima che le emissioni dirette di CO₂ dell'industria cresceranno da otto a quasi 10 miliardi di tonnellate all'anno, entro il 2060. Per raggiungere un risultato climatico coerente con l'Accordo di Parigi, queste emissioni dovrebbero invece scendere a 4,7 miliardi di tonnellate entro il

2060 (IEA, 2019c). Circa 1,9 miliardi di tonnellate di emissioni di CO₂ dell'industria sono un sottoprodotto delle reazioni chimiche all'interno del processo di produzione; suddette non possono essere evitate usando tecnologie di produzione fattibili. Per esempio, il 65% della produzione di cemento, è creato nel momento in cui il carbonato di calcio (calcare) viene convertito in ossido di calcio (calce), generando forti emissioni di carbonio nell'atmosfera. Altri esempi di processi industriali con emissioni significative di CO₂ sono la lavorazione del gas naturale; la produzione di ferro, acciaio, ammoniaca/urea e biocarburante; e vari processi petrolchimici che producono prodotti chimici, plastica e fibre. Saranno necessari approcci multipli per ridurre le emissioni, tra cui il cambio di combustibile, il miglioramento dell'efficienza energetica e lo spiegamento delle migliori tecnologie attualmente disponibili e di quelle innovative del futuro.

L'IEA stima che la tecnologia CCS deve fornire 29 miliardi di tonnellate di abbattimento tra il 2017 e il 2060 nei settori del cemento, del ferro e acciaio e nei settori chimici per raggiungere un risultato climatico coerente con l'accordo di Parigi. Tale tecnologia è particolarmente applicabile nell'industria chimica, fornendo un potenziale di 14 miliardi di tonnellate di abbattimento fino al 2060, grazie a diversi processi di produzione chimica che producono flussi quasi puri di CO₂ con un costo di cattura molto basso (IEA, 2019c).

La produzione convenzionale di cemento comporta l'esposizione di materiali come carbonati carbonato, di solito calcare (CaCO₃), a un calore intenso in un forno rotante. Le alte temperature guidano la "calcinazione", creando carbonato di calcio (CaO) e CO₂. Viene prodotta ulteriore CO₂ anche attraverso la combustione di combustibili, di solito carbone o gas naturale, per fornire il calore necessario a guidare la reazione. Il calcio carbonato di calcio è un componente chiave del cemento *Portland*, essenziale per le industrie di costruzione del mondo, anche se il calore è fornito da una fonte biogenica o da un altro combustibile a basse emissioni biogenica o da un'altra fonte di combustibile a basse emissioni, circa il 50% delle emissioni di calcinazione per produzione di cemento mediamente permangono nell'atmosfera (Bosoaga et al, 2009). L'industria del cemento produce circa l'8% delle emissioni globali di CO₂ (Lehne et al, 2018) e la calcinazione rappresenta circa il 4%. Affrontare le emissioni dell'industria del cemento è quindi essenziale raggiungere la neutralità carbonica adottando tecnologie CSS nei gas di scarico dei forni. Le loro tipiche concentrazioni di CO₂ sono intorno al 14-33 %

(Bosoaga et al, 2009), più alte di quelle del carbone convenzionale. Una maggiore purezza della CO₂ in uscita renderebbe la cattura meno intensiva dal punto di vista energetico, al contrario, sarebbe necessario un trattamento considerevole per rimuovere i contaminanti al suo interno come la polvere di cemento.

A giugno 2020, la filiale norvegese di *HeidelbergCement, Norcem* ha stipulato un accordo con *Aker Solutions* per catturare il CO₂ dal cementificio di *Brevik* in Norvegia (Beumelburg, 2020). Un impianto di cattura del carbonio a base di solventi sarà installato per catturare i *gas* di scarico provenienti dall'altoforno.

Heidelberg ha anche sviluppato un forno per cemento a ossi-combustione; utilizzando ossigeno puro invece di aria nei suoi forni, elimina l'azoto nel *gas* di scarico, aumentando la concentrazione di CO₂ al 70% (Beumelburg, 2020). Concentrazioni di CO₂ più alte rendono qualsiasi cattura di CO₂ a valle molto più efficiente dal punto di vista energetico e riducono significativamente il volume dei *gas* di scarico, riducendo significativamente i costi di capitale.

Nel mese di dicembre 2020, l'azienda australiana *Calix* ha firmato accordi per sperimentare la sua tecnologia basata sul reattore di calcinazione nel suo sito; questo comporterà una quadruplicazione del suo impianto pilota nella fase uno. Nei forni rotativi convenzionali per la produzione di cemento e calce, l'aria di combustione viene usata per bruciare i combustibili a temperature molto alte, l'azoto residuo di questo processo si mescola alla CO₂ prodotta attraverso la calcinazione, l'azoto abbassa la purezza della CO₂, aumentando l'energia e il costo della cattura del carbonio.

La tecnologia di *Calix* separa fisicamente la CO₂ prodotta attraverso la calcinazione dalla fonte di calore, il composto grezzo scorre all'interno di un tubo di reazione interno e viene riscaldato dall'esterno da un riscaldatore o da una fonte di riscaldamento elettrico separato. L'anidride carbonica prodotta dal processo di calcinazione è sempre separata, in fase di combustione, da qualsiasi altro *gas*. Di conseguenza, la CO₂ proveniente dal processo del calcinatore *Calix* è secca, pronta per la cattura e quasi interamente pura.

Il reattore *Calix* può essere potenzialmente riscaldato utilizzando o alimentato con biocarburanti per fornire calore a basse emissioni, facendo scendere le emissioni complessive dell'impianto quasi a zero. Un altro vantaggio è che un calcinatore *Calix* può essere incorporato in un normale impianto lasciando il resto così com'è; ciò lo rende un buon candidato per il *retrofit* delle cementerie del mondo (IEA, 2019c).

5.5.7.2 Industria del ferro e dell'acciaio

L'industria del ferro e dell'acciaio produce circa il 7% delle emissioni globali di CO₂; attraverso gli sforzi per ridurre tale valore si concentrano attraverso misure come il riciclaggio dell'acciaio, programmi di efficienza energetica e primi passi verso la sostituzione del combustibile fossile con l'idrogeno. Una gran parte delle emissioni di *gas serra* può essere affrontata usando le tecnologie *CCS*; l'acciaieria *Emirates* di *Abu Dhabi* ha messo in funzione un impianto *CCS* a base di solventi dal 2016, l'anidride carbonica è prodotta dal carbone o dal *gas* naturale che agisce come agente riducente nell'unità *DRI* (*Direct reduced iron*), trasformando il minerale di ferro in ferro elementare da usare nella produzione dell'acciaio. L'impianto siderurgico di *Emirates* cattura circa 0,8 Mt di tonnellate di CO₂ all'anno e riutilizza tale carbonio per processi *EOR*. Altri progetti si concentrano nel cambiare il processo di produzione dell'acciaio per facilitare l'abbattimento di CO₂. Il processo *Hisarna*, gestito da *Tata Steel*, è una nuova tecnologia che non solo aumenta l'efficienza energetica e riduce l'intensità delle emissioni produzione di acciaio, ma aumenta anche le concentrazioni di CO₂ rendendole più facili da catturare (World Resources Institute, 2016).

5.5.7.3 Idrogeno

Negli ultimi anni l'idrogeno è diventato una delle opzioni energetiche su cui gli attori dei settori interessati guardano con particolare interesse; considerato simile chimicamente alla elettricità non produce *gas serra* ma ha bisogno di ampi margini di ricerca e sviluppo al fine di ridurre i carichi energetici e di emissioni di CO₂ per la sua produzione. Anche se per ora l'uso è limitato, sperimentazioni e programmi scientifici vertono sulla ricerca di metodologie per produrre l'idrogeno a basso costo e a basse emissioni. Si prevede che tale ricerca giocherà un ruolo fondamentale nel sostituire progressivamente i carburanti a base di idrocarburi nei veicoli di trasporto pesanti e a lungo raggio (camion, autobus) dove le batterie non sono praticabili. Aiuterà anche a risolvere la grande sfida della decarbonizzazione del settore industriale che opera con produzione ad alte temperature, attualmente garantita per lo più da *gas* naturale e carbone. La produzione di idrogeno puro ha raggiunto 70 Mt e l'idrogeno totale (incluso il *syngas*) 120 Mt nel 2020, la maggior parte usata in raffinerie di petrolio e nella produzione chimica (IEA, 2020b). Il 98% dell'idrogeno attuale è prodotto dal carbone (attraverso la gassificazione) e dallo *steam methane reforming* (*SMR*) dal *gas* naturale.

Ad oggi sono disponibili tre percorsi principali per la produzione di idrogeno:

- riformazione del *gas* naturale;
- gassificazione del carbone o del *coke*;
- elettrolisi dell'acqua (alias scissione dell'acqua).

Un percorso chiave a basse emissioni per la produzione di idrogeno è l'*SMR (Steam Methane Reforming)* accoppiato con tecnologie *CCS*. Quest'ultimo è una tecnologia consolidata e attuata in molti impianti nel mondo; l'idrogeno è prodotto da una reazione di metano e vapore ad alta temperatura, seguita da un reattore a spostamento d'acqua-*gas* per convertire ulteriormente il monossido di carbonio e il vapore in altro idrogeno. Ad oggi sono presenti quattro impianti di idrogeno su scala industriale *SMR* con *CCS* in tutto il mondo, producendo un totale di circa 800.000 tonnellate di idrogeno a basso contenuto di carbonio all'anno (Global CCS Institute, 2021a).

Uno di questi impianti *SMR* con *CCS* è quello della *Air Products* di *Port Arthur, Texas*, un impianto a due treni che cattura la CO₂ dalle sue unità di *reforming* utilizzando l'adsorbimento a vuoto. Questo impianto ha una capacità di cattura del carbonio di quasi 1Mt all'anno. La gassificazione del carbone con *CCS* è una tecnologia ben collaudata per la produzione di massa di idrogeno, con basse emissioni. Tre impianti producono idrogeno da carbone, *coke* o asfaltenne, con capacità combinata di circa 600.000 tonnellate di idrogeno all'anno. Il più grande impianto di idrogeno pulito del mondo è *Great Plains Synfuel* nel *North Dakota, USA*, che produce 1300 tonnellate al giorno di idrogeno dalla gassificazione della lignite (il c.d. carbone marrone); questo impianto produce idrogeno dal 1988 e cattura la CO₂ per lo stoccaggio dal 2000. Circa 3 Mt di CO₂ all'anno vengono trasportate a *Saskatchewan*, in Canada, per tecnologie *EOR*. La domanda annuale di idrogeno a basse emissioni potrebbe crescere a 530 Mt entro il 2050, riducendo le emissioni annuali di CO₂ fino a sei miliardi di tonnellate. Tuttavia, i benefici dell'abbattimento sono possibili solo se l'idrogeno viene prodotto usando processi a emissioni quasi zero; attualmente, meno dello 0,7% della produzione di idrogeno proviene da energia rinnovabile (attraverso l'elettrolisi) e da impianti a combustibile fossile dotati di tecnologie *CCS* (IEA, 2019c).



Figura 64 - Diagramma di flusso del processo per un SMR idrogeno SMR.
Fonte: (IEA, 2019)

La CO₂ può essere catturata dagli impianti SMR in tre punti:

- nel syngas ad alta pressione (1);
- nel gas situato alla fine dell'impianto a bassa pressione (2);
- nel gas di scarico dalla combustione del combustibile per fornire calore all'unità SMR (3).

Per proporre un esempio l'impianto di *Port Arthur, Texas*, cattura la CO₂ dal syngas (1), sfruttando l'alta concentrazione e pressione del CO₂, per minimizzare i costi di cattura. In genere, circa il 40% delle emissioni di CO₂ da SMR provengono dai gas di scarico (3). Questo processo è più costoso in quanto la CO₂ è diluita e a bassa pressione, può essere ottenuta con tecnologie convenzionali di *post-combustione*; la gassificazione del carbone per produrre idrogeno avviene in reattori. Questi sottopongono il carbone ad alte temperature con limitato ossigeno, causando "reazioni di pirolisi" che producono monossido di carbonio e idrogeno. Dopo che un reattore a turni converte il monossido di carbonio in CO₂, seguito da un ulteriore trattamento e dalla separazione dell'idrogeno, la CO₂ viene prodotta ad alta purezza. Per i gassificatori che operano a pressioni elevate, l'alta pressione della CO₂ è un netto vantaggio, riduce i costi di funzionamento dell'attrezzatura di compressione a valle perché gran parte della pressione è già stata fornita dal gassificatore. Il più grande impianto attualmente in funzione è lo stabilimento di *George Olah* in Islanda, che converte circa 5600 tCO₂ all'anno in metanolo utilizzando idrogeno prodotto da elettricità rinnovabile (CRI, 2019). La maggior parte delle tecnologie di energia rinnovabili ad oggi producono elettricità, quest'ultima può essere usata direttamente per sostituire la produzione di combustibili fossili in una rete elettrica. Usare l'energia rinnovabile per sostituire la generazione basata sui combustibili fossili in una rete elettrica, fornisce da tre a otto volte tanto l'abbattimento che può essere raggiunto usando l'energia rinnovabile per produrre idrogeno pulito il quale sostituisce l'uso del gas naturale.

Il percorso più efficace e potente è quello di produrre idrogeno dal *gas* naturale o dal carbone con tecnologie *CCS*, e riservare le energie rinnovabili per le reti elettriche.

5.5.7.4 Gas naturale

La pandemia da *COVID-19* ha significativamente ridotto la domanda in tutto il mondo, con un calo del 4% nella crescita della domanda di *gas* naturale anticipata. Tuttavia, la domanda dovrebbe riprendersi e aumentare di circa il 14% entro il 2025, rispetto al 2027; si prevede che continuerà a crescere oltre il 2025 come risultato della crescita della domanda di energia primaria, in particolare in Asia, a causa del *gas* che sostituisce il carbone in Nord America e, in misura ridotta, in Europa. Il passaggio dal carbone al *gas* riduce le emissioni di CO₂ al punto d'uso di circa la metà, ma la produzione e la lavorazione dello stesso possono avere emissioni significative, sia dall'uso di energia negli impianti sia nel modo in cui il *gas* viene prodotto. Il *gas* naturale grezzo contiene tipicamente CO₂, a volte in quantità significative; questa deve essere rimossa prima che il *gas* naturale possa essere venduta e viene tipicamente rilasciata nell'atmosfera. Circa 150 Mtpa di CO₂ viene rilasciata dagli impianti di lavorazione del *gas* in tutto il mondo, rendendola una fonte a basso costo per la cattura e lo stoccaggio nell'ordine di 20-25 dollari per tonnellata (Irlam, 2017). Nei luoghi in cui un impianto è vicino al sito di iniezione di CO₂ (meno di 50 km) e lo stoccaggio è *on-shore*, i costi si attestano mediamente su 15-20 dollari per tonnellata per la compressione, il trasporto e lo stoccaggio.

Senza tecnologie *CCS*, le emissioni di CO₂ dalla produzione di *gas* continueranno a crescere in linea con l'aumento della domanda di *gas*, inoltre, è probabile che ci sia una tendenza generale verso la produzione di *gas* da riserve convenzionali che contengono concentrazioni più alte di CO₂ del giacimento stesso, aumentando l'intensità delle emissioni nella produzione di *gas*. La *CCS* risulta essere l'unica tecnologia per mitigare tali emissioni. L'Australia risulta essere in particolare un buon caso studio sulla crescita delle emissioni da produzione e lavorazione del *gas* e il ruolo che la *CCS* può giocare nel mitigarle; le esportazioni di *gas* naturale liquefatto (*LNG*) dall'Australia sono aumentate da 23,9 Mt nel 2014 a 77,1 Mt nel 2015, causando un raddoppio delle relative emissioni (da 17,4 MtCO_{2eq} a 33,7 MtCO_{2eq}) (Bruce, 2018).

5.5.7.5 Energia elettrica

La rapida decarbonizzazione della produzione di energia risulta cruciale per raggiungere le emissioni nette zero; la produzione di elettricità rappresenta di circa un terzo delle emissioni globali di CO₂, risultando la più grande fonte di emissioni di CO₂ a livello globale, con la domanda di elettricità prevista in aumento in modo significativo. Le centrali dotate di tecnologie CCS aiuteranno a garantire che la rete a basso contenuto di carbonio del futuro sia resiliente e affidabile. Flessibile centrali elettriche con CCS potranno fornire elettricità dispacciabile e a basse emissioni di carbonio, nonché servizi di stabilizzazione della rete, come l'inerzia, il controllo della frequenza e il controllo della tensione (NET Power, 2019). La tecnologia CCS risulta inoltre essenziale per ridurre le emissioni dal parco energetico globale a combustibili fossili che già possediamo. A livello globale, vi sono circa 2.000 GW di capacità operativa a carbone, con oltre 500 GW di nuova capacità prevista entro il 2030, di cui oltre 200 Gt di nuova capacità sono già in costruzione. Mentre alcune centrali a carbone e a gas andranno presto in dismissione, l'età media degli impianti di gas naturale è di 19 anni in Asia e le centrali a carbone di 12 anni, con ampie prospettive di durata. Senza tecnologie CCS, retrofit energetico o dismissione anticipata, le centrali a carbone e a gas, attuali e in costruzione, continueranno a emettere CO₂ a tassi che consumeranno il 95% del budget di carbonio posto negli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SGS) entro il 2050 (NET Power, 2019).

Adattare la produzione di combustibili fossili con la CCS può essere un'opzione conveniente in alcuni casi. Economie pesantemente dipendenti dal carbone, come la Cina, l'India e i paesi nel sud-est asiatico, dovranno dotarsi di impianti e di nuove tecnologie emergenti al fine di adottare un'economia a basse emissioni di carbonio, sostenendo così una giusta e proficua transizione.

Il ciclo *Allam-Fetvedt*, ad esempio, è un innovativo gas naturale (o *syngas* dalla gassificazione del carbone) per la generazione di energia con cattura intrinseca di CO₂. Coinvolge l'ossi-combustione e l'utilizzo della CO₂ prodotta come fluido di lavoro. Ciò significa che la cattura, la compressione e la disidratazione della CO₂ sono intrinseche. Questa tecnologia può produrre elettricità con più del 97% di cattura di CO₂ a un prezzo medio di circa il 22% più alto dell'attuale gas naturale convenzionale (Soonchul, 2011). Al suo interno, il ciclo *Allam-Fetvedt* usa una turbina speciale che funziona con CO₂ in stato supercritico (ad alta pressione e temperatura) invece del vapore

usato nelle centrali elettriche convenzionali (Balaz et al, 2008). La tecnologia produce CO₂ pronta per le condutture senza bisogno di attrezzature aggiuntive per la cattura. Il *NET Power LLC* sta attualmente commercializzando il ciclo *Allam-Fetvedt* nell'industria del *gas* naturale, mentre la *8Rivers Capital* sta conducendo un consorzio industriale in *North Dakota* e *Minnesota* per applicare il ciclo al *syn-gas* da carbone/biomassa/gassificazione del *coke* di petrolio. Quasi tutti i componenti di tale ciclo sono disponibili in commercio, escluse turbina e il combustore in quanto forniti come elementi ibridi da *Toshiba*. La *8Rivers Capital* inoltre sta attualmente completando gli studi nel settore dell'ingegneria per un impianto integrato di idrogeno e fertilizzante con tecnologie *CCS* a *Pouakai*, in Nuova Zelanda (Faiardy et al, 2019).

5.5.7.6 La carbonatazione minerale artificiale

Il carbonio può essere utilizzato nella produzione di materiali da costruzione per sostituire l'acqua nel calcestruzzo, (processo definito maturazione del carbonio), o come materia prima nei suoi costituenti (cemento e aggregati da costruzione) (Soonchul, 2011). Il carbonio viene fatto reagire con minerali o scarti di rifiuti, come le scorie di ferro, per formare carbonati che compongono appunto il calcestruzzo (Balaz et al, 2008). Questo percorso di conversione è in genere meno energivoro rispetto a combustibili e prodotti chimici e comporta lo stoccaggio permanente di CO₂ nei materiali. Alcune applicazioni, come l'uso di CO₂ nella miscelazione del calcestruzzo, sono già oggi disponibili in commercio in alcuni mercati mondiali (IEA, 2019c). Ulteriori tecnologie complementari di sequestro della CO₂, basate sulla neoformazione di minerali per reazione di CO₂ con silicati di Mg e Ca o mediante processi di carbonatazione in soluzione, offrono scelte attraenti per il permanente e sicuro stoccaggio della CO₂ in forma solida. La carbonatazione avviene per neutralizzazione dell'acido carbonico (H₂CO₃) con elementi alcalini e alcalino terrosi i quali mostrano maggiore reattività rispetto ad altri, in quanto assicurano una reazione termodinamicamente favorevole alla formazione di carbonati. Tra tutti, in particolare Ca e Mg risultano più efficaci, ma quest'ultimo è da prediligere rispetto all'altro in quanto stechiometricamente utilizza una quantità di CO₂ (52%) superiore a quella del Ca (43%) per formare il relativo carbonato. Le attività di ricerca attualmente vertono sulla realizzazione di un processo di immobilizzazione della CO₂ in forma solida per un suo sicuro e permanente stoccaggio, in superficie e in sotterraneo, attra-

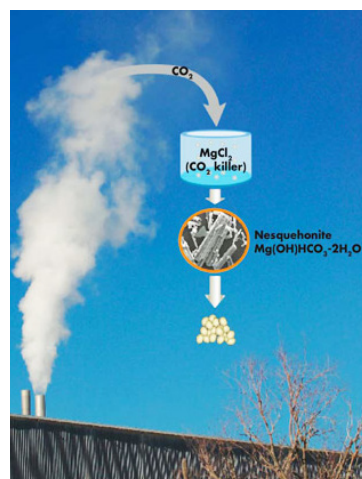


Figura 65 - Rappresentazione schematica della carbonatazione minerale artificiale.

Fonte: (Balaz et al, 2008)

verso la carbonatazione in soluzioni acquose di cloruro di magnesio. I risultati ottenuti nei numerosi esperimenti di laboratorio, con tutte le diversificazioni testate, sono incoraggianti al fine di estendere e sviluppare a scala semi-industriale il processo di minerosintesi guidato e realizzato sulla scorta delle conoscenze maturate attraverso gli studi e le ricostruzioni di analoghi meccanismi e processi naturali. Consolidando l'apparato scientifico di riferimento il secondo *step* della attività di ricerca si concentrerà nel testare il processo con un impianto pilota, già realizzato, al fine di comprendere la sua possibile calibrazione per uno sviluppo di tipo industriale nel campo dei materiali da costruzione, con l'obiettivo di realizzare mattoni e blocchi in carbonato (Global CCS Institute, 2021).

5.5.7.7 Prospettive future

Le tecnologie di utilizzo e stoccaggio del carbonio dovranno costituire nel prossimo futuro un pilastro fondamentale al fine di contribuire all'azzeramento delle emissioni nette secondo un modello energetico *net-zero*, insieme a processi di generazione di energia da fonti energetiche rinnovabili quali l'elettrico, l'idrogeno e la bioenergia (OGCI, 2020). Suddette tecnologie contribuiscono alla transizione energetica secondo diverse modalità di applicazione:

- in infrastrutture energetiche esistenti contribuendo a sistemi energetici che altrimenti potrebbero nelle previsioni attuali, emettere oltre 600 miliardi di tonnellate di carbonio nei prossimi 50 anni;
- in settori con alte concentrazioni di carbonio come la produzione di acciaio e cemento responsabili quasi del 20% delle emissioni complessive mondiali di carbonio nell'atmosfera;
- integrazione nel processo di produzione di idrogeno riducendo le emissioni di carbonio per soddisfare la domanda attuale e futura nel settore dei trasporti, nell'industria e negli edifici;
- riduzione diretta del carbonio nell'atmosfera come importante processo tecnologico per la fornitura di sistemi energetici a zero emissioni.

Nello scenario attuale sviluppato dall'*IEA*, le emissioni globali di carbonio per il settore energetico saranno azzerate entro il 2070; l'obiettivo di tali tecnologie risiedono nel *retrofit energetico* di impianti industriali basati su combustibili fossili e il sostegno alla produzione di idrogeno a basse emissioni di carbonio. Entro il 2030 si prevede che oltre il 50% del carbonio catturato provenga da as-

set industriali esistenti riadattati alle nuove tecnologie sopracitate. Spostare i limiti del raggiungimento delle politiche energetiche “*carbon neutral*” dal 2050 al 2070 impongono una implementazione di oltre il 50% di sistemi *CCUS* (IEAGHG, 2019b).

Impianti *CCUS* operano da alcuni decenni in determinati settori, ma sono ancora in fasi preliminari in altri che hanno emissioni maggiori; tale sistema è stato introdotto principalmente in aree come la lavorazione e estrazione del *gas* naturale o la produzione di fertilizzanti, processi in cui il carbonio può essere catturato con costi relativamente bassi. In altre aree, tra cui le lavorazioni di cemento e acciaio, rimangono ancora in fase di sviluppo e pertanto devono divenire fondamentali per affrontare le emissioni di tali settori in mancanza di valide alternative.

L’aspetto storico di tali soluzioni tecnologie scontano aspettative disattese: il potenziale di mitigazione climatica, riconosciuto per decenni, contrasta con una implementazione e radicazione lenta con un limitato impatto sulle emissioni globali di carbonio. L’incertezza economica generata dalla crisi per la pandemia da *COVID-19* potrebbe creare condizioni nei prossimi decenni per implementare ed aumentare gli investimenti nello sviluppo e implementazione del *CCUS*; sarà necessaria quindi una trasformazione radicale nelle modalità di produzione e consumo di energia per portare una rapida riduzione delle emissioni di *gas serra (GHG)* correntemente agli accordi di Parigi per “*mantenere l’aumento della temperatura media globale ben al di sotto dei 2°C sopra i livelli preindustriali e proseguire gli sforzi per limitare l’aumento della temperatura a 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali*” (IEA, 2019c). L’accordo di Parigi vuole inoltre raggiungere un “*equilibrio tra emissioni da fonte antropica ed assorbimento delle stesse mediante pozzi*”, entro la metà di questo secolo: tale significa raggiungere emissioni nette pari a 0. Per raggiungere tale obiettivo il carbonio rilasciato nell’atmosfera dalla attività umana deve essere bilanciato da una qualità rimossa attraverso soluzioni *green* (rimboschimento, riforestazione, cambiamento nell’uso del suolo) o tramite soluzioni *grey* come, ad esempio, immagazzinare permanentemente il carbonio catturato (direttamente o indirettamente) nell’atmosfera.

Rinnovato clima di fiducia verso tali tecnologie:

Gli obiettivi climatici divenuti più rigorosi e stringenti con l’accordo di Parigi nel 2015 hanno stimolato maggiore interesse per tali tecnologie, accentuate da una maggiore ricerca nel campo delle soluzioni

tecnologiche per ridurre le emissioni in vista degli obiettivi di neutralità carbonica entro il 2050. Un numero di paesi e organizzazioni sempre più crescenti stanno adottando obiettivi di emissioni nette pari a zero richiamando la necessità di utilizzare tali tecnologie; ad agosto 2020, 14 paesi e l'Unione Europea, quest'ultima rappresenta circa il 10% delle emissioni globali di carbonio, avevano adottato obiettivi di neutralità carbonica nella propria legislazione e/o statuto, fissando obiettivi al 2045, 2050 o oltre. Nel gennaio 2020 l'azienda *Microsoft* ha annunciato politiche *carbon negative* entro il 2030 e entro il 2050 la rimozione dall'atmosfera di tutto il carbonio prodotto dal 1975, anno di fondazione, attraverso politiche *green* come imboschimento e rimboschimento di aree o sequestro di carbonio secondo tecnologie *BECCS* e *DACS* (IEA, 2020a).

Diffusione di *Hub CCUS*:

Lo sviluppo di *hub CCUS* – centri industriali per il trasporto e lo stoccaggio di carbonio, potrebbero svolgere un ruolo fondamentale per l'accelerazione tali tecnologie; attualmente sono attivi progetti di tale tipo in 12 località dislocate in tutto il mondo, con una capacità iniziale di stoccaggio di circa 25 Mt/anno con proiezione di ampliamento a 50 Mt/anno. Nel 2019 sono state risolte inoltre limitazioni legali inglesi dovute al trasporto transfrontaliero di carbonio ottenendo un emendamento al protocollo di Londra. Una piattaforma *zero emission* stima il costo di trasporto di carbonio attraverso un gasdotto di 180 km in Europa equivale a circa 5,4 Euro/ton con una capacità di 2.5 Mt/anno di carbonio, 70% in più rispetto al costo di 1,5 Euro/ton per la stessa lunghezza di gasdotto ma con una capacità di 20 Mt/anno, ciò preponde una fattibilità di impianti più grandi a discapito di altri più piccoli, poco pratici e antieconomici. Una cementeria media che cattura circa 0.5 Mt/anno di carbonio rappresenterebbe un risparmio di quasi 2 milioni di euro (Zero Emissions Platform, 2011).

Progresso tecnologico:

Fiducia nella disponibilità tecniche sicure e controllate di carbonio è un prerequisito per gli investimenti nelle infrastrutture di trasporto e stoccaggio e nelle strutture di cattura diretto. In molti stati europei, tuttavia, è necessario un ulteriore lavoro di valutazione significativo per convertire la capacità di stoccaggio teorica in stoccaggio "bancabile", per cui comprendere la quantità massima di CO₂ che alla fine può essere immagazzinato, la velocità massima di inie-

zione, il modo in cui il *gas* è contenuto nella formazione e il rischio di perdite. L'identificazione e lo sviluppo dello stoccaggio di carbonio dovrà inoltre essere supportato da un solido quadro giuridico e normativo, nonché da una comunicazione efficace con le comunità locali e i cittadini (NRG, 2020a).

L'esperienza con la costruzione e gestione di strutture *CCUS* ha contribuito a progressivi miglioramenti nonché a significativa riduzione di costi. Il costo di cattura, ad esempio, della centrale elettrica a carbone *Petra Nova* a *Houston* (entrato in servizio nel 2017) è di circa 65 USD/t, inferiore del 30% rispetto all'impianto *Boundary Dam* in Canada (entrato in funzione nel 2014) (IEA, 2019c). Oggi secondo studi di ingegneria del settore si stima che l'adeguamento di una centrale elettrica a carbone potrebbe costare circa 45 USD/t (International CCS Knowledge Centre, 2018); attualmente, in tal senso, vi sono piani di aggiornamento per dieci centrali presenti in Cina, Corea e Stati Uniti.

Nuove tecnologie e metodologie attualmente sono in fase di studio e applicazione come la produzione di combustibili sintetici o materiali da costruzione mediante utilizzo di carbonio; ciò potrebbe essere accentuata da un sostegno di governi, industrie del settore e investitori con finanziamenti privati per creare *start-up* al fine di incrementare la ricerca per l'innovazione di tali tecnologie.

Anche le tecnologie *DAC* presentano importanti progressi significativi attirando investitori di aziende interessate; dal 2019 sono stati oltre 180 milioni di dollari dal settore privato e 170 milioni di dollari da governi e enti locali. Ad oggi sono presenti e attive strutture su piccola scala negli Stati Uniti con una capacità di catturare 1 Mt di carbonio all'anno. Nel campo della redazione di un atlante tecnologico globale al fine di censire le aree mondiale ove è possibile uno stoccaggio sicuro del carbonio, le compagnie petrolifere e del *gas* saranno *partner* importanti in questo lavoro nei paesi in cui sono attive, poiché disporranno già di grandi quantità di dati, in particolare sui giacimenti di petrolio e *gas* esauriti. Gli atlanti di stoccaggio sono già stati sviluppati in diversi Stati e l'*OGCI* e il *Global CCS Institute* hanno recentemente rilasciato un *database* delle risorse di archiviazione che copre 13 Stati (OGCI, 2020).

Principali Finanziamenti in corso per lo sviluppo di Tecnologie CCS: Nel mese di marzo 2020, il governo del Regno Unito ha confermato il suo impegno a investire 800 milioni di sterline (995 milioni di dollari) nelle tecnologie *CCUS*, prevedendo la creazione di due siti

industriali e l'equipaggiamento di una centrale elettrica a *gas*. A luglio 2020 ha annunciato un ulteriore investimento di 139 milioni di sterline (178 milioni di dollari) per ridurre le emissioni dell'industria pesante, anche tramite *CCUS*. Ad aprile 2020, il governo degli Stati Uniti ha assegnato 85 milioni di dollari in sovvenzioni e ha annunciato ulteriori 46 milioni di dollari in nuove sovvenzioni per lo sviluppo e l'implementazione del *CCUS*, seguiti da ulteriori 72 milioni di dollari in finanziamenti a settembre 2020 (DOE/NETL, 2020) e la proposta, nel mese di dicembre 2020, di un disegno di legge (*US Energy ACT*) di oltre 6 miliardi di dollari (Rassool, 2021), per uno stimolo economico strutturato nel tempo secondo programmi di ricerca e sviluppo, intervenendo inoltre sulle valute di credito per lo stoccaggio geologico previste nel piano 45Q (Porthos Development, 2021). A maggio 2020, il governo australiano ha annunciato l'intenzione di rendere il *CCUS* idoneo ai programmi di finanziamento esistenti per le tecnologie pulite, anche tramite il fondo di investimento da 10 miliardi di AUD (7,1 milioni di dollari) della *Clean Energy Finance Corporation* (IEA, 2020). Nel settembre 2020, il governo norvegese ha annunciato che avrebbe fornito 16,8 miliardi di NOK (1,8 miliardi di dollari) in finanziamenti per il progetto *Longship CCS*, il quale costo totale di tale progetto è stimato a 25,1 miliardi di NOK (2,7 miliardi di dollari).

Anche il settore privato ha annunciato nuove forme di investimento nelle tecnologie *CCUS*; nel mese di Aprile 2020 l'*Oil Gas Climate Initiative* (OGCI, 2020), un gruppo di 13 compagnie petrolifere, ha annunciato una ricoverzione di una centrale elettrica a *gas* naturale negli Stati Uniti con tecnologie *CCUS* (OGCI, 2020). Nel mese di maggio 2020 *Equinor*, *Schell* e *Total* hanno annunciato di investire oltre 700 milioni di dollari in progetti di stoccaggio di carbonio e produzione di idrogeno dal *gas* naturale nella sede di *Humber* (Regno Unito).

Riguardo le tecnologie *DAC* si segnala un aumento delle fonti di finanziamento all'inizio del 2020; gli Stati Uniti hanno annunciato un finanziamento di 22 milioni di dollari e nel mese di giugno 2020 il Regno Unito ha stanziato 100 milioni di sterline oltre a investimenti privati derivati da campagne di raccolta fondi (Climeworks, 2020). Considerazioni a medio e lungo termine vengono poste riguardo l'andamento del mercato di quotazione del petrolio, in quanto due terzi delle strutture *CCUS* operative si basano sui ricavi delle vendite di carbonio per processo *EOR*; il recente crollo della domanda di petrolio, acuito dalla pandemia da *COVID-19*, ha ridotto i ricavi per tali tecnologie.

CCUS nei Piani di Ripresa Economica Mondiale *Post-pandemico*:

Mentre l'impatto della pandemia *COVID-19* ha causato ritardi nei processi internazionali di politica climatica, i considerevoli pacchetti economici in risposta ad essa hanno portato in primo piano le decisioni relative alla mitigazione dei cambiamenti climatici. La Conferenza delle parti (*COP26*) della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (*UNFCCC*) svoltasi nel mese di Novembre 2021 ha posto come obiettivo primario una consapevolezza globale sulle strategie da impiegare in relazione ai cambiamenti climatici, una risposta concreta alla attuazione dell'Accordo di Parigi, rendendolo operativo e funzionante con il ritorno negli accordi degli USA.

Una serie di progetti pianificati potrebbe beneficiare rapidamente di pacchetti di stimolo economico, apportando importanti benefici economici, sociali e ambientali. In Europa, in particolare, il progetto *Norway Longship CCS* (incluso *Northern Lights*) dovrebbe generare fino a 4000 posti di lavoro durante la fase di investimento e costruzione e 170 posti di lavoro permanenti (*Northern Lights PCI*, 2020). A luglio 2020, l'Autorità di vigilanza dell'Associazione europea di libero scambio (*EFTA*) ha aperto la strada al sostegno del governo norvegese al progetto in base alle regole di mercato dell'UE, riconoscendolo come "*un passo innovativo verso la lotta ai cambiamenti climatici*" (*EFTA Surveillance Authority*, 2020).

Una serie di progetti *CCUS* avanzati si basano principalmente sullo sviluppo di poli industriali, beneficiando di economie di scala ridotte, riducendo quindi il rischio di integrazione attraverso la condivisione di CO₂ tra infrastrutture di trasporto e di stoccaggio. In tali tipologie rientra il progetto *Port of Rotterdam (Porthos)* nei Paesi Bassi, il progetto *Net Zero Teesside* nel Regno Unito, il *Carbon Storage Assurance Facility Enterprise (CarbonSAFE) Integrated Midcontinent Stacked Carbon Storage Hub* negli Stati Uniti e il *CarbonNet* in Australia. Molti di questi *hub CCUS* comportano la produzione di idrogeno a basse emissioni di carbonio (*OGCI*, 2020).

CCUS nello scenario di sviluppo sostenibile:

Le tecnologie *CCUS* saranno una preziosa opzione in grado di ridurre le emissioni di carbonio nel settore energetico, essenziali per il raggiungimento della neutralità carbonica del settore energetico al 2070. Come precedentemente illustrato le tecnologie *CCUS* potranno svolgere quattro ruoli chiave nella transizione energetica: affrontare le emissioni degli *asset* esistenti, essere una soluzione per i settori ove la

riduzione di carbonio è difficile da attuare, divenire una fonte di idrogeno pulito, rimuovere il carbonio direttamente dall'atmosfera per bilanciare le emissioni che non possono essere abbattute o evitate. Circa il 60% della CO₂ catturata nel periodo che si interpone tra oggi fino al 2070 nello scenario di sviluppo sostenibile deriva principalmente dall'uso di combustibili fossili, il resto da processi industriali, bioenergia e tecnologia DAC. Ciò riflette le difficoltà nell'eliminare le emissioni di carbonio in alcuni settori industriali (e quindi la necessità di opzionare nuove forme di assorbimento e stoccaggio di carbonio), abbattere l'elevata quota di emissioni di processo in alcuni settori (in particolare nella produzione del cemento), la possibilità di catturare carbonio nella produzione di biocarburanti per i trasporti, il ruolo crescente della tecnologia DAC nel fornire carbonio come materia prima per la produzione di carburanti sintetici per l'aviazione e per la rimozione diretta di carbonio dall'atmosfera. Il contributo di tali tecnologie evolve in tre periodi di proiezione temporale; nella prima fase, fino al 2030, l'obiettivo è catturare le emissioni di centrali e fabbriche esistenti attraverso un *retrofitting* energetico di tali *asset* volto alla cattura di oltre l'85% delle emissioni di carbonio (840 Mt, pari al 4% delle riduzioni complessive), contemporaneamente aumentando la produzione di idrogeno e bioetanolo. Nella seconda fase, dal 2030 al 2050, il contributo di tali tecnologie cresce al 12% espandendosi maggiormente nel settore dell'acciaio, della produzione di cemento e prodotti chimici; il settore energetico verterà nelle stazioni alimentate a *gas* naturale, integrate con fonti di energia rinnovabile, bilanciando quindi le richieste stagionali. La tecnologia *BECCS* in questa fase si espande, raggiungendo il 15% della cattura complessiva di carbonio, raggiungendo nel 2050 il 50% del settore energetico volto principalmente alla produzione di combustibili alternativi a basse emissioni di carbonio. La terza fase, dal 2030 al 2070, la quantità di carbonio catturato sale all'85%, di cui il 45% proveniente da tecnologie *BECCS* e il 15% da tecnologie *DAC* (IEA, 2020d).

Come affrontare le emissioni di carbonio dagli *asset* esistenti?:

Una delle sfide principali per la transizione energetica globale sarà come ridurre le emissioni di carbonio provenienti da *asset* esistenti che consumano energia: edifici pubblici, privati e infrastrutture, fabbriche, veicoli. Per il settore degli impianti e delle infrastrutture una possibile soluzione è il *retrofitting* energetico volto alla cattura di carbonio all'interno di tali *asset* esistenti (Carbfix, 2021).

Il settore energetico è la principale fonte di emissioni dagli *asset* esistenti pari a 410 Gt in tutto il mondo fino al 2070, di cui l'80% da centrali a carbone. La Cina da sola contribuisce per quasi la metà delle emissioni cumulative globali delle centrali elettriche esistenti e altri settori industriali emergenti (Breyer et al, 2019). La maggior parte degli investimenti in tali attività è avvenuta negli ultimi due decenni, quando le loro economie stavano crescendo più rapidamente. L'età media delle centrali a carbone è inferiore a 20 anni nella maggior parte dei paesi asiatici e solo 13 anni in Cina; in Europa è di 35 anni e negli Stati Uniti di circa 40 anni. Dei 2100 GW di capacità a carbone attualmente in funzione in tutto il mondo e dei 167 GW in costruzione, circa 1440 GW potrebbero essere ancora operativi nel 2050, di cui 900 GW solo in Cina. Le centrali elettriche a *gas* sono mediamente più recenti, con una media inferiore a 20 anni in tutti i principali paesi ad eccezione del Giappone, della Russia e degli Stati Uniti, poiché il *gas* è stato introdotto come combustibile per la produzione di energia in molti paesi solo dopo gli anni '90. A causa della vita tecnica più breve, 350 GW dei circa 1800 GW generati dalle centrali elettriche a *gas* in funzione oggi, potrebbero essere ancora operativi nel 2050 (FuelCellsWorks, 2020).

Esistono tre opzioni per ridurre le emissioni nei settori della produzione di energia e industriale (OGCI, 2020):

- investire in modifiche alle apparecchiature industriali e elettriche esistenti per utilizzare combustibili a minore intensità di carbonio o migliorare l'efficienza energetica;
- ritirando gli impianti prima della fine della loro normale vita operativa o facendone un uso minore (ad es. riconvertendo le centrali elettriche a combustibili fossili in modo che funzionino ai picchi di carico piuttosto che a carico di base);
- *retrofitting* energetico su *asset* esistente mediante introduzione di impianti di cattura e stoccaggio o utilizzo del carbonio.

Il *retrofit* con *CCUS* svolge un ruolo importante nella riduzione delle emissioni delle centrali elettriche a carbone e a *gas* nello scenario di sviluppo sostenibile (*SDS*). Circa 190 GW generati da impianti a carbone, principalmente in Cina, e 160 GW generati da impianti a *gas* sono retrofittati con tecnologie *CCUS* (Haszeldine et al, 2018). A livello globale, i *retrofit* sugli impianti esistenti rappresentano circa un terzo di tutta la CO₂ catturata dalle centrali nel periodo 2020-70, il 16% delle riduzioni di emissioni degli impianti esistenti.

13. La riduzione diretta del ferro (DRI - Direct reduced iron) è la rimozione dell'ossigeno dal minerale di ferro o da altri materiali contenenti ferro allo stato solido, cioè senza fusione, come nell'altoforno. Gli agenti riducenti sono monossido di carbonio e idrogeno, provenienti da gas naturale riformato, syngas o carbone. Il minerale di ferro viene utilizzato principalmente in forma di pellet e/o grumoso.

È generalmente difficile ridurre le emissioni dei processi industriali, inerenti alle reazioni chimiche coinvolte nella produzione di determinati materiali sfusi, senza catturare CO₂. Il processo di produzione di *clinker*, ad esempio, rappresenta circa i due terzi delle emissioni per la produzione di cemento. Anche se il forno in cui viene prodotto il composto fosse elettrificato o alimentato con bioenergia, queste emissioni persisterebbero. Le emissioni dei processi industriali sono state pari a 2,5 GtCO₂ nel 2019, di cui il settore edilizio legato alla produzione di cemento, ne ha rappresentato il 63% (i settori chimico e siderurgico rappresentano oltre la metà del resto). Non ci sono ad oggi alternative alle tecnologie CCUS con livelli equiparabili di maturità tecnologica in grado di supportare profondi tagli delle emissioni in questo settore. Leganti alternativi potrebbero un giorno costituire un'alternativa all'uso del cemento *Portland*, che produce circa 520 kg di CO₂ delle emissioni di processo per tonnellata di *clinker*. I materiali leganti alternativi che potrebbero portare a riduzioni sostanziali delle emissioni di processo (ad esempio l'ossido di magnesio derivato dai silicati di magnesio) sono ad oggi in fase di ricerca e sviluppo (Haszeldine et al, 2018).

Vi sono inoltre alternative limitate a processi CCUS per ridurre le emissioni nella produzione di acciaio e prodotti chimici. I concetti CCUS nei settori dell'acciaio e dei prodotti chimici tendono anche a raggiungere livelli di maturità tecnologica più elevati rispetto alle loro alternative a base di idrogeno. La produzione di ferro secondo metodologia DRI (*Direct reduced iron*)¹³ basata sull'idrogeno per la produzione dell'acciaio, che riduce sostanzialmente le emissioni, potrebbe emergere come un'alternativa economicamente praticabile agli impianti dotati di CCUS, ma probabilmente solo nelle regioni con accesso a elettricità rinnovabile a bassissimo costo per la produzione di idrogeno tramite, ad esempio, elettrolisi dell'acqua. Sulla base delle attuali stime dei costi di produzione per gli impianti su scala commerciale, la produzione di una tonnellata di acciaio tramite DRI dotato di tecnologia CCUS con processi innovativi di riduzione della fusione è in genere dell'8-9% più costoso rispetto ai principali percorsi di produzione commerciale di oggi, la produzione secondo processo DRI a base di idrogeno in genere aumenta i costi di circa il 35-70%. Situazione analoga nel settore chimico; l'idrogeno elettrolitico come materia prima per la produzione di ammoniaca e metanolo potrebbe diventare un'importante alternativa al CCUS, ma nella maggior parte delle regioni oggi è più costoso dell'applicazione dello stesso su impianti esistenti o nuovi.

Il costo della produzione di ammoniaca e metano equipaggiato con *CCUS* è in genere superiore di circa il 20-40% rispetto la produzione odierna, mentre il costo delle vie elettrolitiche dell'idrogeno è superiore del 50-115%. I miglioramenti nelle prestazioni delle tecnologie esistenti, l'efficienza dei materiali nell'industria pesante e le misure per conservare l'energia nei trasporti, evitando viaggi superflui, incrementando invece la concezione di *sharing*, possono portare a sostanziali riduzioni delle emissioni nel breve termine. Ma affinché il settore energetico nel suo complesso raggiunga le emissioni nette zero a lungo termine, sono necessarie tecnologie che riducano significativamente l'intensità delle emissioni della produzione stessa di un materiale o dello spostamento di persone e merci in tutto il mondo (Global CCS Institute, 2021).

5.5.8 Tecnologie *CSS* ad energia positiva

5.5.8.1 Bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio (*BECCS*)

Le tecnologie *BECCS* (*Bioenergy with carbon capture and storage*) prevede la cattura e lo stoccaggio permanente di CO₂ da processi in cui la biomassa viene convertita in energia o utilizzata per produrre materiali. Principali esempi includono centrali elettriche a biomassa, fabbriche per la lavorazione del legno, forni per la produzione di cemento e impianti per la produzione di biocarburanti, termovalorizzatori che possono generare emissioni negative se alimentati con combustibile biogenico. In linea di principio, se la biomassa viene coltivata in modo sostenibile e poi trasformata in un combustibile che viene poi bruciato, il percorso tecnologico può essere considerato a emissioni zero; se parte o tutta la CO₂ rilasciata durante la combustione viene catturata e stoccata in modo permanente, viene definito carbonio negativo, cioè un "deficit positivo" rilasciato nell'atmosfera che viene rimosso dalle colture durante la loro crescita. In pratica, è necessaria una valutazione di *Life Cycle Assessment* per identificare se una tecnologia e un'applicazione specifica stanno effettivamente producendo emissioni negative o meno, a seconda della sostenibilità della materia prima della biomassa, dell'ambito dell'applicazione, dei cambiamenti nella gestione e nell'uso del territorio e dei tempi delle emissioni e degli assorbimenti (IEA, 2020). Tale tecnologia è già ampiamente attiva nei settori relativi alla trasformazione dei combustibili e nella generazione di energia. Il progetto *Mikawa*, ad esempio, è il primo caso

pilota dimostrativo su scala commerciale del Giappone e il primo progetto *BECCS* del paese. Il progetto prevede la conversione di un generatore di energia a carbone in un impianto di a biomassa con *CCS*. Una valutazione dell'impatto ambientale della cattura del carbonio ha avuto esito positivo, e la messa in funzione è iniziata a metà del 2020; il progetto è dimensionato per catturare circa 500 tonnellate di CO_2 al giorno emesse dalla relativa caldaia a biomassa dell'impianto (Faajardy et al, 2019).

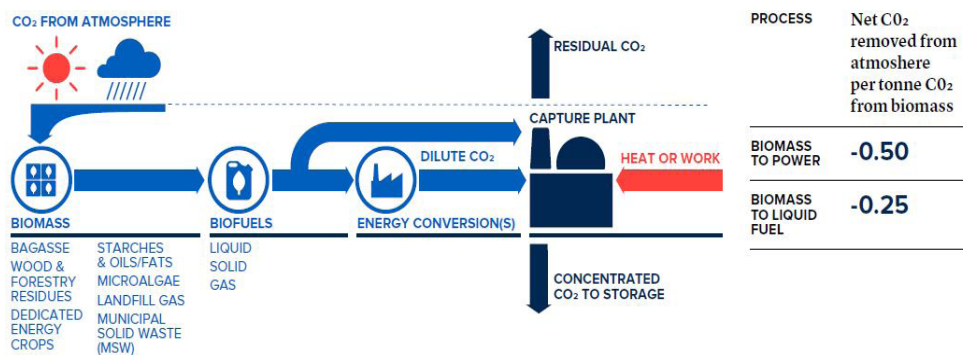
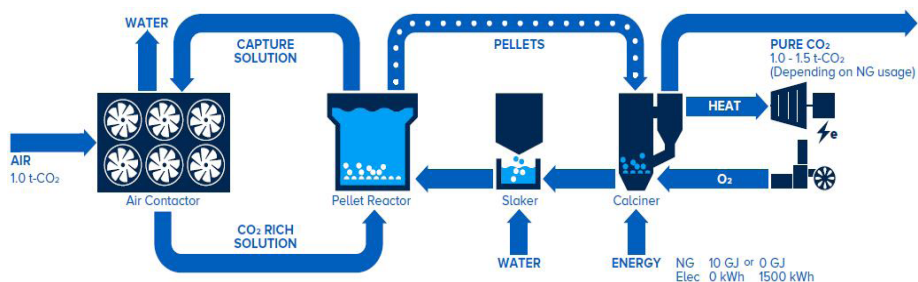


Figura 66 - Rappresentazione schematica del processo *BECCS*.
 Fonte: (Fajardy et al, 2019)

5.5.8.2 Direct Air Capture (DAC)

Le tecnologie *DAC* (*Direct Air Capture*) estraggono CO_2 direttamente dall'atmosfera per lo stoccaggio permanente (rimozione del carbonio), o per l'uso, ad esempio, nella lavorazione degli alimenti o per la produzione di idrocarburi sintetici (dove la CO_2 viene utilizzata come combustibile).

Attualmente, le tecnologie per catturare la CO_2 dall'aria si basano su sorbenti liquidi (*DAC liquid [L-DAC]*), utilizzando una soluzione di idrossido) o sorbenti solidi (*DAC solid [SDAC]*), facendo uso di un filtro di carbonio o assorbenti chimici secchi a base di ammine. Mentre le tecnologie *DAC* esistenti si basano sia sul combustibile per il calore che sull'elettricità per alimentare le apparecchiature rotanti per il loro funzionamento, l'*S-DAC* potrebbe funzionare esclusivamente con l'elettricità, che potrebbe provenire da fonti di energia rinnovabili. D'altra parte, molto probabilmente *L-DAC* avrà sempre bisogno di una fonte di calore, come il gas naturale, per raggiungere l'elevata temperatura di esercizio necessaria nel calcinatore (circa 900°C), in quanto ad oggi non esiste una diversa fonte a basse emissioni di carbonio (Carbon Engineering, 2020).



Il potenziale vantaggio della tecnologia DAC risiede nella flessibilità nell'ubicazione; ad esempio, un impianto DAC potrebbe essere posizionato accanto a un impianto che necessita di CO₂ come materia prima o posto in un sito di stoccaggio geologico per ridurre la necessità di trasportare carbonio. Le strutture DAC possono anche essere collocate insieme ad altri impianti di cattura di carbonio, come centrali elettriche o impianti industriali dotati di CCUS, al fine di raggiungere emissioni nette pari a zero o addirittura negative (Climeworks, 2020).

Il principale svantaggio della tecnologia DAC invece si ritrova nella bassa concentrazione di carbonio presente in una tradizionale situazione ambientale, con concentrazioni molto più basse rispetto siti industriali e di produzione, come le centrali industriali o elettriche, il che rende questa tecnologia altamente energivora e costosa rispetto ad altre opzioni per la rimozione del carbonio. La quantità di energia necessaria e la quota di rapporto tra combustibile ed elettricità varia a seconda del tipo di tecnologia e se il carbonio deve essere compresso per il trasporto e lo stoccaggio. La tipologia *L-DAC* prevede quantità relativamente piccole di elettricità (meno del 5% del fabbisogno energetico totale); l'*S-DAC* per l'archiviazione in genere richiede di più (23%). Il gas naturale, solitamente la fonte di energia più economica per il riscaldamento, viene utilizzato principalmente per rigenerare il solvente per la reazione chimica principale, a circa 100°C (*S-DAC*) o a circa 900°C (*L-DAC*) (Global Thermostat, 2020). Attualmente sono in funzione 15 impianti DAC in Canada, Europa e Stati Uniti, la maggior parte sono impianti pilota e dimostrativi su piccola scala, con il carbonio impiegato per vari usi, come, ad esempio, la produzione di prodotti chimici e combustibili, per la carbonatazione delle bevande e nelle serre, oltre che ad essere stoccato geologicamente nel sottosuolo. Attualmente in Svizzera sono operativi due impianti commerciali che vendono CO₂ alle serre e per la carbonatazione delle bevande (Carbfix, 2021).

Figura 67 - Rappresentazione schematica del processo DAC.
 Fonte: (Carbfix, 2021)

Esiste un solo impianto pilota, in Islanda, che attualmente immagazzina la CO₂: l'impianto, denominato *Orca carbon-capture*, cattura CO₂ dall'aria e la miscela con CO₂ catturata dal fluido geotermico prima di iniettarlo in formazioni basaltiche sotterranee, dove viene mineralizzato, cioè convertito in minerale (Carbfix, 2021). In Nord America, sia *Carbon Engineering* che *Global Thermostat* hanno gestito una serie di impianti pilota, con *Carbon Engineering* (in collaborazione con *Occidental Petroleum*) che sta attualmente progettando quello che sarebbe il più grande impianto DAC del mondo, con una capacità di cattura di 1 MtCO₂ all'anno, per l'utilizzo in tecnologia *EOR* (Carbon Engineering, 2020).

5.5.8.3 I costi delle tecnologie BECCS e DAC

Attualmente, la tecnologia *BECCS* è la più economica degli approcci basati sulla rimozione del carbonio; in generale, maggiore è la concentrazione iniziale di CO₂ prima dell'acquisizione, minore è il costo di acquisizione, motivo per cui il *BECCS* è più economico del *DAC*. Nel caso del *BECCS*, la cattura da processi di trasformazione del combustibile (come, ad esempio, produzione di bioetanolo da canna da zucchero o amido) o gassificazione di biomasse (dove sono necessari solo pretrattamento e compressione per catturare CO₂), prevede costi che attualmente vanno da circa 12€/tCO₂ a 25€/tCO₂. La cattura nella produzione di energia da biomassa costa circa 50€/t, mentre la tecnologia *BECCS* applicata ai processi industriali ha un costo di cattura di circa 67€/t (Carbfix, 2021).

Tabella 8 - Costi delle tecnologie e miglioramenti naturali di assorbimento e stoccaggio della CO₂

Approccio	Tipologia	Categoria	Potenziale Rimozione Carbonio (al 2100, GtCO ₂)	Costo (€/TCO ₂)
Bioenergia con CCS	Tecnologia	Attiva	100-1170	12-71
DAC	Tecnologia	Attiva	108-1000	115-291
Miglioramento resistenza agli agenti atmosferici dei minerali	Miglioramento processi naturali	Ricerca e Sperimentazione	100-367	42-169
Biochar	Miglioramento processi naturali	Attiva	78-1468	25-100
Fertilizzazione/Alcalizzazione da Oceani	Miglioramento processi naturali	Ricerca e Sperimentazione	55-1027	-
Rimboschimento/Imboschimento	Tecnologia naturale	Presto in attività	80-260	4-42

5.5.8.4 Requisiti per le tecnologie *BECCS* e *DAC*

Le tecnologie *BECCS* e *DACS* possono svolgere un ruolo decisivo nel portare il sistema energetico globale verso la neutralità carbonica. Tuttavia, permane una notevole incertezza riguardo al potenziale contributo di queste tecnologie nella pratica, in particolare per quanto riguarda i costi e le prestazioni future, la velocità con cui possono essere commercializzate, la comprensione e l'accettazione da parte dell'opinione pubblica, i limiti alla disponibilità di biomassa sostenibile e la rapidità con cui possono essere sviluppate infrastrutture di trasporto e stoccaggio di carbonio. Un recente report dell'*Institute for Energy Economics and Financial Analysis* (Butler, 2020), inoltre afferma come tali tecnologie appaiono "proibitivamente antieconomiche se confrontati con altri sistemi di mitigazione delle emissioni, come l'energia rinnovabile o l'energy storage". Ciò sottolinea la necessità di un'intensa attività di ricerca e sviluppo per garantire che queste tecnologie siano pronte per essere implementate su larga scala entro il prossimo decennio. Sono state inoltre espresse preoccupazioni particolari per quanto riguarda i requisiti del suolo associati sia a *BECCS* che a *DACS*; l'impronta del suolo per *BECCS* è stimata tra 1000 e 17000 km² per Mt di CO₂ rimossa, a seconda di una serie di fattori tra cui l'ubicazione e la fonte della biomassa (ad es. residui forestali e agricoli e colture energetiche appositamente coltivate). Le esigenze di terreno per tecnologia *DAC* sono più piccole, a un massimo di circa 15 km² per Mt di CO₂ rimosso, compreso lo spazio necessario per i pannelli solari fotovoltaici se sono l'unica fonte di energia elettrica utilizzata per il funzionamento degli impianti. I 740 MtCO₂ catturati da *DAC* nel 2070 nello scenario di sviluppo sostenibile *SDS* richiederebbero circa 10500 km² di terreno se si utilizza il fotovoltaico solare, circa un terzo delle dimensioni del Belgio (Global CCS Institute, 2021). Lo stesso livello di rimozione attraverso la pratica del rimboschimento richiederebbe tra 0,5 e 11,5 milioni di km², un'area territoriale più grande degli Stati Uniti (Breyer et al, 2019). I requisiti idrici per la tecnologia *DAC* invece dipendono fortemente dalla tecnologia scelta. *L-DAC* richiede quantità significative di acqua mentre, al contrario, alcune opzioni *S-DAC* producono esse stesse acqua, il che potrebbe essere vantaggioso all'interno di sistemi integrati con domanda idrica come, ad esempio, la produzione di idrogeno (Carbfix, 2021).



Figura 68 - Infrastruttura di ricerca ZECOMIX.

Fonte: <https://www.enea.it/it/laboratori-impianti/impianti-uttei/zecomix-pdf>

5.5.9 Progetti scientifico-sperimentali

5.5.9.1 Il progetto di ricerca ZECOMIX di Enea

L'impianto pilota ZECOMIX (*Zero Emission of Carbon with MIXed technologies*), presente nel centro di ricerca di ENEA Casaccia è una struttura flessibile in cui vengono testate varie tecnologie separate o collegate tra di loro, a basse emissioni di carbonio. Obiettivo principale della struttura è quello di testare la potenza di decarbonizzazione di settori altamente inquinanti come quello dei cementifici e delle acciaierie. Il gassificatore di carbone è un reattore a fluido letto da 500 kWth, progettato per alimentare un carico nominale di 60 kg/h di carbone.

L'impianto è dotato di un deposito di carbone di 2m³, che consente un funzionamento stazionario fino a 40 ore. Vapore e ossigeno vengono alimentati in diversi punti del reattore, al fine di controllare l'idrodinamica del letto fluidizzato (costituito da sabbia olivina) e la velocità di reazione in tutto il reattore. Un *syngas* composto principalmente da H₂, CO, CO₂, viene inviato ad uno scambiatore di calore rigenerativo che ne riduce la temperatura a circa 700-600 °C. Può quindi essere alimentato nel reattore di carbonatazione, o in alternativa ad un dispositivo di lavaggio a base liquida, dopo una seconda fase di raffreddamento fino a 350°C. Il modulo di cattura della CO₂ alto cinque metri è stato concepito come un letto fluidizzato con un diametro interno di 1 metro. Nel letto fluidizzato può essere effettuato anche il *reforming* del CH₄ accoppiato alla cattura della CO₂ mediante sorbenti solidi, al fine di produrre, in un unico passaggio, *gas* ad alto contenuto di H₂.

Le attività di ricerca sono svolte nell'ambito del programma congiunto tra ENEA e Ministero italiano dello sviluppo economico (MISE) e in accordo con progetti internazionali finanziati dall'UE e iniziative europee (Programma congiunto CCS della *European Energy Research Alliance*).

Dal 14 Dicembre 2018 l'impianto è divenuto infrastruttura di ricerca ECCSEL (*European Carbon dioxide Capture and Storage Laboratory infrastructure*); la missione di tale ente di ricerca è quella di offrire un accesso condiviso per ricercatori che lavorano nel campo delle tecnologie di cattura, stoccaggio e utilizzo della CO₂ per l'abbattimento delle emissioni di carbonio dal settore industriale.

5.5.9.2 Le ricerche scientifiche ENI

Attualmente l'azienda multinazionale ENI persegue nel campo sperimentale e scientifico, con la collaborazione del Centro Ricerche di San Donato Milanese e dal Centro Ricerche per le Energie Rinnovabili e l'Ambiente di Novare per la realizzazione del più grande *hub* al mondo per lo stoccaggio di CO₂, nonché primo nel Mediterraneo, al largo di Ravenna. Il progetto prevede la riconversione a siti di stoccaggio esclusivi e permanenti di CO₂ dei giacimenti esauriti dell'Adriatico, che non produrranno più *gas* naturale, ed il riutilizzo di una piccola parte delle infrastrutture esistenti, permettendo, con costi di realizzazione intervento bassi, una soluzione rapida e concreta per la riduzione delle emissioni del settore industriale italiano. Il progetto con una capacità totale di stoccaggio pari a 500 Mton, prevede una portata iniziale di stoccaggio pari a 2,5 Mton/annue di CO₂ per raggiungere in breve tempo le 10 Mton/annue.

A livello internazionale, inoltre ENI è *partner* in due progetti *CCS* in via di realizzazione nel Regno Unito: *HyNet North West*, nell'area della *Liverpool Bay* sulla costa nord-occidentale il quale progetto prevede il riutilizzo dei giacimenti *offshore* esauriti di Eni, quest'ultimo operatore delle attività di stoccaggio e trasporto della CO₂, al fine di ridurre di 3 milioni di tonnellate/anno le emissioni dell'importante polo industriale della zona, nel quale verrà anche realizzato un importante sito di produzione di idrogeno; l'avvio del progetto è previsto per il 2025 con possibilità di espandere la capacità di cattura in una seconda fase. Sempre nel Regno Unito, Eni ha da poco firmato un *cooperation agreement* con altri *partner* entrando nei progetti di *CCS Net Zero Teesside* (Eni 20%) e *North Endurance Partnership* (Eni 16,7%).

L'integrazione dei due progetti consentirà la decarbonizzazione del distretto industriale dell'area *Teesside* nel nord est del Paese. In questo caso lo *start-up* delle attività è previsto nel 2026, con una capacità di cattura e stoccaggio iniziali di 4 milioni di tonnellate/anno di CO₂. Fuori dal territorio europeo, ENI sta realizzando lo studio di fattibilità di un progetto di cattura di CO₂ negli Emirati Arabi Uniti a *Ghasha* e in Libia, per il progetto *Bahr Essalam*, valutando inoltre, negli ultimi mesi, opportunità di sviluppo di progetti di *CCS* in Australia e a *Timor Est*.



Figura 69 - Impianto ENI presso Ravenna.

Fonte: <https://www.eni.com/it-IT/attivita/gestione-anidride-carbonica.html>

5.6 Bibliografia

AA.VV. (2004), *L'atlante del cemento*, UTET, Torino.

AA.VV. (2001), *Tecnologia dei materiali. Ceramiche, polimeri e compositi*, CittàStudi, Milano.

Aalto University (2020), *Building European cities with wood would sequester and store half of cement industry's current carbon emissions*, *Physorg*, Environmental Research Letters. DOI: 10.1088/1748-9326/aba134

Acorn (2020), *The case for re-using infrastructure for CO2 transport and storage*, Final Report.

Addington M., Schodek D. (2005), *Smart materials and technologies*, Elsevier, Oxford.

Ali, A., Juudit, O., Jaana S., Seppo, J. (2020), *Cities as carbon sinks—classification of wooden buildings*, in *Environmental Research Letters*, vol.15, pp. 1-13.

Balaz, P., E. Turianicova, M. Fabian, R.A. Kleiv, J. Briancin, A. Obut (2008), *Structural changes in olivine (Mg,Fe)₂SiO₄ mechanically activated in high-energy mills*, *International Journal of Mineral Processing*.

Bellona (2016), *Manufacturing our future: industries, european regions and climate action - CO2 networks for Ruhr, Rotterdam, Antwerp and the greater Oslo Fjord*, Brussels, Belgium. Available at: https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2016/10/manufacturing_our_future_industries_eu_regions_and_climate_final.pdf.

Beumelburg, C. (2020), *Heidelberg Cement, Sustainability Report 2020*. Available at: https://www.heidelbergcement.com/en/system/files_force/assets/document/71/51/heidelbergcement-fact-sheet-carbon_emission-reporting.pdf?download=1.

Bever M. et al. (1994), *The Encyclopedia of Advanced Materials*, Elsevier, Oxford.

Boot-Handford et al. (2014), "Carbon capture and storage update", *Energy & Environmental Science*, vol. 7, pp. 130-189.

Bosoaga, A., Masek, O., & Oakey, J. E. (2009), *CO2 Capture Technologies for Cement Industry*. *Energy Procedia*, vol.1(1), pp.133–140. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.020>.

Breyer, C. et al. (2019), *Direct air capture of CO2: A key technology for ambitious climate change mitigation*, *Joule*, Vol. 3-9, pp. 2053–2057.

Bruce, S., Temminghoff, M., Hayward, J., Schmidt, E., Munnings, C., Palfreyman, D., & Hartley, P. (2018),

National Hydrogen Roadmap. Available at: https://www.csiro.au/~media/Do-Business/Files/Futures/18-00314_EN_NationalHydrogenRoadmap_WEB_180823.

Butler, C. (2020), *Carbon Capture and Storage Is About Reputation, Not Economics*, Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA).

Cárdenas C., Tobón I., J., C. García, C., J. Vila, J. (2021), *Construction and Building Materials*, vol. 36 pp. 820–825.

C.P. Ingegnere (2017), *Il Calcestruzzo drenante, caratteristiche "green" e principali impieghi*. Ingenio.c.a.

CarbFix (2021), *The Carbfix Project*. Available at: <https://www.carbfix.com/>.

Carbon Engineering (2019), *CE expanding capacity of commercial Direct Air Capture plant*. Available at: <https://carbonengineering.com/news-updates/expanding-dac-plant/>.

Carbon Engineering (2020), *Direct Air Capture Technology | Carbon Engineering*. Available at: <https://carbonengineering.com/our-technology/>.

Carbon Engineering. (2020), *Carbon Engineering: Our Technology. Website*. Available at: <https://carbonengineering.com/our-technology/>.

Carotti A., Benetti P. (1999), *Materiali avanzati e compositi*, Pitagora, Bologna.

Caturano U. (a cura di) (1996), *Le tecnologie dei materiali tra progetto e innovazione*, FrancoAngeli, Milano.

Ceruti F., Luciano A., Luprano V. (2019), *Ottimizzare la filiera della costruzione e demolizione*, ENEA.

Cher Hon Lau et al. (2013), "Reverse-selective polymeric membranes for gas separations", *Progress in Polymer Science*, vol. 38, issue 5, pp. 740-766.

Choi, S. et al. (2020), 'Thermal design of dual circulating fluidized bed reactors for a large-scale CO₂ capture system', *Applied Thermal Engineering*, 171. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115114.

Circle Economy (2019), *The Circularity Gap Report 2019*. Circle Economy, Amsterdam, Netherlands.

Climeworks (2020), *Breaking the record for the largest ever investment into direct air capture: Investment into Climeworks boosted to CHF 100 Million (USD 110M)*. Available at: <https://climeworks.com/news/recent-investment-in-climeworks-has-been-boostedfrom>.

Climeworks (2020), *Our Technology | Climeworks – Capturing CO₂ from Air*. Available at: <https://www.climeworks.com/our-technology/>.

CO2 Stored data (2021), *Final Report*. Available at: <http://www.CO2stored.co.uk>

CO2RE Database (2021), *Global CCS Institute*. Available at: <https://CO2re.co/>.

CO2StoP (2020), *European CO2 storage database, CO2 Storage Potential in Europe (CO2StoP)*. Available at: <https://setis.ec.europa.eu/european-CO2-storage-database>.

Committee on Climate Change (2019), *Net Zero: The UK's contribution to stopping global warming*. Available at: www.theccc.org.uk/publications.

Consoli, C. P. (2018), *CCS Storage Indicator (CCS-SI)*, Global CCS Institute.

CRI (2019), *The George Olah Renewable Methanol Plant, Carbon Recycling International (CRI)*.

Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J. and Vignati, E. (2019), *Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries, Publications Office of the European Union, Luxembourg*.

Deborah D. L., Chung, L. (1994), *Carbon Fiber Composites*, Butterworth-Heinemann.

Dhoke, C., Cloete, S., Krishnamurthy, S., Seo, H., Luz, I., Soukri, M., Park, Y., Blom, R., Amini, S., & Zaabout, A. (2020), *Sorbents screening for post-combustion CO2 capture via combined temperature and pressure swing adsorption. Chemical Engineering Journal*, vol.380. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122201>.

D.lgs. 152/06 e s.m.i., *Codice dell'Ambiente (TUA)*.

DOE/NETL (2015), *NATCARB/ATLAS Report*. Available at: <https://www.netl.doe.gov/coal/carbonstorage/strategic-program-support/natcarb-atlas>.

DOE/NETL (2020), *CarbonSAFE Report*. Available at: <https://www.netl.doe.gov/coal/carbon-storage/storageinfrastructure/carbonsafe>.

Edwards, R. and Celia, M. (2018), *Infrastructure to enable deployment of carbon capture, utilization, and storage in the United States*, vol.115 (38). Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1806504115>.

EEA (2020), *Cutting greenhouse gas emissions through circular economy actions in the buildings sector*.

EFTA Surveillance Authority (ESA) (2020). *ESA approves Norwegian Full-Scale Carbon Capture and Storage: up to €2.1bn in aid to meet climate goals*. Available at: [https://www.eftasurv.int/newsroom/updates/esa-approves-norwegian-full-scalecarbon-capture-and-storage eu21bn-aid-meet](https://www.eftasurv.int/newsroom/updates/esa-approves-norwegian-full-scalecarbon-capture-and-storage-eu21bn-aid-meet).

ENEA (2013), "*Sperimentazione di sistemi di cattura post-combustione*", Report RdS/2013/197, Sotacarbo.

ENEA (2016), "*Preparazione e test di membrane per la separazione della CO₂ e la purificazione del synthetic natural gas*". Report RdS/PAR2015/255.

ENEA (2017), *Valutazione delle prestazioni ambientali della riqualificazione di edifici verso N-ZEB tramite metodologia LCA*.

Enkvist, P-A. and Klevnäs, P. (eds.), (2018), *The circular economy – a powerful force for climate mitigation. Material Economics*, Stockholm, Sweden. <https://media.sitra.fi/2018/06/12132041/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation.pdf>.

ERVIA (2020), *Carbon Capture and Storage Report*. Available at: <https://www.ervia.ie/who-we-are/carboncapture-storage/>.

European Commission (2009), *Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU*, final report.

European Commission (2012), *Una strategia europea per le tecnologie abilitanti – Un ponte verso la crescita e l'occupazione*, COM(2012) 341 final.

Eurostat (2019a), *Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity*.

Fajardy, M., Koberle, A., Mac Dowell, N., & Fantuzzi, A. (2019), *BECCS deployment: a reality check*. Grantham Institute, vol.28(28), pp.1-14.

Federbeton Confindustria (2019), *Rapporto di Sostenibilità 2019*.

Ferrara, L. (2016), *Five years of research experience at Politecnico di Milano on selfhealing cement based materials*, in *Advances in Cement and Concrete Technology in Africa*, pp. 17-30.

Franzoni, E. Fregni, A., Gabrielli, R., Graziani, G., Sassoni, E. (2014), "*Compatibility of photocatalytic TiO₂-based finishing for renders in architectural restoration: a preliminary study*", Elsevier.

FuelCellsWorks (2020), *Hazer Commercial Demonstration Hydrogen Project Receives Final Investment Decision Approval*. Available at: fuelcellsworks.com/news/hazer-commercialdemonstration-hydrogen-project-receives-final-investment-decision-approval/.

Fujishima, A., Rao, T.N., Tryk, D.A., (2000), *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 1., pp. 1–21.

General Secretarian For Development Planning (2008), July 2008, *General Secretariat For Development Planning* (Issue July). Available at: www.planning.gov.qa.

Ghedini E., Taghavi S., Menegazzo F., Signoretto M. (2021), *A review on the efficient catalysts for algae transesterification to biodiesel*, in *Sustainability*, vol. 13, pp. 10479.

Global CCS Institute (2021), *CO2RE database – Facilities Report*. Available at: www.CO2re.co

Global CCS Institute (2021), *Global Status of CCS 2020*.

Global Thermostat (2020), *A Unique Capture Process - Global Thermostat*. Available at: <https://global-thermostat.com/a-unique-capture-process/>.

Government of Saudi Arabia (2016), *Vision 2030 Kingdom of Saudi Arabia*. Report, pp. 1–85. Available at: <https://vision2030.gov.sa/download/file/fid/417>.

Government of the United Kingdom (2019), *Re-use of oil and gas assets for carbon capture usage and storage projects Report*, UK.

Han, B., Zhang, L. (2015), *Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures*, Springer.

Haszeldine, R. S. et al. (2018), *Negative emissions technologies and carbon capture and storage to achieve the Paris Agreement commitments*, vol.376, pp. 201-2019. Available at: <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0447>.

Hegger M. et al. (2006), *Atlante dei materiali*, UTET Scienze Tecniche, Torino.

Hydrocarbon Processing (2018), *ADNOC to expand Carbon Capture, Use & Storage technology for Enhanced Oil Recovery Report*. Available at: <https://www.hydrocarbonprocessing.com/news/2018/02/adnoc-to-expand-carbon-capture-usestorage-technology-for-enhanced-oil-recovery>.

House Select Committee on the Climate Crisis (2020), *Solving the Climate Crisis: The Congressional Action Plan for a Clean Energy Economy and a Healthy, Resilient, and Just America Report*. Available at: <https://climatecrisis.house.gov/report>.

Hüsken, G., Hunger, M., Brouwers, H.J.H. (2009), *Experimental study of photocatalytic concrete products for air purification*, *Build Environmental*, vol. 44, pp. 2463–2474. doi:10.1016/j.buildenv.2009.04.010.

IEA (2019), *The Role of CO2 Storage*, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-co2-storage>.

IEA (2019), *Transforming Industry through CCUS*, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/transforming-industry-through-ccus>.

IEA (2019c), *Putting CO2 to Use Report*, Paris, France.

IEA (2020), "*Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage*", IEA, Paris. Available at: https://www.researchgate.net/publication/345807050_ETP_2020_Special_Report_on_Carbon_Capture_Utilisation_and_Storage_CCUS_in_clean_energy_transitions/link/5fae60ff4585150781138339/download.

IEA (2020), *CCUS in the transition to net-zero emissions, Report extract*, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions>.

IEA (2020), *Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture Utilization and Storage*. Available at: <https://webstore.iea.org/download/direct/4191>.

IEA (2020a), *Data and statistics*. Available at: [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WEOMIDEAST&fuel=CO2 emissions&indicator=CO2 emissions by energy source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WEOMIDEAST&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source).

IEA (2020a), *Energy Technology Perspectives 2020*, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.

IEA (2020d), *ETP Clean Energy Technology Guide*, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/articles/etp-cleanenergy-technology-guide>.

IEA (2021), *Global Energy Review 2021*, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021> IEA Greenhouse Gas 2001, final Report.

IEA (2021), *Key World Energy Statistics 2021*, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>.

IEA analysis based on IEAGHG (2013), *CO2 pipeline infrastructure report 2013/18*, IEAGHG. Available at: https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/2013-18.pdf.

IEA, (2020), *Clean Energy Innovation*, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/clean-energyinnovation>.

IEAGHG (2009a), *CO2 Storage in Depleted Gas Fields* (Issue 2009/01).

IEAGHG (2017), *CO2 Storage in Depleted Gas Fields* (Issue 2017/01).

IEAGHG (2019b), *Towards Zero Emissions CCS in Power Plants Using Higher Capture Rates or Biomass*,

IEAGHG. Available at: <https://climit.no/app/uploads/sites/4/2019/09/IEAGHG-Report-2019-02-Towards-zero-emissions.pdf>.

IISA (2018), *IAMC 1.5°C Scenario Explorer hosted by IISA*. Available at: <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer/#/workspaces>.

Inoue, T., Fujishima, A., Konishi, K., Honda, K. (1979), *Insight from DFT*, in *Nature*, vol. 277, pp. 637-638.

International CCS Knowledge Centre (2018), *The Shand CCS Feasibility Study Public Report*. Available at: https://ccsknowledge.com/pub/documents/publications/Shand%20CCS%20Feasibility%20Study%20Public%20_Full%20Report_NOV2018.pdf.

International Energy Agency (2019), *The Future of Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities*. Report Prepared by the IEA for the G20, Japan, June.

International Energy Agency (2020b), *Hydrogen*. Available at: <https://www.iea.org/reports/hydrogen>.

IPCC, (2005) *Cambridge University Press*, UK. pp 431. Available at Cambridge University Press, The Edinburgh Building Shaftesbury Road, Cambridge CB2 2RU.

Irlam, L. (2017), *Global Costs of Carbon Capture and Storage*. Global CCS Institute.

Ispra (2021), *Rapporto rifiuti speciali anno 2021*. Ispra Ambiente.

Kobayakawa, K., Sato, C., Sato, Y., Fujishima, A. (1998), *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 118, pp. 65-69.

Kočí, K., Obalová, L., Lacný, Z. (2008), *Chemical Paper*, vol. 62, pp. 1-9.

Kiesgen de Richter, R., Ming, T., Caillol, S. (2013), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 82-106.

Knapik, E., Piotr, K. and Jerzy, S. (2017), "Cryogenic liquefaction and separation of CO₂ using nitrogen removal unit cold energy." *Chemical Engineering Research & Design*, vol. 131, pp. 66-79.

Kuckshinrichs W., Hake J., (2015), *Carbon Capture, Storage and Use*, Springer International Publishing.

Kwon, S. (2011), 'Mineralization for carbon dioxide sequestration using olivine sorbent in the presence of water vapor', Georgia Institute of Technology. Available at: <https://search-ebSCOhost-com.ezproxy.uniroma1.it/login.aspx?direct=true&db=edselc&AN=edselc.2-52.0-84860157516&lang=it&site=eds-live&scope=site>.

Yaumi, L., AbuBakar, M. (2017), "Recent advances in functionalized composite solid materials for carbon dioxide capture", *Energy*, vol. 124, pp. 461-480.

Langella C. (2003), *Nuovi paesaggi materici*, Alinea editrice, Firenze.

Lee, D., Kanai Y., (2012), *Journal of American Chemistry Society*, vol. 134, pp.20266–20269.

Lehne, J., & Preston, F. (2018), *Making Concrete Change; Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. Chatham House Report*, pp. 1–122. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032163>.

Lo, C.C., Hung, C.H., Yuan, C.S., Wu, J.F. (2007), *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 91, pp. 1765– 1774.

Luis, P., Van Gerven, T. and Van der Bruggen, B. (2012), 'Recent developments in membrane-based technologies for CO₂ capture', *PROGRESS IN ENERGY AND COMBUSTION SCIENCE*, 38(3), pp. 419–448.

Mu For, M. Of, T. (2013), *Concrete, Transparent Concrete As a Green*, vol.2, pp. 172–175.

Manzini E. (1986), *La materia dell'invenzione*, Arcadia Edizioni, Milano.

McDermott. (2020). *McDermott Awarded Pre-FEED for Net Power UK Project*.

Ministry of Economy, Trade and Industry, J. (METI) (2021), 'Asia CCUS Network' has launched. Available at: https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0622_001.html.

Morrison, S. (2020), *Investment in New Energy Technologies*, Australian Government.

NEDO (2020), *Environmental Innovation Strategy Overview*. Available at: <https://www.nedo.go.jp/content/100904224.pdf>

NET Power (2019), *NET Power Presentation*, NET Power. Available at: <https://energyatkenanflagler.unc.edu/wp-content/uploads/2019/04/NET-Power-UNC-DamianBeauchamp-March-29-2019.pdf>.

Net Zero Teesside (2019), *Partners - Net Zero Teesside*. Available at: <https://www.netzeroteesside.co.uk/partners/>.

Northern Lights (2019), *Northern Lights – A European CO₂ transport and storage network*. Available at: <https://northernlightsccs.com/en/about>.

Northern Lights PCI (2020), *CCS and the EU COVID-19 Recovery Plan - The positive economic impact of a European CCS ecosystem*. Available at: <https://northernlightsccs.com/assets/documents/Northern-Lights-PCI-Memorandum-Value-of-a-European-CCS-Ecosystem-in-Green-Recovery.pdf>.

NRG (2020a), *Petra Nova - Carbon capture and the future of coal power*. Available at: <https://www.nrg.com/case-studies/petra-nova.html>.

OGCI (2019), *Scaling up action - aiming for net zero emissions*. Available at: <https://oilandgasclimateinitiative.com/wp-content/uploads/2019/10/OGCI-Annual-Report-2019.pdf>.

OGCI (2020), *CO2 Storage Resource Catalogue*. Available at: <https://oilandgasclimateinitiative.com/CO2-storage-resource-catalogue/>.

OGCI (2020), *Talking Transition Building a global portfolio to enable CCUS*. Available at: <https://oilandgasclimateinitiative.com/building-a-global-portfolio-to-enable-ccus/>.

Oil and Gas Climate Initiative (OGCI) (2020), *Global CO2 Storage Resource Catalogue*. Available at: <https://oilandgasclimateinitiative.com/CO2-storage-resourcecatalogue/>.

Olivier J., Janssens-Maenhout G., Muntean M. and Peters J. (2016), *Trends in global CO2 emissions: 2016 Report*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Oman Vision 2040 (2021), *Oman Vision 2040*. Available at: <https://www.2040.om/en/#Oman2040>.

Paraskova, T. (2019), *Qatar Builds, The Biggest Carbon*, in *Oilprice.com*. Available at: <https://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/Qatar-Builds-The-Biggest-Carbon-Capture-Plant-In-The-Middle-East.html>.

Pearl, H. (2020), *China's carbon neutral energy pledge adds more weight to 14th five-year plan for 2021-25*. South China Morning Post. Available at: <https://www.scmp.com/economy/chinaeconomy/article/3102826/chinas-carbon-neutral-energypledge-adds-more-weight-14th>.

Porthos Development C.V (2021), *Dutch government supports Porthos customers with SDE++ subsidy reservation*, Website. Available at: <https://www.porthosCO2.nl/en/dutch-governmentsupports-porthos-customers-with-sde-subsidy-reservation/>.

Qamar energy (2021), *GCCSI webcast Report*. Available at: <https://www.qamarenergy.com/>.

Ramboll et al. (2020), *The decarbonisation benefits of sectoral circular economy actions*, EEA.

Rassool, D. (2021), *Unlocking Private Finance to Support CCS Investments Report*. Available at: <https://www.globalccsinstitute.com>

RICS Research (2010), *Redefining Zero: Carbon profiling as a solution to whole life carbon emission measurement in buildings*. RICS, London, UK.

Rotterdam CCUS (2020), *CO2 reduction through storage beneath the North Sea*. Available at: <https://www.rotterdamccus.nl/en/>.

Sandrine, S., Olivia, R. (2017), *Carbon capture and storage: Lessons from a storage potential and localization analysis*, in *Applied Energy*, vol.188, pag. 32-44.

Saudi Aramco (2020), *International Offering Circular*, vol. 19, issue 1. Available at: <https://www.aramco.com/-/media/images/investors/saudi-aramco-prospectus-en.pdf>.

Seiser, R., Pitsch, H., Seshadri, K., Pitz, W.J., Curran, H.J. (2000), *Extinction and autoignition of n-heptane in counterflow configuration*, vol.28, pp.2029-2037.

Seon-Yeong, K., Juan Pablo, G., Tedrick, T. S. L., Min, H. W., Pingwei, L., Yun, J. Y., Volodymyr, B. K., Melissa, K. M., Bradley, D. O., Michael, S. S. (2018), *Polymethacrylamide and Carbon Composites that Grow, Strengthen, and Self-Repair using Ambient Carbon Dioxide Fixation*.

Singapore National Climate Change Secretariat, Strategy Group, P. M. O. (2020), *Charting singapore's lowcarbon and climate resilient future*. Available at: <https://www.nccs.gov.sg/docs/default-source/publications/nccsleds.pdf>.

Sinopoli N. (2005), *"L'invenzione di nuovi materiali per l'architettura"*, in *Rassegna - L'architetto inventore*, n. 80, pp. 102-111.

Smit B., Reimer J. A., Olbenburg C. M., Bourg I. (2014), *Introduction to carbon capture and sequestration, The Berkeley Lectures on Energy*, Vol. 1, Imperial College Press.

SNPA (2020), *Linee Guida per l'applicazione della disciplina dell'end of waste (EoW)*. SNPA Ambiente.

Stattmann N. (2003), *Ultra light – super strong. A new generation of design materials*, Birkhauser, Basel.

Sunada, K., Kikuchi, Y., Hashimoto, K., Fujishima A. (1998), *Environmental Science Technology*, vol.32, pp.726–728.

Sung-Han Han et al. (2015), *"Conversion of SF6 by thermal plasma at atmospheric pressure"* in *ISPC Conference*. Available at: <https://www.ispc-conference.org/ispcproc/papers/209.pdf>.

Tahir, M., Tahir, B., N.A.S. Amin (2015), *Applied Surface Science*, vol.356, pp. 1289–1299.

Tel-tek (2012), *Carbon Capture and Storage in the Skagerrak/Kattegat region*. Available at: <https://interreg-oks.eu/webdav/files/gamlaprojektbanken/se/Material/Files/Kattegat/Skagerrak/Dokumenter+projektbank/CCS final report.pdf>.

The ACT3 (2020), *Accelerating CCS Technologies*. Available at: <http://www.act-ccs.eu/s/Slides-ACT-webinar-26-August-2020.pdf>.

Thomas O. Nelson et al. (2014), “Solid Sorbent CO₂ Capture Technology Evaluation and Demonstration at Norcem’s Cement Plant in Brevik, Norway”, *Energy Procedia*, vol. 63, pp. 6504-6516.

UK Government (2020), *Budget 2020 Report*. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/871799/Budget_2020_Web_Accessible_Complete.pdf.

UNI/PdR 75:2020 (2020), “Decostruzione selettiva - Metodologia per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un’ottica di economia circolare”.

US DoE/NETL (2015), *Carbon Storage Atlas. National Energy Technology Laboratory*. Available at: <https://www.netl.doe.gov/coal/carbon-storage/strategic-program-support/natcarb-atlas>.

Usubharatana, P., McMartin, D., Veawab, A., Tontiwachwuthikul, P. (2006), *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol.45 pp. 2558-2568.

Van Tittelboom, K., N. De Belie (2013), *Self-healing in cementitious materials-a review*. doi: 10.3390/ma6062182.

Venture Global LNG (2021), *Venture Global Launches CarbonCapture and Sequestration Project*. Available at: <https://venturegloballng.com/press/venture-global-launchescarbon-capture-and-sequestration-project/>.

Wei, N. et al. (2015), *Economic evaluation on CO₂-EOR of onshore oil fields in China*, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol. 37, pp. 170–181, Elsevier.

Wong,S. and Bioletti,R. (2002), *Carbon Dioxide Separation Technologies; Carbon and Energy Management*. Alberta Research Council Report.

World Resources Institute (2016), *World-greenhouse-gasemissions-2016 Report*. Available at: <https://www.wri.org/resources/data-visualizations/world-greenhouse-gasemissions-2016>.

Yuranova, T., Sarria, V., Jardim, W., Rengifo, J., Pulgarin, C., Trabesinger, G. and Kiwi J. (2007),“*Photocatalytic discoloration of organic compounds on outdoor building cement panels modified by photoactive coatings*”, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem*, vol. 188, pp. 334-341.

Zero Carbon Humber (2019), *Zero Carbon Humber Infographic*. Available at: <https://www.zerocarbonhumber.co.uk/wp-content/uploads/2019/11/Capture-for-Growth-Zero Carbon Humber-V4.9-Digital.pdf>.

Zero Emissions Platform (ZEP) (2011), *The Costs of CO₂ Transport*, Brussels, Belgium.

Zimmermann R.T. Bremer, J., Sundmacher, K. (2020), “*Optimal catalyst particle design for flexible fixed-bed CO₂ methanation reactors*”, *Chemical Engineering Journal*, vol. 387, 123704.

5.7 Sitografia

<https://www.agg-net.com/news/lignacite-launch-world-s-first-carbon-negative-block>

https://www.archiproducts.com/it/notizie/ilcemento-come-vettore-di-luce_42085

<https://www.airlite.com/2021/02/25/airlite-tecnologia-unica-nel-mondo/>

<https://www.ascentproject.eu>

<https://blog.federbeton.it/i-calcestruzzi-innovativi-limpegno-del-settore-per-vincere-la-sfida-della-sostenibilita-delle-costruzioni/>

<https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>

<https://www.circularity-gap.world/>

<https://www.colabeton.it/magazine/grande-successo-per-il-calcestruzzo-fotoluminescente-brightstone-alla-fiera-saie-di-bologna>

<http://www.CO2stored.co.uk/home/index>. CO2 stored

<http://www.c8s.co.uk>

<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-reports/construction-and-demolition-waste-challenges-and-opportunities-in-a-circular-economy>

<https://www.eni.com/it-IT/attivita/gestione-anidride-carbonica.html>

<https://www.equilibrium-bioedilizia.it/it/prodotto/biomattone>

<https://www.enea.it/it/laboratori-impianti/impianti-uttei/zecomix-pdf>

<https://www.erlus.com>

<https://www.federalismi.it/nv14/articolo-documento.cfm?Artid=44125>

<https://www.ferraribk.it/sostenibilita/pavimentazioni-anti-smog>

<https://www.globalengineering.info>

<https://www.ita.calameo.com>- Il perito industriale - "Progettare - Dirigere - Costruire - Collaudare", n°1/2011, Sergio Colombo

<https://www.italcementi.it/it/il-cemento-al-grafene-che-conduce-lelettricita-e-puo-riscaldare-le-case-al-mobile-world-congress>

<https://www.italcementi.it/it/palazzo-italia-expo-2015>

<https://www.manchester.ac.uk/discover/news/greener-and-cheaper-graphenemanchester-solves-concretes-big-problem/>

<https://www.materialconnexion.com>

<https://www.metsawood.com>

<https://www.offshore-energy.biz/statoil-sets-timeline-for-utsira-high-power-supply/>

<https://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/Qatar-Builds-The-Biggest-Carbon-Capture-Plant-In-The-Middle-East.html>

<https://oilandgasclimateinitiative.com/CO2-storage-resource-catalogue/>.

<https://www.paver.it/sostenibilita/serie-fotocatalitica>

<https://www.pilkington.com/it-it/it/architetti/il-vetro-autopulente>

<https://www.sapsistemi.it/news/vetri-autopulenti.html>

<https://www.sistem.it/sistemi-costruttivi/platform-frame/> <https://www.sistem.it/sistemi-costruttivi/platform-frame/>

<https://www.teknoring.com/news/materiali-da-costruzione/la-fibra-di-canapa-come-isolante-funzione-secondo-i-nuovi-test-dellenea/>

<http://www.unibg.it/dati/corsi/32000/29614-Catalisi.PDF>

<https://www.westwing.it/inspiration/lifestyle/sostenibilita/materiali-isolanti/>

https://it.qwe.wiki/wiki/Ionic_liquids_in_carbon_capture 22/09/2020.

<https://www.zeroemissionsplatform.eu>

ABSTRACT (INGLESE)

This chapter introduces the strategic axis of grey solutions, taking into account all the innovative and advanced technologies, processes and materials currently available in the field of building and construction able to absorb and store carbon. The methodology introduced, illustrated in its structure in this chapter and in detail in Chapter 6, is aimed at surveying and researching, in a multi-scalar context, large-scale industrial solutions and processes capable of reducing carbon emissions into the atmosphere from the main sectors that emit the most greenhouse gases. The first research phase of this chapter is based on the knowledge of the new Key Enabling Technologies (KETs) introduced in the Horizon 2020 program, evolved in the new Horizon Europe 2021-2027 program, focusing on the Key "Innovative Materials". This methodological-procedural approach has laid the groundwork for the research of Innovative Structural Materials able to contribute, in the phases of realization, production and operation, to the reduction of carbon produced and in some cases the absorption and storage within its molecular structure. Particular attention has been paid to innovative materials coming from aggregates of building demolition as they are strategic in order to avoid new carbon emissions and from the processing of municipal solid waste (MSW) used experimentally for the production of building blocks. The second part of the chapter describes the methodology used for the realization of the Innovative Materials Data Sheets in Appendix 2 of this thesis. For each material, the first section describes the main characteristics, the environmental certifications achieved, the applications, the sensory properties (gloss, translucence, atomic structure, smell, hardness, temperature and acoustics) and technical properties (fire resistance, weathering, abrasion and weight); this in order to immediately identify the strengths and weaknesses of a material according to the needs of the client for the chosen field of application. In the second section there is a description of the advantages for the producer and the consumer with regard to the responses of the same to technical-energetic stresses. The third section of the sheet is characterized by the synthesis of environmental characteristics that distinguish the material such as the ability, for some, to absorb carbon like tree species and the ability to absorb air pollutants. There is also a qualitative indicator with five parameters in order to highlight the merits and potential of each material analyzed. The fourth and last section is related to the detailed photographic documentation of the material itself highlighting the fields and cases of application.

CAPITOLO 6 Topic di indagine. Introduzione alla metodologia *grey*

ABSTRACT

Il presente capitolo introduce l'asse strategico delle soluzioni *grey* considerando complessivamente tecnologie, processi e materiali innovativi e avanzati ad oggi disponibili nel campo dell'edilizia e delle costruzioni in grado di assorbire e stoccare carbonio. La metodologia introdotta, illustrata nella sua strutturazione nel presente capitolo e in modo dettagliato nel Capitolo 6, è volto al censimento alla ricerca, in ambito multi-scalare, di soluzioni e processi industriali a larga scala in grado di ridurre le emissioni di carbonio in atmosfera dai principali settori maggiormente emettitori di tale *gas* climalterante. La prima fase di ricerca del presente capitolo si basa sulla conoscenza delle nuove *Key Enabling Technologies (KETs)* introdotte nel programma *Horizon 2020*, evolute nel nuovo programma *Horizon Europe 2021-2027*, ponendo l'attenzione sulla Key "Materiali Innovativi". Questa impostazione metodologica-procedurale ha posto le basi per la ricerca di Materiali Innovativi strutturali in grado di contribuire, nelle fasi di realizzazione, produzione e esercizio, alla riduzione di carbonio prodotto e in alcuni casi l'assorbimento e lo stoccaggio all'interno della propria struttura molecolare. Particolare attenzione è stata posta ai materiali innovativi provenienti da inerti di demolizione edilizia in quanto strategici al fine di evitare nuove emissioni di carbonio e dalla lavorazione dei rifiuti solidi urbani (RSU) impiegati sperimentalmente per la produzione di blocchi edilizi. Il capitolo nella seconda parte descrive la metodologia utilizzata per la realizzazione delle Schede dei Materiali Innovativi censiti presenti nella Appendice 2 della presente tesi. Per ogni materiale sono stati descritte, nella prima sezione, le caratteristiche principali, le certificazioni ambientali conseguite, le applicazioni, le proprietà sensoriali (lucentezza, traslucenza, struttura atomica, odore, durezza, temperatura e acustica) e tecniche (resistenza al fuoco, agli agenti atmosferici, alle abrasioni e peso); ciò al fine di identificare subito i punti di forza e di debolezza di un materiale secondo l'esigenza della committenza per il campo di applicazione scelto. Nella seconda sezione vi è una descrizione dei vantaggi per il produttore e il consumatore relativamente alle risposte dello stesso alle sollecitazioni tecnico-energetiche. La terza sezione della scheda è caratterizzata dalla sintesi dei caratteri ambientali che contraddistinguono il materiale come la capacità, per alcuni, di assorbire carbonio al pari delle specie arboree e la capacità di assorbimento di inquinanti atmosferici. Presente infine un indicatore qualitativo a cinque parametri al fine di evidenziare i pregi e le potenzialità di ogni singolo materiale analizzato. La quarta e ultima sezione è relativa alla documentazione fotografica di dettaglio del materiale stesso evidenziando i campi e casi di applicazione.

6.1 Materiali e Metodi del *Topic* di indagine

Le strategie e le soluzioni “*grey*” prendono in considerazione la sistematizzazione delle tecnologie, dei processi e dei materiali innovativi ed avanzati ad oggi disponibili al fine di assorbire e stoccare la CO₂. La metodologia introdotta si basa sulla strutturazione del *Topic* di Indagine, illustrato nel Capitolo 6, in ambito multi-scalare volto alla ricerca di materiali innovati e processi industriali a larga scala in grado di ridurre la concentrazione atmosferica di carbonio secondo differenti tecnologie. Suddetta fase è stata strutturata secondo una prima fase d’indagine volta alla ricerca dello Stato di fatto relativo a tali ambiti di indagine; nello specifico, a partire dalle nuove *Key Enabling Technologies (KETs)* adottate nel programma *Horizon 2020* ed implementate nel nuovo Programma *Horizon Europe 2021-2027*, si è posta l’attenzione sulla Key “Materiali Innovativi”.

Quest’ultima ha posto le basi scientifiche al fine di ricercare Materiali strutturali avanzati nel campo dell’edilizia e delle costruzioni in grado di contribuire, nelle fasi di produzione o in esercizio, di ridurre, assorbire e stoccare carbonio nella propria struttura molecolare. Nello specifico, al fine di definire un quadro completo, sono stati analizzati e ricercati i Materiali strutturali avanzati di costituzione cementizia, i Materiali a proprietà superficiali quali i fotocatalitici, i Nano rivestimenti per involucri fotocatalitici e i Materiali Naturali con proprietà di *embodied carbon*, analizzandone per ognuno le caratteristiche di composizione chimica e di contribuzione attiva o passiva, alla riduzione di carbonio in atmosfera.

Specificata attenzione è stata poi posta al recupero dei materiali da costruzione e demolizione nell’ambito edilizio in quanto centrali e strategici al fine di ridurre le elevate emissioni di CO₂ di tale settore, analizzando la circolarità dei materiali edili e la produzione, da scarti delle lavorazioni e dai rifiuti solidi urbani (RSU) di inerti e di blocchi per i processi edilizi.

La definizione di un quadro completo dei materiali innovativi in grado di contribuire alla riduzione e stoccaggio di carbonio nell’atmosfera, ha permesso la realizzazione di schede tematiche, descritte nella definizione e nei contenuti, nella Appendice dedicata.

La seconda fase di ricerca del *Topic* di indagine si è concentrata nella definizione di CO₂, nelle tecnologie di cattura in fase di *post-combustione* in quanto maggiormente utilizzate nella filiera del settore dell’edilizia e delle costruzioni, nelle tipologie di compressione e successivo trasporto attraverso impianti condotti o navale.

Le metodologie di cattura e stoccaggio di carbonio ad oggi risultano incentrate e progettate su scala industriale, spesso a supporto di impianti già esistenti quali cementifici e acciaierie, pertanto la ricerca si è incentrata sulle tecnologie attive e passive presenti in ambito mondiale.

Tecnologie quali il *Carbon Capture and Storage (CCS)*, il *Carbon Capture and Utilization (CCU)*, in grado di stoccare grandi quantità di carbonio nel sottosuolo e forme di assorbimento e stoccaggio definite “a energia positiva” quali il *Direct Air Capture (DAC)* e il *Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS)* prevedono, dal processo, la generazione di energia o materiali, generando emissioni negative se alimentate con combustibile biogenico.

Per tale fase di ricerca *milestone* fondamentale è risultato il *Report del Global CCS Institute 2021* al fine di realizzare uno *status* globale degli impianti ad oggi attivi con *focus* panoramiche dettagliate per ogni area geografica del globo quale America, Europa, Asia & Australia, Arabia Saudita & UAE.

Sono stati successivamente definiti ed analizzati gli *output* energetici e gli sviluppi in corso ad oggi maggiormente presenti in ambito mondiale da tali tecnologie quali il settore dell’Industria del cemento e dell’acciaio, la produzione di Idrogeno, di Gas Naturale, di Energia elettrica e di processi di riutilizzo del carbonio stoccato quale la Carbonatazione minerale artificiale.

Tale fase di *Topic* di Indagine si conclude con le prospettive future, gli aspetti positivi e le restrizioni che tali tecnologie oggi presentano, illustrando progetti scientifico-sperimentale in corso da parte della comunità scientifica mondiale e di aziende del settore petrolchimico. Il *focus* di ricerca presente nel *Topic* di indagine è stato condotto con metodologia parametrica ed euristica attraverso la consultazione documenti scientifici, *paper*, casi studio, libri e capitoli in libri e affini, è stata posta al fine di impostare un solido *background* scientifico al fine di definirne lo stato dell’arte. La ricerca si è articolata secondo tre punti principali:

- *literature review*: prime ipotesi, anche mediante uso di mappe concettuali, per la costruzione del *background* scientifico; in tale fase temporale è stata introdotta la metodologia della *Rapid Review*;
- impostazione della *Literature Review*: volta a chiarire, definire,

mappare i concetti, organizzare e catalogare una *Scoping Review*; in tale fase temporale è stato introdotto l'utilizzo di piattaforme *Cloud*, sistematiche e organizzative come *Mendley* e fogli di raccolta dati *Excel della Suite Office 2020*;

- metodologia per la *Review* della letteratura scientifica: utilizzo principale, causa restrizioni dovute alla pandemia da *COVID-19*, delle principali piattaforme di consultazione online (la principale *Discovery Sapienza*) messe a disposizione della Università Sapienza di Roma e consultazione di specifici testi nella Biblioteca del Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura (P.D.T.A.), secondo lo specifico tema trattato.
- ricerca, selezione e catalogazione dei casi studio secondo le tipologie di dispositivi tecnologici e le metodologie sopra analizzate.

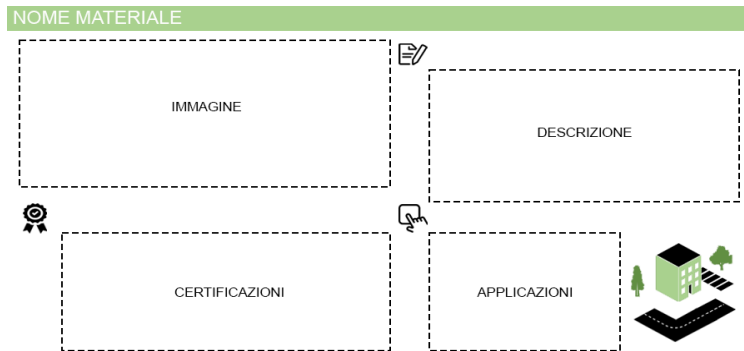
Metodologia di introduzione e descrizione della scheda tipo dei materiali innovativi analizzati

Tale metodologia pone le basi per la costituzione di 20 schede tematiche (*presenti nella sezione Appendice 2 della presente tesi*) relative ai materiali avanzati ed innovativi più importanti ed esemplificativi nel campo del settore edile e delle costruzioni secondo il *Topic* di indagine descritto nel Capitolo 6 quali essere:

- *Biomattone/Natural Beton*
- *Carrara Block*
- *Coccio Blocco*
- *Isotex*
- *I.Light*
- *I.Idro Drain*
- *Edilana Mat*
- *Canapa Lithos1000*
- *Corkpan*
- *Magripol*
- *Nesolcell*
- *Pavtherm*
- *The Breath*
- *Revstone*
- *Derbipure Technology*
- *Derbicolor Olivina*
- *Tx Active*
- *Airlite*
- *Carbfix2*
- *Carbon Buster*

La selezione dei materiali si basa sul Rapporto di Legambiente "100 materiali per una nuova edilizia" (Legambiente, 2015) che ha posto l'obiettivo di analizzare 100 materiali al fine di aggiornare e fotografare i cambiamenti in corso nel modo di progettare e costruire nel settore del *green building*, aiutando i cittadini/consumatori nelle migliori scelte. I materiali analizzati presentano tre chiavi di analisi, naturali, provenienti da riciclo e soprattutto innovativi, permettendo di evidenziare i caratteri che la nuova edilizia assume come ruolo centrale nelle *performance* energetiche con basse emissioni di carbonio, in alcuni casi con la definizione di *negative carbon*. Tali materiali sono stati censiti ed analizzati secondo l'impostazione di una scheda tematica articolata in tre sezioni al fine di evidenziare le caratteristiche tecniche, sensoriali ed ambientali fornendo un indicatore di sintesi di tipo parametrico a 5 valori.

Figura 1 - Sezione 1 della scheda tipo del materiale innovativo.



Nella prima sezione della scheda sono presenti i dati principali del materiale innovativo quali il nome, una immagine di presentazione, una breve e sintetica descrizione delle qualità del materiale, le certificazioni conseguite¹ (in termini di gestione ambientale di processi di produzione e delle performance qualitative in fase di posa ed esercizio, tra cui Marcatura *CE*, *ICEA*, *ANAB*, marchi e enti certificatori sulla qualità del prodotto *LEED*, Norme *UNI*, Sistemi di gestione ambientale *ISO 14001*, Dichiarazione Ambientale *EPD*, *PEFC* e *FSC* per il legno, *BREEAM*, CasaClima, Certificazione ignifuga *EUROCLASSE*, *EMAS* e il campo di applicazione, seguito da una simbologia iconografica che si evidenzia secondo i campi di applicazione del materiale stesso (facciate, copertura, pavimentazioni interne ed esterne, superfici stradali e ciclopedonali, spazi aperti).

1. Per la scheda tematica relativa al materiale Carbifx2 tale sezione è stata sostituita con il processo innovativo del medesimo materiale analizzato.

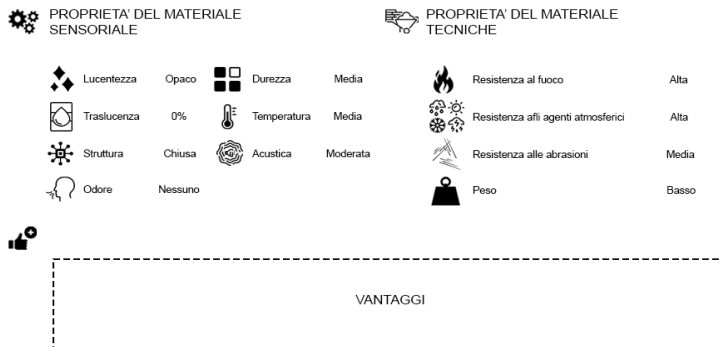


Figura 2 - Sezione 2 della scheda tipo del materiale innovativo.

Nella seconda sezione sono introdotte le proprietà del materiale stesso dal punto di vista sensoriale (lucentezza, traslucenza, struttura atomica, odore, durezza, temperatura e acustica) e tecniche (resistenza al fuoco, agli agenti atmosferici, alle abrasioni e peso); ciò permette di identificare subito i punti di forza e di debolezza di un materiale secondo l'esigenza della committenza per il campo di applicazione. A seguire vi è la descrizione dei vantaggi, per il produttore e per il consumatore, riguardanti la composizione del prodotto stesso e la risposta alle sollecitazioni tecnico-energetiche.

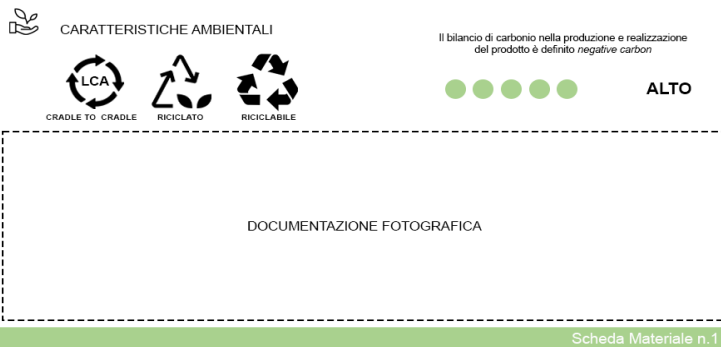


Figura 3 - Sezione 3 della scheda tipo del materiale innovativo.

La terza sezione è caratterizzata dalla sintesi dei caratteri ambientali che contraddistinguono il materiale (capacità di assorbimento di inquinanti al pari di specie arboree, capacità di assorbimento degli inquinanti veicolari, capacità di assorbimento degli inquinanti atmosferici, prodotto riciclato, LCA "cradle to cradle", prodotto riciclabile/riutilizzabile, prodotto naturale), un indicatore finale caratterizzato da 5 parametri di qualità così impostati:

- Basso: materiale che non presenta nella sua filiera di produzione

e realizzazione meccanismi, anche compensativi, per la riduzione della CO₂ in atmosfera;

- Medio-Basso: materiale che non presenta nella sua filiera di produzione e realizzazione meccanismi, anche compensativi, per la riduzione della CO₂ in atmosfera; il materiale presenta componenti riciclabili;

- Medio: materiale che presenta nella sua filiera di produzione e realizzazione meccanismi, anche compensativi, per la riduzione della CO₂ in atmosfera, come il riutilizzo di inerti e scarti di lavorazione; il materiale può presentare componenti riciclati e riciclabili; il prodotto presenta certificazioni ambientali;

- Medio-Alto: materiale che presenta componenti, parziali o totali, nella sua produzione, naturali, certificati, con caratteristiche *embodied carbon*, di capacità di assorbimento e stoccaggio di CO₂ o di processi per l'annullamento di nuove emissioni; il prodotto può risultare tra l'altro riciclato, riciclabile, con un processo di LCA "cradle to cradle" e la presenza di certificazioni ambientali;

- Alto: materiale con alte capacità di assorbimento e cattura di inquinanti, sia per caratteristiche 100% naturali *embodied carbon*, *negative carbon* o *natural carbon sink*, che per trattamenti industriali, come, ad esempio, il processo di fotocatalisi o di disgregazione chimica delle particelle inquinanti. Il prodotto può risultare tra l'altro riciclato, riciclabile, con un processo di LCA "cradle to cradle" e la presenza di specifiche certificazioni ambientali.

A conclusione della scheda vi è una sezione relativa alla documentazione fotografica di dettaglio del materiale stesso, del campo di applicazione e di casi di realizzazione di manufatti edilizi.

NOME MATERIALE

IMMAGINE	DESCRIZIONE
----------	-------------

CERTIFICAZIONI	APPLICAZIONI
----------------	--------------



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

Lucentezza	Opaco	Durezza	Media
Traslucenza	0%	Temperatura	Media
Struttura	Chiusa	Acustica	Moderata
Odore	Nessuno		

Resistenza al fuoco	Alta
Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
Resistenza alle abrasioni	Media
Peso	Basso

VANTAGGI

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Il bilancio di carbonio nella produzione e realizzazione del prodotto è definito *negative carbon*



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

2. Rapporto Cave 2021, La transizione dell'economia circolare nel settore delle costruzioni, Legambiente.

I materiali analizzati permettono di comprendere e definire le caratteristiche di *performance* ed impiego partendo dal concetto di riduzione delle risorse, uso e riuso di quelle presenti al fine di ridurre drasticamente le emissioni di CO₂. Tema di grande interesse per comprendere le innovazioni in corso nel settore delle costruzioni riguarda le diverse filiere dei materiali, a partire dal legno, dove i cambiamenti in questi anni sono stati profondi e hanno prodotto risultati importanti, ma anche nelle altre filiere di materiali e possibili applicazioni (metalli, plastiche, vetro, ecc.) sotto l'incremento di una domanda di sostenibilità nel settore dell'edilizia sempre più forte, che non si accontenta più di risposte generiche ma pretende di conoscere origine e ciclo di vita dei diversi materiali, qualità e salubrità, prestazioni garantite in fase di posa e di esercizio. Un esempio sono le cave, dove è noto l'impatto nei confronti del paesaggio (in Italia esistono oggi circa 2.500 cave per i soli inerti e almeno 15.000 abbandonate²), e sono tante le ferite gravissime aperte nei territori. Oggi è possibile ridurre il numero di cave, come dimostrano i tanti Paesi dove ormai da anni si sta riducendo la quantità di materiali estratti con una forte spinta al riutilizzo di rifiuti aggregati e inerti provenienti dal recupero, oltre che con regole di tutela del paesaggio e gestione delle risorse aprendo a un cambiamento di pensiero nella scelta e adozione di materiali, con filiere trasparenti e certificate (per cemento, legno, vetro, metalli, ecc.), che incentiva e sostiene tale politiche, si ridurrebbero le estrazioni e importazioni di materiali, rendendo possibile una *green economy* completa nel settore dell'edilizia. Importanti inoltre sono gli interventi in campo legislativo europeo, ove le direttive sul riutilizzo e riciclo dei materiali provenienti da costruzione e demolizione (C&D, 2008/98/CE) indicano con chiarezza l'obiettivo del 70% di utilizzo di materiali da riciclo al 2020, introducendo inoltre i criteri per il *Green Public Procurement (GPP)*, ossia gare per l'acquisto di beni e servizi da parte delle pubbliche amministrazioni, che rappresentano riferimenti imprescindibili per chiarire l'applicazione degli obiettivi ambientali e del ciclo di vita di materiali. Infine un campo di regolazione importante sarà, nel prossimo futuro, quello dell'etichettatura di materiali naturali, locali o provenienti dal riciclo, che a livello europeo ha come riferimento la Marcatura CE dei prodotti e il Regolamento UE 305/2011. I Criteri Ambientali Minimi (CAM) sono stati introdotti con Decreto del Ministero dell'Ambiente nel 2015 e aggiornati nel 2017, per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per nuove costruzioni, ristrutturazioni e manutenzione di edifici e per la ge-

stione dei cantieri della pubblica amministrazione. Nello specifico i criteri inseriti nel documento si suddividono in criteri ambientali di base e criteri ambientali premiali, ad esempio per calcestruzzi e relativi materiali componenti confezionati in cantiere, preconfezionati e prefabbricati è previsto un contenuto minimo di materia riciclata di almeno il 5% in peso, come somma delle percentuali di materia riciclata contenuta nei singoli componenti (cemento, aggiunte, aggregati, additivi), compatibilmente con i limiti imposti dalle specifiche norme tecniche, per i laterizi invece è previsto un contenuto minimo di materia riciclata di almeno il 10% in peso per le murature e i solai, mentre per coperture, pavimenti e muratura faccia vista è previsto il 5% in peso. Gli isolanti devono contenere una variabile tra il 10% e il 60% di materiale riciclato misurato sul peso del prodotto finito in base alla tipologia, alla forma e alla natura dello stesso. La chiave del riciclo può quindi consentire l'apertura di uno scenario nuovo e sostenibile per il settore delle costruzioni, rimettendo al centro la sostenibilità, la riduzione delle risorse e con conseguente decarbonizzazione di tutti i processi di produzione degli elementi che costituiscono un manufatto edilizio.

6.2 Bibliografia

DM. 11 ottobre 2017 – *Affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.*

Legambiente (2016), *100 Materiali per una nuova edilizia*, Rapporto dell'Osservatorio Recycle, Legambiente.

6.3 Sitografia

<https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>

https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/cento_materiali_rapporto_osservatorio_recycle.pdf

<https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/07/Rapporto-Cave-2021.pdf>

<https://materialdistrict.com/>

<https://www.sqs.it/settori/edilizia/>

PARTE III

Sperimentazione delle
soluzioni *green* e *grey* in
ambito urbano

ABSTRACT (INGLESE)

This Chapter aims to analyze what has been described in the previous chapters, according to the two strategic axes green and grey, able to subtract, convert and store carbon from the atmosphere, in a case of experimental application such as the urban district of PdZ of San Basilio - Rome. Analyzed, in detail, the seven main historical phases that have characterized the birth, evolution and urban expansion of the District of San Basilio, where there is the project area in question, were introduced four methodological phases. The first phase was focused on the analysis of the state of affairs of the area subject to experimentation, through a quantification of carbon concentrations in the atmosphere according to surveys that took place on specific dates (summer solstice and winter solstice) through the use of appropriate instruments, the establishment of a network of points (stations) of detection and georeferencing of the same through the program QGIS. With the same program the concentration maps (Heatmaps) for the specific dates have been realized. The second phase is the quantification of the embodied carbon of the building materials that make up the buildings of the district and the carbon emissions for the areas of investigation according to the state of the art (Energy and Bioclimatic, Water, Waste, Mobility, Green, Innovative Materials). The third phase analyzes in detail two possible scenarios of intervention according to the two strategic axes green and grey aimed at urban and building redevelopment of the study area; a first scenario, defined "standard" where strategies and actions of traditional redevelopment are introduced to increase the energy performance of buildings and an increase of permeable open spaces. A second scenario, defined "innovative" introduces strategies and passive bioclimatic methodologies aimed at a drastic reduction of carbon emissions, energy requirements for cooling and heating, a significant increase in permeable surfaces related to open spaces through urban forestation and restoration of wetlands and the introduction, for the buildings and for pedestrian and vehicular surfaces, of innovative and experimental materials able to absorb and store carbon within its molecular structure. It was also assumed the design of a "carbon sink district" according to the use of strategies of Carbon Capture and Storage - CCS. For the current state and the two proposed intervention scenarios, the materials present and those subject to demolition, disposal and reuse were analyzed and quantified in weight and volume. The fourth phase finally analyzes the results obtained in the two scenarios of intervention mentioned above comparing them with the state of affairs.

CAPITOLO 7 **Sperimentazione di soluzioni *green* e *grey* nel caso studio della riqualificazione del PdZ di S. Basilio (RM)**

ABSTRACT

Il presente Capitolo pone l'obiettivo di analizzare quanto descritto nei precedenti Capitoli, secondo i due assi strategici *green* e *grey*, in grado di sottrarre, convertire e stoccare carbonio dall'atmosfera, in un caso di applicazione sperimentale progettuale quale essere il distretto urbano del PdZ di San Basilio – Roma. Analizzate, nel dettaglio, le sette principali fasi storiche che hanno caratterizzato la nascita, l'evoluzione e l'espansione urbanistica del Quartiere di San Basilio, ove insiste l'area di progetto in questione, sono state introdotte quattro fasi metodologiche. La prima fase si è concentrata nell'analisi dello Stato di fatto dell'area oggetto di sperimentazione, attraverso una quantificazione delle concentrazioni di carbonio in atmosfera secondo sopralluoghi avvenuti in specifiche date (solstizio d'estate e solstizio d'inverno) mediante uso di idonei strumenti, la costituzione di una rete di punti (stazioni) di rilevazione e la georeferenziazione degli stessi attraverso il programma *QGIS*. Con lo stesso sono state realizzate le mappe di concentrazione (*heatmaps*) per le specifiche date. La seconda fase la quantificazione della *embodied carbon* dei materiali edili che compongono gli edifici del distretto e le emissioni di carbonio per gli ambiti di indagine secondo lo Stato di fatto (Energia e Bioclimatica, Acqua, Rifiuti, Mobilità, Verde, Materiali Innovativi). La terza fase analizza nel dettaglio due possibili scenari di intervento secondo i due assi strategici *green* e *grey* volti alla riqualificazione urbana ed edilizia dell'area di studio; un primo scenario, definito "*standard*" ove sono introdotte strategie e azioni di riqualificazione tradizionali volte a incrementare le prestazioni energetiche dei manufatti edilizi e a un incremento degli spazi aperti permeabili. Un secondo scenario, definito "innovativo" introduce strategie e metodologie bioclimatiche passive volte a una drastica riduzione delle emissioni di carbonio, delle richieste energetiche per raffrescamento e riscaldamento, a un deciso incremento delle superfici permeabili relative agli spazi aperti mediante azioni di forestazione urbana e ripristino di aree umide e l'introduzione, per i manufatti edilizi e per le superfici pedonali e carrabili, di materiali innovativi e sperimentali in grado di assorbire e stoccare carbonio all'interno della propria struttura molecolare. Si è inoltre ipotizzata la progettazione di un "*carbon sink district*" secondo l'utilizzo di strategie di *Carbon Capture and Storage - CCS*. Per lo Stato di fatto e i due scenari di intervento proposti sono stati analizzati e quantificati, in peso e volume, i materiali presenti e quelli oggetto di demolizione, smaltimento e le quote di riutilizzo. La quarta fase infine analizza i risultati ottenuti nei due scenari di intervento sopraccitati confrontandoli con lo Stato di fatto.

7.1 Materiali e metodi

Il presente *focus* di sperimentazione¹ recepisce quanto introdotto e descritto nei capitoli precedentemente descritti nella presente tesi di dottorato. Nello specifico si vuole, con la presente sperimentazione progettuale, applicare le metodologie ad oggi presenti nel panorama internazionale in grado di sottrarre, assorbire e ridurre le emissioni di carbonio dall'atmosfera secondo aspetti di funzionali, produzione, rapporto tra costi di esercizio e efficienza energetica eseguendo confronti tra le tipologie analizzate.

La metodologia applicata si sviluppa in quattro fasi:

- la prima, l'analisi dello Stato di fatto dell'area oggetto di sperimentazione con i principali avvenimenti storici e misurazione, attraverso specifici sopralluoghi, delle concentrazioni di CO₂ presenti;
- la seconda, la quantificazione della *embodied carbon* dei materiali edili che compongono gli edifici e le emissioni di carbonio per gli ambiti di indagine secondo lo Stato di fatto (Energia e Bioclimatica, Acqua, Rifiuti, Mobilità, Verde, Materiali Innovativi)²;
- la terza, volta alla proposta di due scenari di intervento (riqualificazione ordinaria e riqualificazione innovativa) secondo l'utilizzo di soluzioni *green* e *grey*;
- la quarta, il bilancio degli ambiti di indagine sopracitati, nei due scenari di intervento, confrontandoli con lo Stato di fatto.

I sopralluoghi eseguiti al fine di quantificare le concentrazioni di CO₂ in atmosfera hanno presto un impianto metodologico sperimentale ed innovativo così descritto:

- utilizzo di n°2 strumenti di rilevazione delle concentrazioni di CO₂ – *Multi Functional Air Quality Detector Temtop M2000*;
- costituzione di una rete di rilevamento per punti (Stazioni), utilizzando, in fase di rilievo, il programma *Google Earth* secondo l'elaborazione di un *Progetto Cloud* in *Google Drive* ove vengono campionati i punti, il valore di concentrazione e la localizzazione della Stazione di Rilevamento (Latitudine, Longitudine) secondo il Sistema di Riferimento (SR) *WGS84*;

1. Gli scenari di sperimentazione e quantificazione delle emissioni di carbonio secondo gli ambiti di indagine Energia, Acqua, Rifiuti, Mobilità, Verde, si inseriscono in un più ampio contesto di ricerche avviate nell'ambito del PRIN 2017 'TECH START - Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy. Convergent innovations in the Open Space/Building Systems for Climate Mitigation', di cui per la Unità Operativa di Roma il Responsabile scientifico è il prof. Fabrizio Tucci.

2. La metodologia di identificazione di sei assi strategici volti a quantificare, attraverso possibili scenari di riqualificazione, soluzioni per sottrazione, conversione e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera rientra nelle sopranominate ricerche avviate nell'ambito del PRIN 2017 - Unità Operativa di Roma.

3. La conformazione edilizia degli edifici costituenti il PdZ di San Basilio risulta essere del tipo in linea - a stecca.

- esportazione del Progetto *Cloud* in estensione *.KML*;
- predisposizione di un Progetto, attraverso utilizzo programma QGIS, con SR *WGS84*;
- importazione del file *.KML* in *QGIS*;
- realizzazione della Mappa di Concentrazione (*heatmap*).

Relativamente le soluzioni *green*, facenti parte dell'Ambito di indagine "Verde", sulla base del patrimonio conoscitivo costituito nel Capitolo 4 della presente tesi, ha permesso di rappresentare un panorama completo delle specie arboree e arbustive presenti nell'area oggetto di intervento secondo le capacità di assorbimento e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera attraverso:

- rilievo e censimento delle specie arboree e arbustive presenti nell'area e analisi delle stesse secondo parametri specifici (*status* di esoticità, corotipo semplificato, forma biologica, capacità di assorbimento e stoccaggio di CO₂, a 20 anni, in tonnellate di ogni singola specie) (Progetto Qualiviva, 2016);
- mappatura e quantificazione, in superficie, degli spazi verdi;
- costituzione di un *database* attraverso lo strumento della *Suite Office Excel* volto a catalogare sistematicamente ogni singola specie secondo i parametri sopracitati;
- realizzazione di un foglio di calcolo al fine di quantificare la stima di assorbimento e stoccaggio di CO₂ della vegetazione censita nello Stato di fatto nonché l'indice tassonomico di stoccaggio;
- selezione di nuove specie arboree e arbustive con maggiori capacità di stoccaggio di carbonio;
- impostazione di un progetto di *green infrastructure* (nello scenario di riqualificazione innovativa) con particolare attenzione al mantenimento delle autoctone esistenti e nuova introduzione di specie arboree e arbustive autoctone, spontanee e ad alta sostenibilità ambientale, la quantificazione della biomassa prodotta da sfalci e potature;
- verifica dei benefici acquisiti con la soluzione progettuale ipotizzata confrontandola con lo Stato di fatto.

Per quanto riguarda le soluzioni *grey*, facenti parte dell'Ambito di indagine "Materiali Innovativi" le fasi metodologiche proposte per la riqualificazione degli edifici e degli spazi esistenti secondo due scenari di intervento risultano essere:

- analisi costruttiva del manufatto edilizio-tipo³ al fine di comprenderne le caratteristiche prestazionali, tecnologiche e di composizione dei materiali edili.

- censimento e quantificazione (in volume e peso) dei principali materiali edili che compongono i manufatti edilizi e gli spazi aperti;
- stima della *embodied carbon* nei materiali censiti, sulla base di pertinenti *database* internazionali (ICE, 2020)⁴;
- stima (in volume e peso) dei materiali rimossi dal manufatto edilizio-tipo esistente e della relativa *embodied carbon*;
- stima dei materiali (in peso e volume) edili per l'intervento di riqualificazione urbana;
- individuazione dei materiali recuperabili tra quelli oggetto di demolizione per un uso/riuso in loco;
- calcolo delle quote (percentuali in peso) dei materiali riciclabili/riutilizzabili *in site/off site*;
- selezione di materiali a bassa *embodied carbon* e materiali innovativi con capacità di stoccaggio o cattura diretta di carbonio dall'atmosfera (Analizzati nel Capitolo 5 e 6 della presente ricerca di tesi, con schede tematiche dei relativi materiali analizzati presenti nella Sezione Appendice 2 - Le Schede dei Materiali Innovativi);
- bilancio finale dell'*embodied carbon* degli edifici riqualificati, con identificazione della quota di emissioni evitate attraverso il riuso di edifici esistenti, riciclo di materiali, adozione di materiali a bassa *embodied carbon* o con cattura e stoccaggio attiva di CO₂;
- calcolo delle quote di emissioni ridotte nel tempo grazie all'uso di materiali innovativi;
- bilancio complessivo delle emissioni dello scenario di intervento proposto confrontato con lo Stato di fatto, in termini di CO_{2eq}.

4. Per la determinazione della *embodied carbon* dei materiali edili sono stati consultati i *database* della *Inventory of Carbon and Energy - ICE*.

Contestualmente si è proposto di ipotizzare un progetto innovativo e sperimentale a scala di distretto attraverso l'uso di tecnologie *Carbon Capture and Storage - CCS* ad energia positiva quali essere il *Bioenergy with carbon capture and storage - BECCS* e il *Direct Air Capture - DAC*. La prima tecnologia si prepone di essere impiegata nella ipotesi di impianto a biomassa per la produzione di energia posto ai limiti del distretto oggetto di sperimentazione; tale impianto verrà alimentato dalla biomassa prodotta dagli sfalci e dalle potature eseguite nell'area e dal recupero della frazione organica in un miglioramento dei processi del ciclo dei rifiuti. La seconda tecnologia pone l'obiettivo di ipotizzare una cattura diretta dall'atmosfera di carbonio per lo stoccaggio permanente *off site* o per l'uso, ad esempio, nelle lavorazioni degli alimenti, per la produzione di urea o di *syngas*, metano, metanolo o demetiletere sfruttando la sinergia con gli impianti di produzione di energia rinnovabile ipotizzati nella fase di progetto.

7.2 Proposta e applicazione di rigenerazione urbana del PdZ di San Basilio secondo soluzioni *green* e *grey*

I quartieri di edilizia economica e popolare, pensati in passato come luoghi di progressione evolutiva della società e della città ove venivano realizzati, oggi sono spesso luoghi di abbandono, fortemente degradati dal punto di vista sociale ed economico, declassandosi a veri e propri dormitori.

La scelta di analizzare un caso studio situato periferia della città Metropolitana di Roma Capitale vuole porsi come una risposta ai problemi riscontrati dai cittadini e dai fruitori di tali aree che richiedono, a gran voce, una profonda riqualificazione energetica degli edifici e una riqualificazione degli spazi aperti e interstiziali gli edifici che compongono tali insediamenti. Tali considerazioni offrono interessanti spunti progettuali al fine di applicare soluzioni *green* e *grey* volte alla decarbonizzazione di tali aree, al miglioramento dei parametri ambientali e benessere microclimatico, garantendo ai residenti spazi più vivibili, funzionali e salubri (Tucci, 2018).

Il quartiere di edilizia residenziale pubblica di S. Basilio si trova nel municipio IV del Comune di Roma Capitale, al cui interno troviamo 4680 alloggi ERP pari al 36% del totale del Comune. Tali alloggi sono gestiti per il 70% da ATER e per il 30% dal Comune, localizzandosi precisamente nell'ex PDZ 02V “San Basilio” Lo sviluppo urbanistico, sorto come borgata storica governatoriale in approvazione del T.U. del 28/04/1938, è inserito in una espansione più ampia di Roma, legata strettamente alla situazione politica ed economica tra le due guerre mondiali.

Il piano fascista, nel prevedere la creazione di grandi arterie verso il vecchio centro storico prevedeva grandi azioni di sventramento con demolizioni di zone destinate a popolazione che non aveva servizi igienici e sanitari, trasferendosi di fatto nelle zone periferiche della città dove erano destinate borgate *ad hoc* (De Matteis et al, 2018). Il trasferimento dal centro città alla periferia creò al tempo stesso condizioni di perdita di lavoro e grandi disagi nelle comunicazioni fuori al centro nevralgico della città (Mattogno, C., Romano, R., 2019).



Figura 1 - Foto Aerea del PdZ di San Basilio.

Fonte: Cartoteca PDTA, Sapienza Università di Roma

1°fase:

1928-1930 Borgata S. Basilio: realizzazione della Borgata rurale ad opera della ditta PATER (ing. D. Pater) su iniziativa del governatore di Roma F. Boncompagni come soluzione immediata ai cittadini più poveri e senza una abitazione. Le abitazioni erano realizzate in "carpilite" un misto di trucioli impastati con calce con tagli abitativi di circa 500 m² su un unico piano. La borgata era costituita da una popolazione affetta da tubercolosi e queste abitazioni erano sprovviste di ogni sistema fognario nonché di vere strade di accesso. Il coefficiente di affollamento di queste abitazioni era del 4,47 per vano generando gravi problemi sanitari.

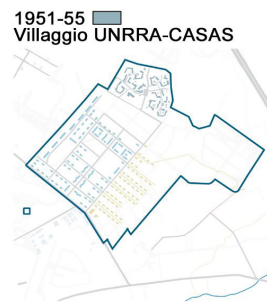


Figura 2 - Periodo storico 1940-1942 Edifici Pater S. Basilio.

2° fase:

1951-1955 Concorso UNRRA-CASAS: realizzazione di insediamenti urbani di stampo neorealista, composto da case unifamiliari a schiera su due livelli poste a semicerchio utilizzando i fondi del piano *Marshall* per aiuto ai profughi di guerra. Tale insediamento era destinato a ospitare famiglie della Dalmazia e delle *ex* colonie italiane nonché dei rifugiati dei bombardamenti di S. Lorenzo.

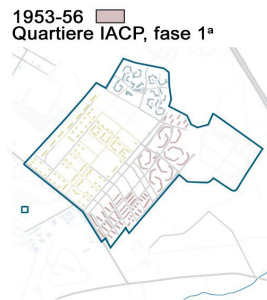
Figura 3 - Periodo storico 1951-1955 Villaggio UNRRA-CASAS.



3° fase:

1953-1956: realizzazione delle prime abitazioni del dopoguerra ad opera dello IACP con finanziamento congiunto tra INAIL e Cassa Depositi e Prestiti; gli edifici erano prevalentemente lineari a 2-3 piani.

Figura 4 - Periodo storico 1953-1956 Quartiere IACP, 1° fase.



4° fase:

1956-1962: realizzazione del secondo lotto di abitazioni *post-guer*ra ad opera dello IACP con finanziamento congiunto INAIL e Cassa Depositi e Prestiti; gli edifici sono disposti in linea con 5 piani. In occasione delle Olimpiadi di Roma del 1960 vi è una ulteriore espansione del quartiere con ulteriori edifici realizzati dalla IACP con finanziamento della Legge 640.

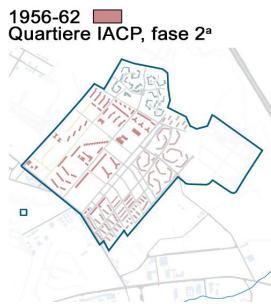


Figura 5 - Periodo storico 1956-1962 Quartiere IACP, 2° fase.

5°fase:

1962-1973: dal '62 sono messe in cantiere le 8 torri a 8 piani dotate di ascensori e impianti centralizzati di riscaldamento. Negli stessi anni l'IACP costruisce 5 palazzine per conto dell'INA CASA con finanziamenti della Cassa depositi e Prestiti, per gli impiegati del Ministero del Tesoro. Nel 1973 è ultimato il lotto 23 bis: questo complesso è teatro delle più aspre lotte per la casa e con esso, inoltre, terminano i progetti di edilizia pubblica sovvenzionata per il quartiere.

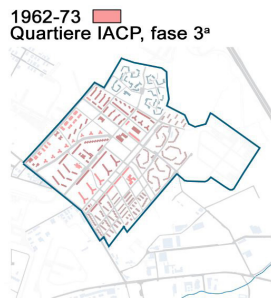
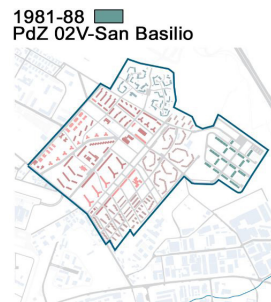


Figura 6 - Periodo storico 1962-1973 Quartiere IACP, 3° fase.

6°fase:

1981-1988 Piano di Zona 02v – S. Basilio: parte della Variante Integrativa del 1981 e prende nome dalla vicina Borgata realizzata dallo IACP negli anni 50'. Tale piano prevede edilizia con edifici a schiera a 6-7 piani a corte aperta. Il Piano di Zona fa parte delle aree previste dalla Variante Integrativa del 1981 (I PEEP); tale progetto non si inserisce nel contesto dell'insediamento preesistente costituito da una struttura reticolare a maglia quadrata. L'insediamento realizzato è a tessuto geometrico con edifici in linea di 6-7 piani disposti in modo da generare corti aperte. I servizi previsti in fase progettuale non sono mai stati realizzati.

Figura 7- Periodo storico 1981-1988 PdZ 02V-San Basilio.



7°fase:

Dal 1993 si segnalano progetti di recupero urbano, tra i quali il progetto artistico "SanBa Walls" del 2014 (Liqen, A. Iacurci), il progetto della nuova piazza S. Basilio nel 2004 ad opera di CAMPO Architetti e il Centro Culturale Aldo Fabrizi nel 2011 ad opera dell'architetto I. Fratta. Nel 2021 il Comune di Roma annuncia un programma di rigenerazione urbana per l'intero quartiere di S. Basilio finanziato con i fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR); obiettivo è realizzare una "città parco" con un nuovo spazio di connessione immaginato come una "piazza diffusa", una zona centrale che si colloca nel sistema già presente di strade e viali e la riqualificazione del patrimonio edilizio e urbanistico preesistente attraverso interventi di efficienza energetica, adeguamento agli *standard* abitativi attuali volti al recupero e al restauro degli stessi. La nascita di spazi aperti condivisi e accessibili attraverso la ridefinizione della trama stradale, ampliando le connessioni pedonali e ciclabili completa un intervento urbanistico su una superficie complessiva di 65 ettari ad insediamento prevalentemente pubblico.

Figura 8 - Periodo storico 1993-oggi Progetti di riqualificazione.



7.3 Analisi Stato di fatto e quantificazione delle emissioni di carbonio derivate alla scala di distretto urbano

Oggi il PdZ di S. Basilio risulta un quartiere popolare periferico costituito dal nucleo centrale IACP che ospita circa 400 famiglie e da una zona periferica costituita da costruzioni private dove vivono circa 1500 famiglie. Negli ultimi anni l'indice di affollamento si è drasticamente ridotto e le giovani famiglie di San Basilio cercano altrove le abitazioni in quanto tale quartiere è senza mercato e le abitazioni sono quasi tutte dell'odierna ATER. Le tipologie edilizie che caratterizzano nello specifico il PdZ di S. Basilio sono principalmente sintetizzate in edifici lineari a stecca, con altezze omogenee max. 7 piani e conformazione edilizia basata principalmente a manufatti edilizi prefabbricati "a cellula chiusa" e sovrapposti uno sopra l'altro, con solai realizzati in lastre *predalles*, definendo con cadenza uniforme i setti all'interno delle tipologie di appartamento presenti.

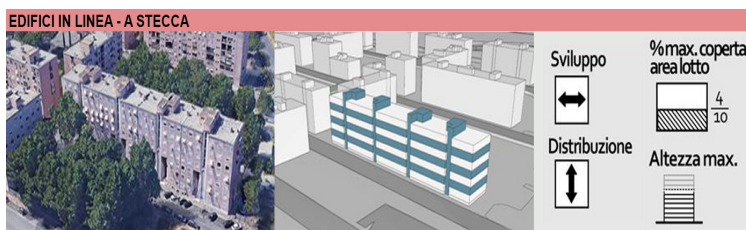
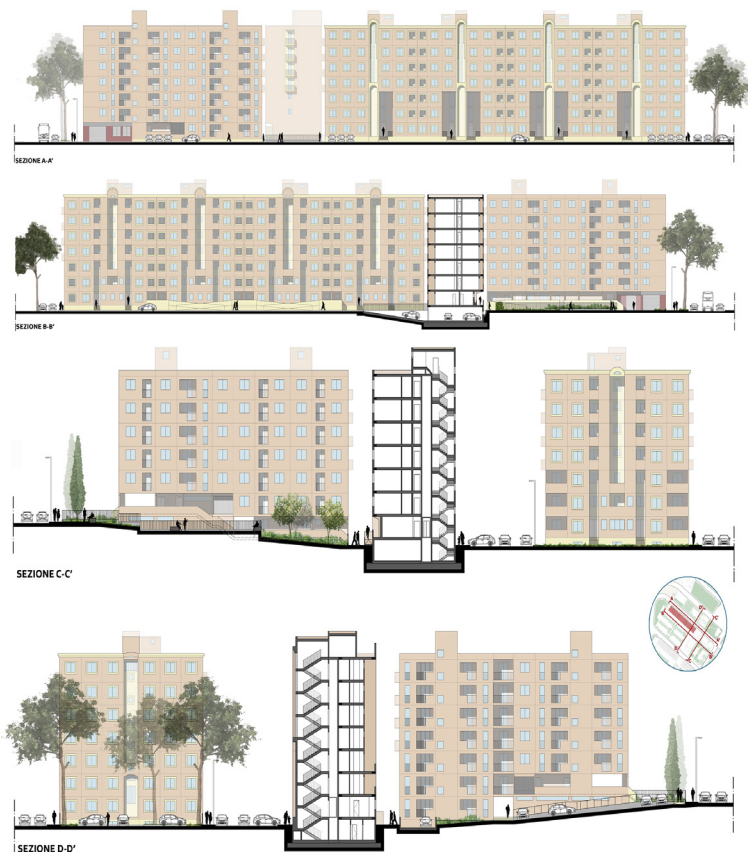


Figura 9 - Tipologia edilizia (Edifici in linea - a stecca) riscontrata nel PdZ di S. Basilio.

Da una dettagliata analisi sociale legata alle condizioni abitative nel quartiere, attualmente gli alloggi risultano essere di un taglio medio tra i 75-80 m², per lo più in locazione da nuclei unitari, anziani, dunque ben più grandi rispetto agli *standard* previsti per gli alloggi ERP, segno di quanto sia necessario intervenire con strategie di ridimensionamento degli alloggi per rispondere concretamente all'emergenza abitativa che incide nella Capitale. Tra gli strumenti validi, dal punto di vista tecnologico, per adeguare il quartiere alle richieste degli abitanti, è quella di adottare sistemi tecnologici modulari, adattabili e ripetibili che garantiscano una flessibilità degli spazi efficace nel rispetto delle mutevoli esigenze del vivere contemporaneo, con la possibilità di differenziare gli ambienti in base alle necessità, contribuendo, con tali pratiche,

alla decarbonizzazione del distretto urbano (Gregory et al, 2019). I manufatti edilizi risultano complessivamente in cattivo stato di manutenzione, con isolamenti termici inesistenti, accentuati da infissi in ferro-alluminio a vetro singolo e tapparelle in plastica spesso non funzionanti e che rendono gli alloggi fortemente energivori per riscaldamento e raffrescamento. Le emissioni quantificate dai manufatti edilizi che compongono l'area oggetto di studio per l'ambito di indagine "Energia e Bioclimatica" risultano essere pari a 3.606.178 Kg CO_{2eq}/annuo. Lo studio, il censimento e la quantificazione, in peso e volume, dei materiali edili che compongono i manufatti edilizi catalogati per

Figura 10 - Prospetti e sezioni di un edificio-tipo del PdZ di S. Basilio.



struttura portante (setti, solaio intermedio, solaio di copertura), tamponatura esterna, infissi, tamponatura interna, ha determinato una *embodied carbon* complessiva pari a 53.334.808 KgCO_{2eq}.

Si evidenzia inoltre che nel distretto urbano composto dai singoli alloggi dalle poche attività non residenziali, non sono presenti sistemi di gestione, risparmio e riuso del ciclo delle acque, né sistemi di captazione per le acque meteoriche provenienti dalle coperture degli edifici presenti e/o dalle superfici stradali e spazi verdi. Tale conformazione produce emissioni di carbonio quantificate in 63.485 KgCO_{2eq}/annuo. La raccolta dei rifiuti adottata nel distretto urbano è di tipo porta a porta, con una percentuale di differenziazione del rifiuto pari al 47%, in linea con la media comunale. Tale sistema presente genera emissioni di CO₂ dovute al trasporto e allo smaltimento dei rifiuti stessi pari a 3.880.351 KgCO_{2eq}/annuo.

Il quartiere presenta una promiscuità sociale, con una densità edificata compresa tra il 10 e il 15%, una densità abitativa <2000 ab/Km² e un valore economico delle abitazioni inferiore a 2400€/m². Dal punto di vista della mobilità l'area presenta poche linee di trasporto pubblico urbano diurne, feriali e festive con una media compresa tra 5 e 10 fermate TPL per minuto; nel raggio di 2 Km è possibile raggiungere la stazione MB Rebibbia e, a 4 Km, le stazioni della linea ferroviaria FL2 Roma-Tivoli. Inoltre, viene segnalata la cancellazione del prolungamento della Linea B della Metropolitana verso Casal Monastero con ipotesi di stazione proprio a S. Basilio, riducendo così maggiormente la capacità di mobilità pubblica e l'utilizzo esclusivo di autovetture e ciclomotori, incrementando le emissioni di inquinanti e di carbonio nell'atmosfera. Carente inoltre risulta essere la mobilità ciclabile e pedonale seppur presente, come strumento strategico, un Piano Urbano della Mobilità Sostenibile di Roma Capitale (PUMS) passante per tale area. Tale impianto di mobilità genera attualmente emissioni di carbonio pari a 3.578.130 KgCO_{2eq}/annuo.

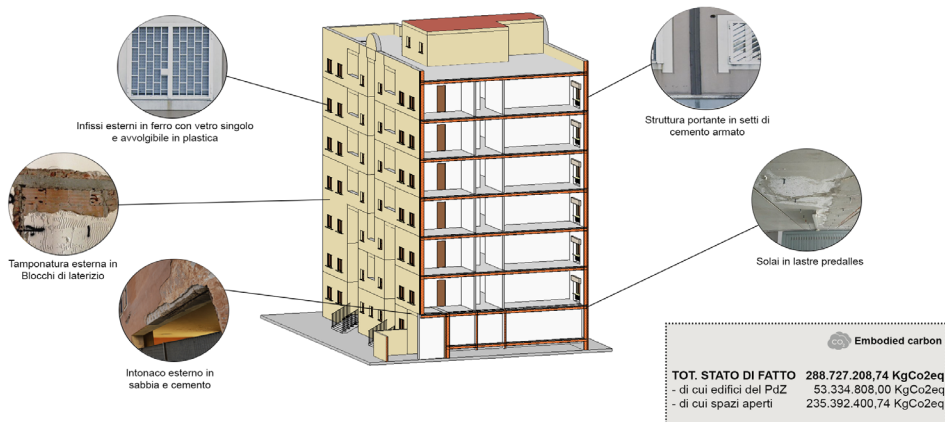
Il tessuto del quartiere non presenta servizi idonei a sufficienza per la densità abitativa, sono presenti un supermercato e un bar, quattro punti di ristorazione, tre scuole e una chiesa, segno di un'impronta di quartiere prevalentemente destinato a dormitorio. Importante, al fine di migliorare l'integrazione sociale, educativa e culturale è l'inaugurazione nel 2011 del Centro Culturale Aldo Fabrizi, ove al suo interno risiede il centro anziani e varie associazioni di assistenzialismo. Riguardo la programmazione urbanistica in attuazione si segnalano quattro aree oggetto di riqualificazione secondo ambiti di trasformazione particolareggiata, censite secondo il P.R.G. all'in-

terno della "Città della Trasformazione" e regolamentata dal Programma di Recupero di San Basilio. Si segnala inoltre la realizzazione di un edificio sperimentale a carattere bioclimatico in una area di proprietà dell'ATER, attualmente in fase di costruzione da parte di ADLM Architetti, una proposta di edificazione nell'ex PdZ 2v S. Basilio da parte della S.I.L.P. (Società Italiana Lavori Pubblici) e progetti di rigenerazione urbana, a partire dal 2008, per l'introduzione e/o riqualificazione di aree attrezzate ed impianti gioco per diverse fasce di età, finanziati dalla Regione Lazio (Dell'Aira, Guarini, 2019). Gli spazi aperti che costituiscono il distretto urbano, quantificati in 86.603 m², sono caratterizzati da ampi spazi verdi fortemente degradati (53.473 m²) e da ampie sedi stradali che circondano gli edifici e collegano ampi spazi destinati a parcheggio per i residenti. Relativamente agli aspetti *grey* i materiali censiti risultano essere asfalto per le sedi stradali e i marciapiedi, blocchi di leucite e basalto nelle aree di pertinenza degli edifici e nelle quattro corti centrali del distretto ove sono presenti aree gioco con pavimentazione antitrauma e un chiosco bar attualmente chiuso.

Figura 11 - Analisi degli spazi aperti, quantificazione dei materiali (in peso e volume) e della relativa Embodied carbon nello Stato di fatto.



Presenti inoltre percorsi pedonali, all'interno degli spazi verdi in piastrelle di cls con finitura in graniglia. L'area delle corti è parte delle azioni di riqualificazione finanziate nei progetti di riqualificazione urbana sopracitati. Il censimento e l'analisi dei materiali analizzati negli spazi aperti, in volume e peso, ha determinato una *embodied carbon* complessiva pari a 235.392.400,74 KgCO_{2eq}. Complessivamente, per lo Stato di fatto dell'area, si rileva una *embodied carbon* complessiva pari a 288.727.208,74 KgCO_{2eq}.



Relativamente agli aspetti *green*, a seguito di campagne in loco, avvenute in più giorni, volte a conoscere, analizzare e censire le specie arboree e arbustive che costituiscono l'area, sono state riscontrate 22 tipologie di specie arboree, con prevalenza di specie quali *Ailanthus altissima*, *Cedrus atlantica*, *Robinia pseudoacacia* e *Eucalyptus camaldulensis*, per un totale 374 alberi a medio e alto fusto, con un

Figura 12 - Analisi della tipologia edilizia riscontrata nello Stato di fatto nel PdZ di San Basilio con bilancio della Embodied carbon.

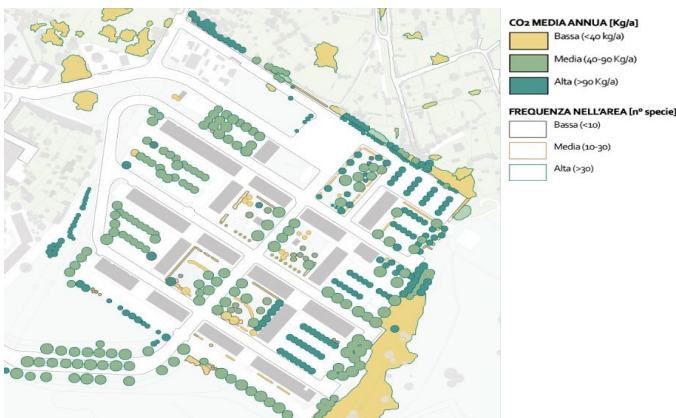


Figura 13 - Quadro di sintesi relativa alla capacità di assorbimento di CO₂ delle specie arboree e arbustive censite e relativa frequenza nell'area.

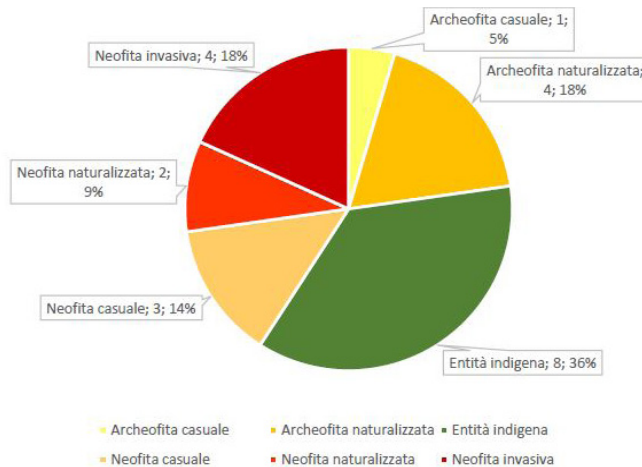
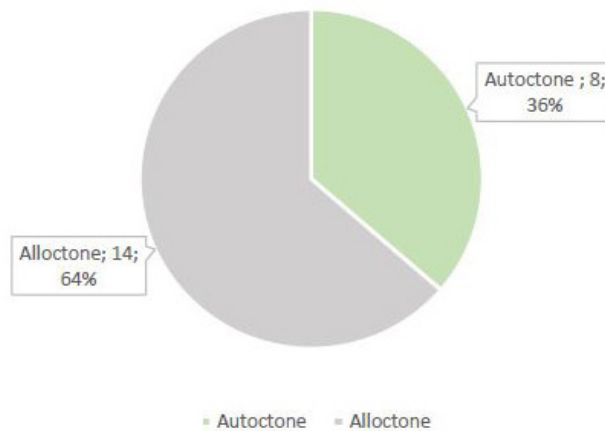
Di seguito:

Figura 14 - Status esotico delle specie arboree e arbustive censite nel PdZ di San Basilio.

Figura 15 - Status complessivo delle specie arboree e arbustive censite nel PdZ di San Basilio.

canopy cover pari al 30% degli spazi aperti e una capacità di assorbimento di CO₂ dall'atmosfera complessivo, comprensivo degli spazi verdi a raso, stimato in 360.577 KgCO_{2eq}/annuo.

Le specie censite (Fig.14) risultano in prevalenza Alloctone (64%, 14 specie), con bassa sostenibilità ambientale e secondo lo Status di esoticità (Fig.15), principalmente di tipo Indigena (36%, 8 specie), seguite da Neofite invasive (18%, 4 specie), Neofite naturalizzate (18%, 4 specie), Neofite casuali (14%, 3 specie), Neofite naturalizzate (9%, 2 specie) e da Archeofita casuali (5%, 1 specie).



La capacità di assorbimento di CO₂ dalla atmosfera delle specie censite (Fig.16) risulta complessivamente di livello MEDIO-ALTO, ALTO, la specie con più alto potenziale di assorbimento e stoccaggio di carbonio risulta essere il *Pinus pinea*, specie Archeofita naturalizzata e non spontanea nel territorio metropolitano di Roma Capitale.

L'Indice tassonomico di stoccaggio (TS) applicato per le specie censite (Fig.17) presenta una frequenza di distribuzione omogenea con il valore massimo pari a 0,727, un valore minimo pari a 0,002 e una media pari a 0,163. L'Indice tassonomico di stoccaggio medio (TS_m) delle specie analizzate e censite risulta essere pari a 0,147 superiore del 43% rispetto la media riscontrata per il censimento arboreo e arbustivo delle specie presenti nell'hinterland romano.

Figura 16 - Capacità di assorbimento di CO₂ delle specie arboree e arbustive censite nel PdZ di San Basilio.

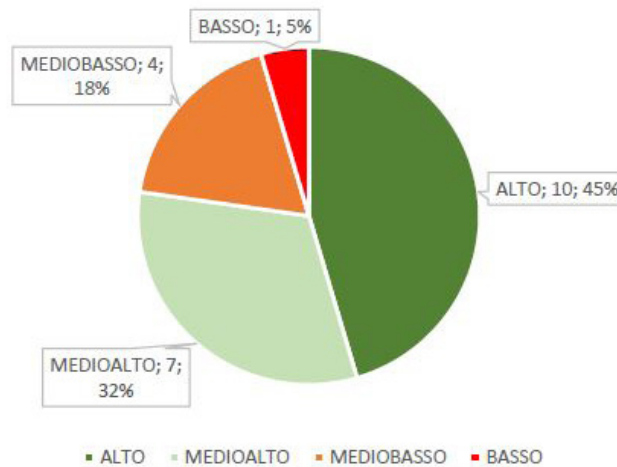
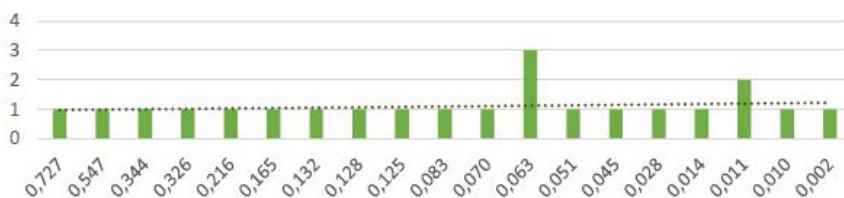


Figura 17 - Grafico delle frequenze di distribuzione dell'Indice Tassonomico di Stoccaggio (TS) relativo alle specie arboree e arbustive censite nel PdZ di S. Basilio.



7.4 Misurazione in loco della concentrazione CO₂

Stazione	Concentrazione di CO ₂ rilevata (ppm)
1	395,7
2	396,1
3	396,0
4	397,2
5	397,8
6	395,9
7	395,8
8	396,3
9	395,5
10	396,7
11	396,4
12	396,6
13	397,3
14	398,3
15	398,7
16	399,0
17	398,9
18	399,2
19	398,8
20	399,5

Tabella 1 - Rilevazioni eseguite in 20 stazioni all'interno del PdZ di San Basilio il giorno 21 Giugno 2021.

Le campagne di misurazione in loco per la rilevazione delle concentrazioni di carbonio in atmosfera sono avvenute in due momenti specifici del 2021:

- il solstizio d'estate, avvenuto il giorno 21 Giugno 2021 alle ore 07:00 con una Temperatura rilevata pari a 25 °C, Umidità relativa (UR) pari al 70,1%, raffica di vento massima registrata pari a 3,2 m/s e una copertura nuvolosa del 30%;
- il solstizio d'inverno avvenuto il giorno 21 Dicembre 2021 alle ore 17:00, con una Temperatura rilevata pari a 9 °C, Umidità relativa (UR) pari al 99,1%, raffica di vento massima registrata pari a 7,2 m/s e una copertura nuvolosa del 55%.

Tali date, nel rispetto delle restrizioni attuate dal Governo Italiano per il contenimento della pandemia da *COVID-19*, sono giustificate al fine di quantificare la massima variazione, in termini di concentrazione, di carbonio in atmosfera in virtù della presenza di masse arboree (nello specifico l'apparato fogliare) in estate in grado di assorbire carbonio e di assenza delle stesse nel periodo invernale. Le 20 stazioni di rilevamento, come descritto in precedenza nella metodologia, sono state eseguite all'interno della viabilità locale del PdZ di S. Basilio, sintetizzate nella Tabella n.1 e successivamente inserite nella piattaforma *Google Earth* collegato in sincro alla piattaforma *Cloud Google Drive* e successivamente esportati, con estensione *.KML*, in *QGIS*, Sistema di Informazione Geografica *open source*, al fine di geo referenziare tali stazioni secondo il S.R. *WGS84*. Le concentrazioni rilevate (in parti per milione, PPM), sono state successivamente espresse in *QGIS* secondo due concetti grafici, il primo, puntuale, al fine di comprendere esattamente la localizzazione del campionamento eseguito, il secondo, diffuso, mediante l'elaborazione di una mappa di concentrazione (*heatmap*) dove i singoli valori rilevati sono rappresentati e da colori in funzione del "peso" di concentrazione di carbonio quantificato (rosso scuro per la concentrazione massima rilevata, giallo per quella minima rilevata). La rilevazione sperimentale eseguita ha evidenziato nel sol-

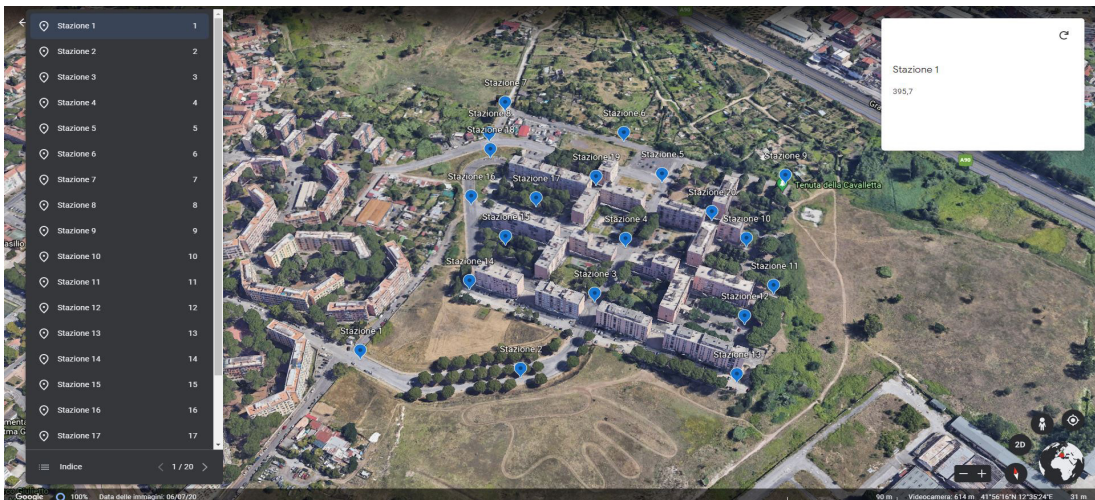
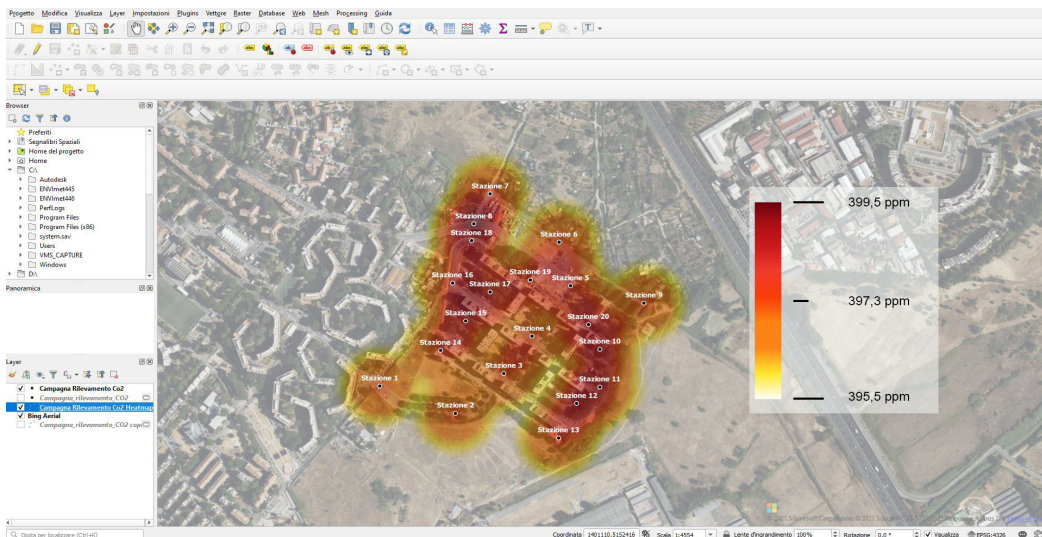


Figura 18 - Inserimento dei dati censiti in Google Earth collegato alla piattaforma Cloud Google Drive.

stizio d'estate un picco di concentrazione di CO₂ pari a 399,5 ppm rilevato principalmente all'interno delle corti chiuse degli edifici ove tale conformazione non permette una corretta ventilazione e concentrazioni minori negli spazi aperti periferici al PdZ con un valore minimo rilevato pari a 395,5 ppm. La misurazione avvenuta il giorno del solstizio d'inverno, è stata eseguita con gli stessi criteri per quella avvenuta per il solstizio d'estate, rilevando nello specifico le concentrazioni sintetizzate nella Tabella n.2. La campagna esegui-

Figura 19 - Heatmap delle rilevazioni eseguite il giorno 21 Giugno 2021.



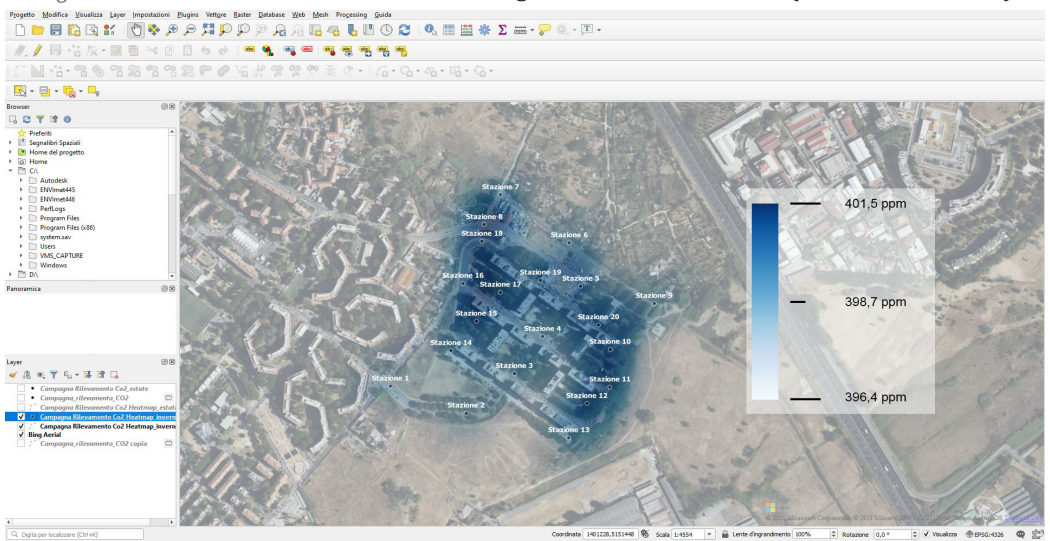
Stazione	Concentrazione di CO ₂ rilevata (ppm)
1	397,6
2	397,5
3	397,4
4	398,4
5	398,9
6	396,9
7	396,4
8	397,4
9	396,7
10	397,9
11	397,9
12	397,9
13	398,7
14	399,7
15	400,7
16	400,9
17	399,9
18	401,4
19	399,8
20	401,5

Tabella 2 - Rilevazioni eseguite in 20 stazioni all'interno del PdZ di San Basilio il giorno 21 Giugno 2021.

Figura 20 - Multi Functional Air Quality Detector Temtop M2000.



Figura 21 - Heatmap delle rilevazioni eseguite il giorno 21 Dicembre 2021.



ta ha evidenziato in inverno, nello specifico, un picco di concentrazione di CO₂ pari a 401,5 ppm rilevato all'interno delle corti chiuse degli edifici e del tessuto edilizio che connette il PdZ al quartiere S. Basilio; tali concentrazioni risultano superiori al periodo estivo per la mancanza in *primis* delle masse vegetazionali caducifoglie e per

un incremento dei consumi energetici dovuti al riscaldamento degli alloggi e delle aree a destinazione commerciale che costituiscono il distretto urbano. Tali valori risultano essere superiori rispetto uno specifico studio di rilevamento delle concentrazioni di carbonio in antmosfera eseguito sulla città di Roma (Gratani et al, 2005).

7.5 Scenari di riqualificazione con metodologie *green* per la sottrazione e conversione di CO₂

Le sfide di riqualificazione di distretti urbani con metodologie *green* racchiudono approcci di tipo integrato ove sono considerate le molteplici sfide ecologiche, sociali ed economiche (Andreucci, 2017). Gli spazi verdi presentano infatti le caratteristiche potenziali di *natural carbon sink* differenziato a seconda delle caratteristiche dello spazio aperto e delle specie vegetali presenti; tali possono essere quindi impiegati per la rimozione e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera e per l'incremento dell'indice di *canopy cover*, soprattutto se densificati e messi a sistema tra di loro integrando le superfici esterne degli involucri edilizi e le coperture per ospitare masse vegetazionali. Il progetto di riqualificazione degli spazi aperti secondo soluzioni di *green blue infrastructure*, adottati nel secondo scenario (definito Scenario di riqualificazione Innovativo) si basa principalmente su tre assi strategici:

- incremento delle masse vegetazionali, autoctone e ad alta capacità di mitigazione ambientale;
- incremento delle superfici permeabili, delle aree umide e recupero degli spazi aperti fortemente degradati;

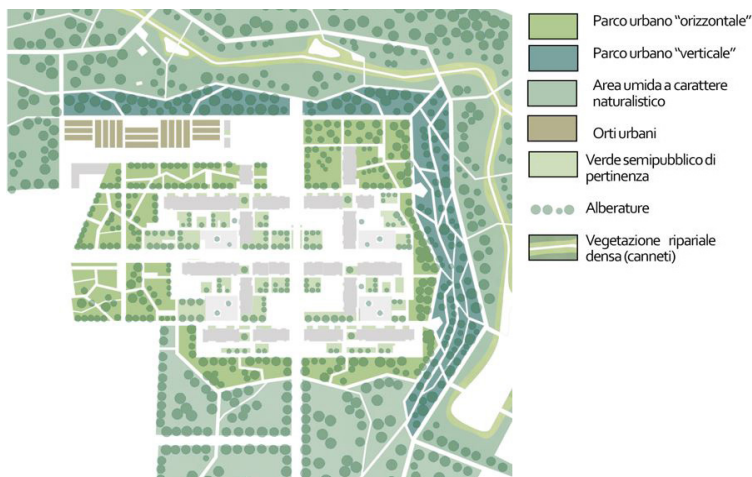


Figura 22 - Riqualificazione con strategie *green* previste nel Secondo scenario di Intervento definito Innovativo.

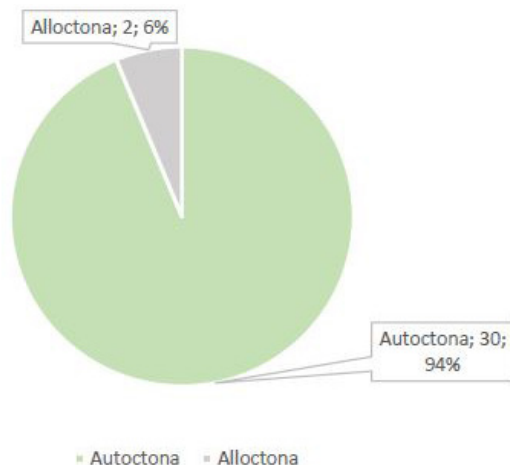
5. Il metodo VTA, valutato su basi biomeccaniche, consiste nel riconoscimento visuale di segnali e sintomi esterni caratteristici di avvertimento di pericoli strutturali o fitosanitari, permettendo quindi una veloce identificazione dei soggetti arborei a rischio statico.

6. Sono state introdotte n.5 nuove specie arboree e arbustive non censite nell'area oggetto di riqualificazione ma proposte nello scenario proposto in quanto autoctone, sostenibili e spontanee nella Città Metropolitana di Roma Capitale con alte capacità di assorbimento e stoccaggio di CO₂. Per suddette specie sono state realizzate schede botaniche presenti nella sezione Appendice 1 – Le Schede Botaniche.

- quantificazione della biomassa prodotta dalla manutenzione delle specie, sfalci e potature.

Per il primo asse strategico lo scenario ha previsto il potenziamento delle specie autoctone, resilienti e native del luogo, tra le quali il *Fagus sylvatica*, *Olea europaea*, *Pinus pinea* e l'introduzione di ulteriori 5 specie vegetazionali sostenibili e con elevate capacità di mitigazione ambientale nell'assorbimento e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera, quali, ad esempio, *Pinus halepensis*, *Populus tremula*, *Quercus pubescens*, *Quercus suber*. Tale scenario ipotizzato presenta inoltre la rimozione di n. 128 specie tra arboree e arbustive infestanti e invasive quali, ad esempio, *Acacia dealbata*, *Ailanthus altissima*, *Junglas regia*, *Robinia pseudoacacia* nonché di specie arbustive, principalmente *Pinus pinea*, troppo vicine ai manufatti edilizi le quali creavano problemi di ventilazione naturale e ombreggiamento nei sopralluoghi avvenuti nei periodi estivi e invernali e di specie con evidenti problemi di pericolosità strutturale attraverso la tecnica V.T.A. (Visual Tree Assessment, Controllo visuale dell'albero)⁵. Sono state inoltre mantenute le oltre 70 specie arbustive di *Laurus nobilis* che costituiscono i 200 m di siepi e bordure stradali presenti nell'area di intervento. Complessivamente sono state introdotte 587 nuove specie arboree e arbustive allocate nelle aree degradate recuperate e riqualificate (32 generi per una quota totale di 961 masse arboree)⁶. Le 32 specie presenti in tale scenario di riqualificazione risultano quasi esclusivamente in prevalenza Autoctona (94%, 30 specie) (Fig.23), con un sensibile aumento della sosteni-

Figura 23 - Status esotico delle specie arboree e arbustive nel Secondo Scenario di Intervento.



bilità ambientale dimostrato, secondo lo *Status* di esoticità (Fig.24), dalla costituzione di specie principalmente di tipo Indigena (91%, 29 specie), seguite da Neofite casuali (3%, 1 specie), Neofite naturalizzate (3%, 1 specie) e da Archeofita naturalizzata (3%, 1 specie).

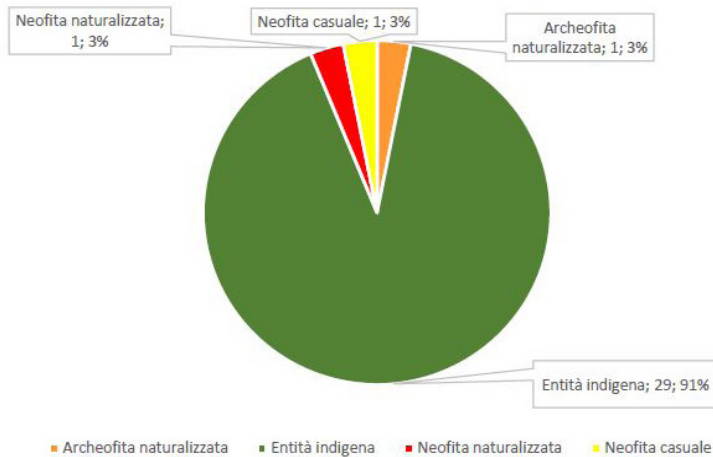


Figura 24 - Status complessivo delle specie arboree e arbustive nel secondo Scenario di Intervento.

La capacità di assorbimento di CO₂ dalla atmosfera delle specie presenti nello scenario di riqualificazione innovativo (Fig.25) risulta essere complessivamente di livello ALTO, migliorando quindi il grado dello Stato di fatto; la specie con più alto potenziale di assorbimento e stoccaggio di carbonio risulta essere il *Pinus halepensis*, Entità indigena e spontanea nel territorio metropolitano di Roma Capitale e ad alta capacità di mitigazione ambientale, tra le specie introdotte nel progetto di riforestazione urbana dell'area.

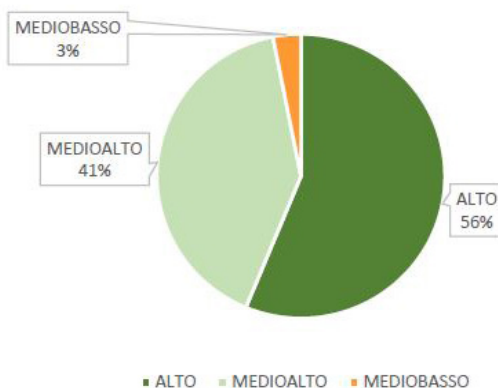


Figura 25 - Capacità di assorbimento di CO₂ delle specie arboree e arbustive nel secondo Scenario di Intervento.

Figura 26 - Grafico delle frequenze di distribuzione dell'Indice Tassonomico di Stoccaggio (TS) relativo alle specie arboree e arbustive nel secondo Scenario di Intervento.

L'Indice tassonomico di stoccaggio (TS) applicato per le specie presenti in tale scenario (Fig.26) presenta una frequenza di distribuzione omogenea con il valore massimo pari a 1, un valore minimo pari a 0,008 e un *Indice tassonomico di stoccaggio medio* (TS_m) pari a 0,188, incrementando sensibilmente quindi la sostenibilità ambientale rispetto lo Stato di fatto.

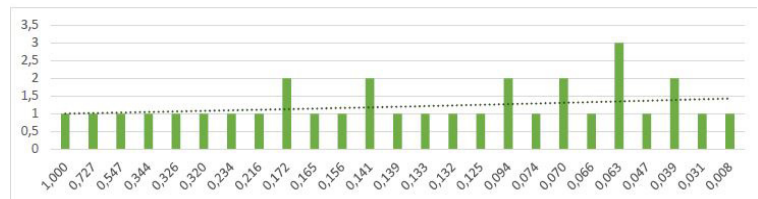
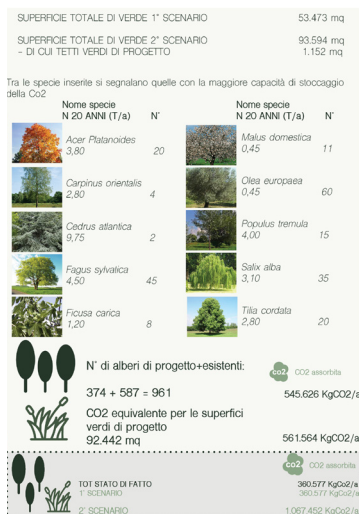


Figura 27 - Bilancio finale delle strategie green (rimboschimento e incremento delle superfici permeabili) adottate nel secondo Scenario di Intervento.



Il secondo asse strategico pone il proprio *focus* sull'aumento delle superfici permeabili, il recupero dei suoli degradati secondo una progettazione volta alla introduzione di nuovi spazi urbani al fine di ridurre il fenomeno delle isole di calore (*heatland*), del *run-off*, massimizzando quindi le funzioni ecologiche previste nelle nuove strategie di progettazione ambientale. Le superfici permeabili, con sistemazioni verdi o con soluzioni filtranti come coperture e pareti vegetate, consentono quindi un generale raffrescamento urbano passivo e una regimentazione del ciclo delle acque piovane secondo una raccolta in cisterne interrato e un secondo utilizzo quale essere, ad esempio, irrigazione degli spazi aperti o l'adduzione per i servizi igienici dei manufatti edilizi. Tali strategie si traducono, in sintesi, in un incremento delle superfici permeabili dal 38% al 68%, l'introduzione di 1152 mq di tetti verdi per un totale di assorbimento di CO₂ dall'atmosfera pari a 1.067.452 KgCO₂eq/annuo.

Le strategie descritte nel primo e secondo asse strategico introducono il terzo e ultimo asse volto alla quantificazione della biomassa derivata dal trattamento e recupero degli sfalci e potature dei prati, delle siepi e delle specie arboree e arbustive del progetto di riqualificazione. Nello specifico si quantifica una produzione di biomassa secca derivata dagli sfalci a prato per 232500 Kg/annui, per gli sfalci delle siepi pari a 10000 Kg/annui e per la manutenzione delle specie arboree e arbustive pari a 1870 Kg/annui per un totale complessivo di 244370 Kg/annui. Tale biomassa concorre, insieme alla frazione organica e al recupero dell'olio vegetale esausto derivati da un miglioramento della gestione del ciclo dei rifiuti all'interno del distretto, ad essere il combustibile per l'alimentazione della centrale a biomassa per la produzione di energia elettrica posta ai margini dell'area.

7.6 Scenari di riqualificazione con metodologie *grey* per la sottrazione, conversione e stoccaggio di CO₂

La riqualificazione mediante strategie “*grey*” del patrimonio edilizio e degli spazi aperti ha preso in esame tre scenari. Il primo, attraverso materiali edili *standard* che solitamente vengono impiegati nelle ristrutturazioni. Il secondo attraverso l’impiego di materiali fortemente innovativi, *negative carbon* o con emissioni esternamente ridotte in tutte le fasi di lavorazione e produzione e in alcuni casi in grado di contribuire attivamente all’assorbimento di carbonio dall’atmosfera. Entrambe le soluzioni proposte sono successivamente confrontate tra di loro e lo Stato di fatto. Il terzo e ultimo scenario pone l’attenzione sull’utilizzo sperimentale, a scala di distretto, di tecnologie *Carbon Capture and Storage - CCS* ad energia positiva quali essere il *Bioenergy with carbon capture and storage - BECCS* e il *Direct Air Capture - DAC*.

Figura 28 - Analisi degli spazi aperti, quantificazione dei materiali (in peso e volume) e della relativa Embodied carbon nel primo Scenario di Intervento.





Figura 29 - Impianto mobile per il trattamento dei rifiuti inerti.

3. Quota di recupero minima ai sensi del DM 11/10/17 (Criteri Ambientali Minimi obbligatorio del Piano d'Azione Nazionale per il GPP per l'edilizia) pari al 70%.

4. Stima eseguita considerando l'impianto di recupero di rifiuti inerti più vicino all'area di intervento (25 Km) analizzando le emissioni di CO₂/Km e la portata di un autocarro per il trasporto.

Figura 30 - Primo Scenario di Intervento con bilancio finale della Embodied Carbon e confronto percentuale rispetto lo Stato di fatto.

Primo scenario

Il primo scenario di riqualificazione, definito "standard" prevede un retrofitting energetico degli edifici attraverso il mantenimento della struttura portante in cls armato e una applicazione di blocchi e isolanti di adeguate dimensioni per le chiusure orizzontali e verticali e la sostituzione degli infissi in grado di aumentare e migliorare complessivamente la performance termica ed energetica dei manufatti edilizi. Tale proposta di riqualificazione ipotizza emissioni di carbonio per consumi energetici dei manufatti edilizi pari a 1.013.187 kgCO_{2eq}/annuo ed embodied carbon pari a 54.849.066 KgCO_{2eq}. Relativamente agli spazi aperti tale scenario prevede l'incremento delle aree pedonali introducendo nuove aree giochi e lastre in basalto e leucite in sostituzione dell'asfalto bituminoso e una embodied carbon complessiva quantificata pari a 142.570.013,88 KgCO_{2eq} di cui 5.585.899,79 KgCO_{2eq} per i nuovi materiali introdotti. I materiali oggetto di demolizione provenienti dalla riqualificazione degli edifici e degli spazi aperti del distretto urbano, quali, ad esempio, calcestruzzo, laterizi e intonaci, vengono recuperati *in situ* mediante impiego di un impianto mobile per il trattamento dei rifiuti inerti e il riutilizzo degli aggregati riciclati per il rifacimento dei sottofondi stradali carrabili e delle sistemazioni ambientali e paesaggistiche del distretto urbano, con una quota di recupero superiore al 90%³, generando un risparmio di emissioni sia per la mancata estrazione di inerti naturali e il loro approvvigionamento, sia per il trasporto dei rifiuti inerti al più vicino sito per il recupero (5.369 KgCO_{2eq})⁴. Per i materiali provenienti dalla sostituzione degli infissi come alluminio e vetro è stata ipotizzata una gestione *off-site* per un ulteriore utilizzo dopo trattamento industriale. Gli intonaci in gesso e le



guaine impermeabilizzate provenienti dal rifacimento delle coperture, rientranti nella categoria dei rifiuti speciali, vengono invece smaltiti in discarica. Tale scenario di riqualificazione definito "*standard*", prevede una *embodied carbon* complessiva quantificata pari a 197.419.080,00 KgCO_{2eq}.

Secondo scenario

Il secondo scenario di riqualificazione definito "innovativo", prevede l'utilizzo per l'appunto di materiali fortemente innovativi e sperimentali, derivati, ad esempio, da processi di riciclo di rifiuti solidi urbani e/o industriali (es. *Carbon Buster*) o da fibre naturali completamente riciclabili con *embodied carbon* estremamente ridotta (es. *Canapa Lithos1000*). Tali materiali innovativi, come descritto in precedenza, presentano schede tematiche nella Sezione Appendice 2 con metodologia adottata descritta nel Capitolo 6. Nello specifico per la riqualificazione del patrimonio edilizio del distretto urbano gli interventi ipotizzati riguardano il mantenimento della struttura portante esistente, la ridefinizione delle chiusure verticali con l'introduzione di ampie superfici vetrate con infissi basso emissivi, l'introduzione di dispositivi bioclimatici passivi quali atri e serre solari a sud e *buffer space* aggettanti a nord, determinando quindi un incremento dei volumi in linea con le normative vigenti, migliorando quindi l'adattabilità e la flessibilità degli alloggi secondo una conformazione modulare per ogni tipologia di esigenza, garantendo così un maggior *comfort* ambientale e una drastica riduzione dei consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento. Le chiusure esterne sono costituite da una parete a cappotto, con un isolante naturale del tipo *Canapa Lithos1000* ancorato su elementi massivi in blocchi del tipo *Carbfix2*, derivati dal processo di mineralizzazione artificiale (Voigt et al, 2021) a seguito di una iniezione liquida della CO₂ catturata e assorbita con processi *DAC* in rocce di natura principalmente basaltica (Marieni et al, 2021). Ciò definisce quindi un materiale edilizio innovativo e sperimentale costituito da carbonio stoccato (Voigt et al, 2021). Le pareti degli edifici con esposizione a ovest prevedono una parete ventilata realizzata con lastre in gres porcellanato ancorate su sottostruttura in acciaio. Gli oggetti realizzati per gli atri, serre solari e *buffer space* sono realizzati in *X-Lam* a 5 strati con una finitura interna ed esterna in doghe di legno trattato. Le chiusure orizzontali sono progettate secondo l'introduzione di lastre del tipo *Corkpan* e di funzioni specifiche quali tetti giardino praticabili e aree destinate a impianti fotovoltaici integrati con finitura, in tali

Nella pagina a seguire:

Figura 31 - Materiali innovativi e sperimentali adottati nei due scenari di intervento proposti.

I valori di Embodied Carbon di ogni singolo materiale sono stati reperiti attraverso la consultazione dell'Inventory of Carbon and Energy (ICE database), disponibile all'indirizzo: <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>.

BIOMATTONI
Il Natural Beton, componente del biomattone, è un materiale ottenuto combinando il truciolo vegetale di canapa con un legante a base di calce idrata e additivi naturali, che stabilizza la componente vegetale proteggendola dalla possibilità di decomporsi, di incendiarsi o di essere aggredita da insetti o roditori.




EC Unitaria 0,15 Kg Co2

Il bilancio di carbonio nella produzione e realizzazione del prodotto è definito *negative carbon*

●●●●●●●● **BASSO**

CARBFIX 2
Blocco costituito da un minerale di carbonato derivato dalla reazione chimica della iniezione liquida di Co2 prelevata con tecnologia DAC nel sottosuolo contenente rocce di basalto. I tempi di mineralizzazione sono estremamente rapidi con primi risultati entro i 24 mesi dalla iniezione stessa.



Artificial Carbon Sink
50 Kg Co2eq per ton

Minerale contenente Co2 iniettata nel sottosuolo

●●●●●●●● **BASSO**

CARBON BUSTER
È un blocco costituito dallo scioglimento del diossido di carbonio dei residui termici, mescolato prima di essere trasformato in pellet e utilizzato per la realizzazione del mattone, insieme a materiali riciclati come vetro e legno e per oltre il 50% da rifiuti industriali da termovalorizzatori.




Artificial Carbon Sink
14 Kg Co2eq per ton

Materiale basato su recupero di inerti da demolizione e rifiuti industriali

●●●●●●●● **BASSO**

ISOTEX
Blocchi per pareti in conglomerato di legno cemento, abbinamento che permette di assorbire i rumori, poiché il materiale fibroso unito al calcestruzzo creando massa abbattano le richieste energetiche per riscaldamento e riscaldamento, ottenendo le certificazioni Classe A, A+ e Gold.




EC Unitaria 0,27 Kg Co2

Natural Carbon Sink
MEDIO-ALTO

●●●●●●●● **MEDIO**

I.LIGHT
I.light è un pannello in calcestruzzo prefabbricato in grado di trasmettere la luce, realizzato combinando un'innovativa matrice cementizia con resine speciali, consente di scorgere ciò che si trova al di là del manufatto, creando un effetto trasparenza e una notevole riduzione dei carichi energetici con annessi riduzioni di Co2.




EC Unitaria 0,30 Kg Co2

Il prodotto innovativo a fine vita è completamente riciclabile, permette una riduzione dei carichi energetici

●●●●●●●● **MEDIO**

I.IDRO DRAIN
I.idro DRAIN è un'innovativa formulazione di calcestruzzo in grado di drenare l'acqua. La colorazione chiara e la circolazione dell'aria negli alveoli garantita dalla struttura atomica consentono una riduzione del calore in superficie fino a 30°C rispetto a una pavimentazione in asfalto, offrendo un maggior benessere urbano.



EC Unitaria 0,85 Kg Co2

ALTO

Il prodotto cattura agenti inquinanti atmosferici tra i quali il carbonio

Co2 assorbita 47,52 Kg/mq/anno

●●●●●●●● **ALTO**

EDILANA MAT
Materassino agugliato 100% pura lana vergine di pecora di Sardegna per l'isolamento termico-acustico e il benessere igrometrico. Coibentazione termica di murature a cassa vuota, senza additivi, con trattamento antitarmaico, rinnovabile eccedente non importata, 100% made in Italy.



EC Unitaria 0,13 Kg Co2

Natural Carbon Sink
ALTO

●●●●●●●● **ALTO**

CANAPA LITHOS 1000
Tra i biomateriali di nuova generazione, questo materiale è frutto della sintesi tra una biomassa in canapa e il legante Pappa Reale risultando un prodotto ad alte capacità di *embodied carbon*, è completamente slegato dalla filiera del petrolio e privo di formaldeide.



EC Unitaria 0,15 Kg Co2

Natural Carbon Sink
ALTO

●●●●●●●● **ALTO**

CORKPAN
CORKPAN è il solo pannello di sughero per isolamento a possedere prestazioni tecniche, ambientali e di sicurezza certificate da Enti terzi. In conformità alle norme ISO 14040 e ISO 14044 e a quanto definito dallo Standard Generale ANAB e ICEA (Istituto per la Certificazione Etica e Ambientale).



EC Unitaria 0,19 Kg Co2

Natural Carbon Sink
ALTO

●●●●●●●● **ALTO**

MAGRIPOL
Pannello in lino per l'isolamento acustico e termico a bassa conduttività, trasparente e ad alta resistenza in ambienti umidi. Il lino è una materia prima rinnovabile, alte capacità di *embodied carbon* e esente da proteine animali, altamente flessibile ed autoprotetto naturalmente senza trattamenti chimici.




EC Unitaria 0,15 Kg Co2

Natural Carbon Sink
ALTO

●●●●●●●● **BASSO**

NELSOLCELL
I focchi di cellulosa, di cui è composto questo materiale, sono dotati di un'elevatissima traspirabilità e hanno una grande capacità di accumulo termico. Ogni Kg di CO2 immessa in ambiente in fase di produzione corrisponde a mancate emissioni date dal risparmio energetico conseguito pari o superiori a 220 kg di CO2.



EC Unitaria 0,18 Kg Co2

Natural Carbon Sink
MEDIO-ALTO

●●●●●●●● **BASSO**

PAVATHERM
Il sistema di isolamento in fibre di legno PAVATEX permeabile è un ottimo dispositivo tecnologico per la riduzione dei carichi termici invernali. In estate, invece, assorbe il calore, lasciando più a lungo gli ambienti interni della casa freschi.



EC Unitaria 0,83 Kg Co2

Natural Carbon Sink
ALTO

●●●●●●●● **MEDIO-ALTO**

THE BREATH
La tecnologia del materiale si basa sulle proprietà di un tessuto multistrato di nuova concezione; è composto da due strati esterni in tessuto idrorepellente con proprietà battericide, antimuffa ed anti-odore e, uno intermedio in fibra adsorbente carbonica arricchita da nanomolecole.



EC Unitaria 0,65 Kg Co2

Prodotto innovativo con elevate capacità di cattura e stoccaggio al suo interno di inquinanti

●●●●●●●● **MEDIO-ALTO**

REVSTONE
Il prodotto è realizzato mediante pressatura a secco di atomizzato ottenuto da impasti pregiati di materie prime naturali (argille, feldspati, ed inerti). Il supporto ottenuto viene successivamente smaltato e cotto a temperature superiori a 1200°C ottenendo una massa compatta, inassorbente e resistente agli attacchi chimici.



EC Unitaria 0,95 Kg Co2

Prodotto riciclabile realizzato da impasti di materie prime naturali, compensando la produzione di CO2

●●●●●●●● **ALTO**

DERBIPURE TECHNOLOGY
DERBIPURE® è una membrana con mescola a base di legante vegetale, alternativa ai manti bituminosi o sintetici, è rinforzata con un'armatura composta in vetro/poliestere, impregnata con un coating acrilico a elevata riflettività.



EC Unitaria 0,38 Kg Co2

Prodotto riciclabile con finitura in olivina, con alte capacità di assorbimento e stoccaggio di CO2

●●●●●●●● **MEDIO**

DERBICOLOR OLIVINA
Il DERBICOLOR FR Olivina è una membrana impermeabile realizzata con una selezione del migliore bitume e di plastomeri APP-TPO di elevata qualità con graniglia di olivina come strato di finitura. Il minerale olivina è un silicato di ferro e magnesio presente in natura che ha la capacità di assorbire CO2 dall'atmosfera.



EC Unitaria 0,38 Kg Co2

MEDIO

Prodotto con olivina, alle capacità di cattura ed assorbimento di CO2

Co2 assorbita 12,5 Kg/m3/anno

●●●●●●●● **MEDIO-ALTO**

Tx ACTIVE
Azione catalitica generata dal biossido di Titanio nella forma anatasio e cemento, prodotto ecompatibile certificato per malte, pitture, intonaci e pavimentazioni. Presente nelle specifiche di: Tx ARIA (inquinamento) abbattimento del 30% della tossicità dell'aria;



EC Unitaria 0,35 Kg Co2

MEDIO

Prodotto con azione fotocatalitica per la presenza del Biossido di Titanio in grado di degradare il carbonio

Co2 assorbita 388,8 Kg/mq/anno

●●●●●●●● **ALTO**

AIRLITE
Pitture in polvere per esterni e per interni ad alto rendimento e lunga durata capace, in presenza di luce, di catturare e distruggere le sostanze inquinanti organiche e inorganiche presenti nell'aria, di prevenire lo sviluppo di muffe e di distruggere virus e batteri.



EC Unitaria 2,10 Kg Co2

ALTO

Prodotto in grado di degradare le particelle inquinanti tra i quali il carbonio, ottiene soluzioni anti inquinamento

Co2 assorbita 0,60 Kg/mq/anno

●●●●●●●● **MEDIO-BASSO**

aree, in finitura del tipo *Derbicolor Olivina*, materiale con elevate capacità di assorbimento di CO₂. Tale proposta di riqualificazione innovativa per il patrimonio edilizio, ipotizza una completa decarbonizzazione per consumi energetici dei manufatti edilizi garantita dalle soluzioni bioclimatiche passive e da sistemi di produzione di energia rinnovabile, quantificando una *embodied carbon* pari a 29.491.297,87 KgCO_{2eq}, di cui 10.630.043,26 KgCO_{2eq} per i nuovi materiali introdotti e 788.036,66 KgCO_{2eq} per i materiali innovativi. L'impiego di materiali innovativi e sperimentali, con capacità attiva di assorbimento di carbonio, come le pitture *Airlite* e le pellicole fotocatalitiche del tipo *Tx Active* con capacità disgreganti, garantiscono un assorbimento annuo pari a 254.330 Kg CO_{2eq} mentre i materiali sperimentali del tipo *Carbfix2* e *Carbon Buster* garantiscono uno stoccaggio complessivo pari a 413.971,00 Kg. I materiali oggetto di demolizione in tale scenario di riqualificazione presuppongono una quota di recupero superiore all'88% con un trattamento in

Figura 32 - Bilancio della embodied carbon incorporata degli edifici del distretto nel secondo Scenario di Intervento, dettaglio della CO₂ assorbita dai Materiali Innovativi e Sperimentali e Scenario di fine vita dei materiali oggetto di demolizione edilizia.

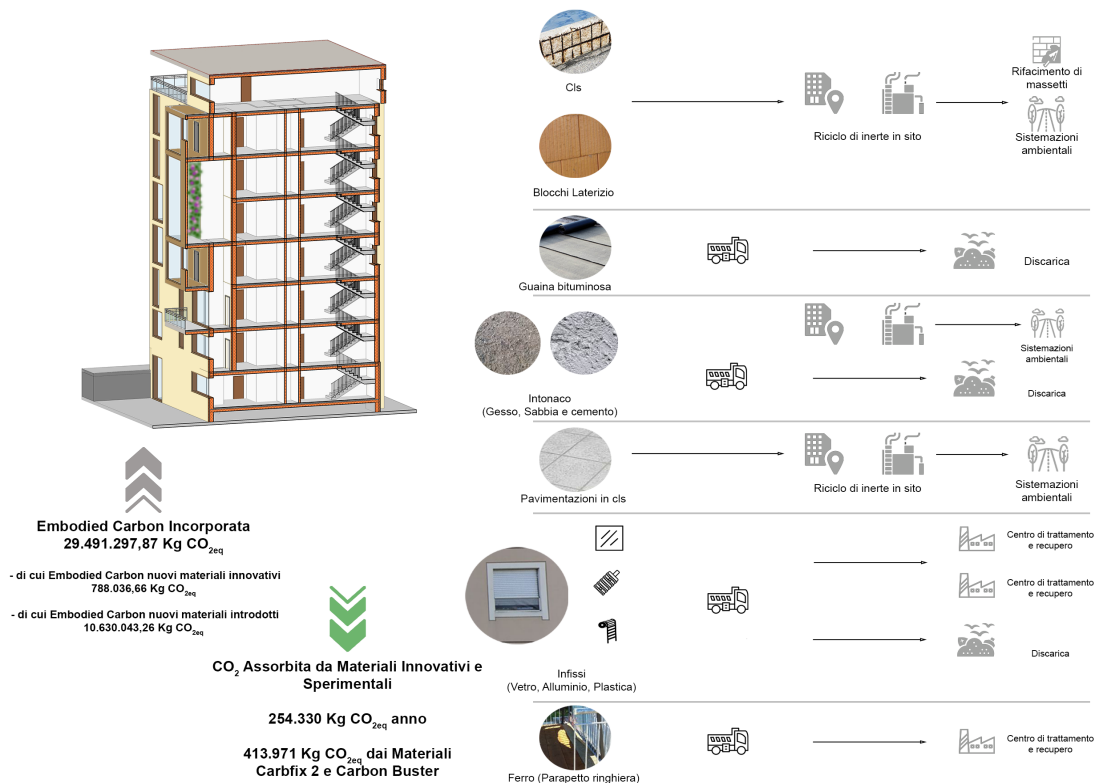
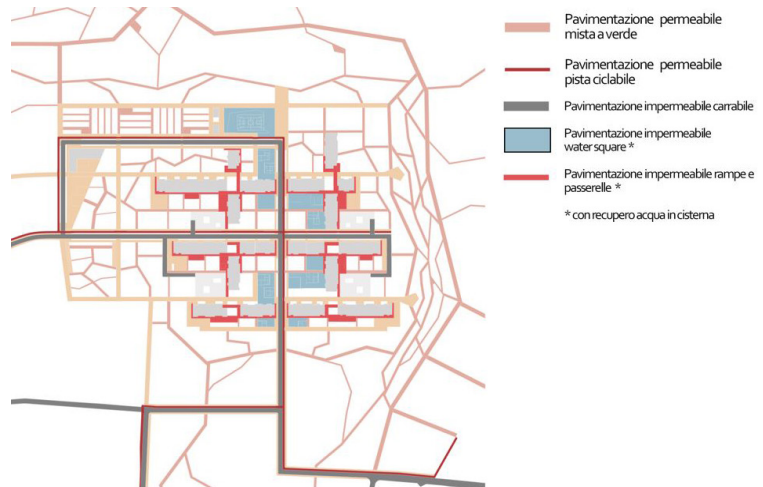


Figura 33 - Sistema dell'assetto artificiale delle superfici negli spazi aperti secondo strategie grey nel secondo Scenario di Intervento.



situ di inerti provenienti da cls, laterizi e intonaci per la realizzazione di massetti e pavimentazioni esterne come, ad esempio, percorsi naturalistici e di *cross-bike*, nonché per la sistemazione idraulica e geologica, per la quota eccedente, di aree paesaggistiche rigenerate del distretto urbano. Una percentuale inferiore al 2% dei materiali da demolizione è destinata in discarica. Relativamente al sistema di assetto artificiale degli spazi aperti, lo scenario innovativo prevede un incremento complessivo delle superfici permeabili secondo le strategie di *green infrastructure*, una drastica riduzione del traffico veicolare all'interno del distretto, favorendo la mobilità dolce e l'introduzione di piste ciclopedonali, seguendo le linee di programmazione del P.U.M.S, realizzate in conglomerato cementizio del tipo *Idro Drain* ad alta capacità di assorbimento e stoccaggio all'interno della propria struttura molecolare, di particelle inquinanti. La definizione e progettazione di spazi conviviali e aree ricreative all'aperto, con attività commerciali di prodotti a Km0, permette l'adozione di pavimentazioni in materiale del tipo *Revstone*, blocchi in basalto e leucite e pavimentazioni in piastrelle di cemento fotocatalitico per i percorsi di collegamento pedonali e per le aree destinate alle *water square* ove si prevede di utilizzare il cemento biodinamico con trattamento idrorepellente. Si prevede infine l'adozione di legno per la realizzazione di passerelle e micro-percorsi negli orti urbani adiacenti l'area di intervento; quest'ultimo materiale, naturale, è stato scelto per le alte proprietà di stoccaggio di carbonio. Complessivamente, la progettazione innovativa degli spazi esterni determina una *embodied carbon* pari a 15.021.500,13 Kg CO_{2eq}.



Tale secondo scenario di riqualificazione definito "innovativo", prevede una *embodied carbon* complessiva tra manufatti edilizi e spazi aperti quantificata in 44.512.798,00 KgCO_{2eq}.

Terzo scenario

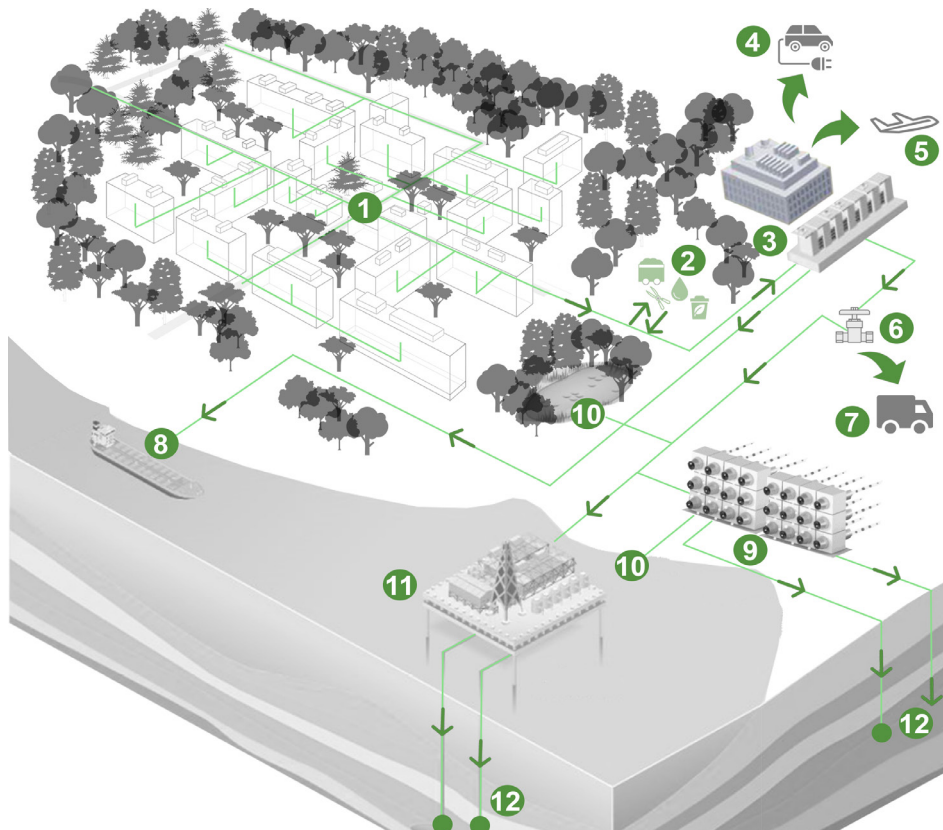
Il terzo scenario di riqualificazione concentra il *focus* sull'utilizzo sperimentale, a scala di distretto, di tecnologie *Carbon Capture and Storage - CCS* ad energia positiva quali essere il *Bioenergy with carbon capture and storage - BECCS* e il *Direct Air Capture - DAC* descritte, nel merito e nel funzionamento, nel capitolo 6 della presente Tesi di dottorato. A livello distrettuale si è ipotizzata una progettazione integrata tra le due tecnologie sopracitate in grado di fornire notevoli benefici in termini di cattura, assorbimento, stoccaggio e riutilizzo del carbonio dall'atmosfera secondo la definizione di un innovativo "*Carbon sink district*". Nello specifico, come mostrato nella Figura n.35, un sistema di teleriscaldamento distrettuale (1) viene alimentato, attraverso il recupero degli sfalci degli spazi aperti, della manutenzione delle specie arboree e arbustive, del recupero della frazione organica e degli olii vegetali esausti secondo una gestione performante del ci-

Figura 34 - Riqualificazione innovativa relativa al secondo Scenario di Intervento con quantificazione della *Embodied carbon* complessiva relativa gli spazi aperti.

4. Consultazione delle Piattaforme e teste pozzo sottomarine inattive e dismesse - Ministero dello Sviluppo Economico - DGISSEG 30/06/2020.

Figura 35 - Terzo Scenario di intervento secondo strategie grey rientranti nelle tecnologie di Carbon Capture and Storage per la definizione di uno sperimentale "Carbon sink district".

clo dei rifiuti, (2) da una centrale a biomassa integrata a un sistema di Carbon Capture and Storage - BECCS (3). Questo impianto è progettato inoltre per fornire energia alle colonnine di ricarica per le auto elettriche (4) o per la produzione di carburante sintetico per il trasporto aereo (5). Il sistema di cattura del carbonio BECCS (3), prevede una collocazione, mediante impianto pipeline (6) per essere trasportato via gomma (7) verso aziende alimentari o via mare (8) secondo un sistema off shore, oppure stoccato nel sottosuolo (12) attraverso chiatte marine per l'estrazione di gas naturale ad oggi dismesse (11)⁴. Il sistema di cattura ad energia positiva di tipo DAC (9) prevede un assorbimento in loco di carbonio dall'atmosfera, trattato successivamente da un collettore integrato. Successivamente, l'aggiunta di acqua (10) determina una miscela la quale viene spinta attraverso condotti a oltre un Km di profondità, ove, subendo il processo di mineralizzazione, diviene in pochissimi anni, roccia (12).



7.7 Discussione dei risultati

L'adozione della metodologia descritta all'inizio del presente capitolo sperimentale di applicazione dei *Topic* di indagine relativi alle soluzioni *green* e *grey* in grado di decarbonizzare i distretti urbani per sottrazione, assorbimento e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera ha delineato linee strategiche al fine di valutare gli effetti delle scelte progettuali adottate nei tre Scenari di Intervento.

Nello specifico si vogliono analizzare e discutere in questa sezione i risultati conseguiti nel primo e secondo Scenario di Intervento confrontandoli con lo Stato di fatto, inquadrando il terzo Scenario, rientrante nelle soluzioni *grey*, attraverso un *focus* di strategie ad oggi sperimentali e non confrontabili, in termini quantitativi, per mancanza oggettiva di dati, con altri casi studio a scala di distretto urbano e periurbano. Le strategie asseverabili alle soluzioni *green* hanno posto, nel primo Scenario di Intervento, definito "*Standard*" un mantenimento delle masse arboree e arbustive presenti; ciò si traduce in un assorbimento complessivo di CO₂ pari a 360.577,00 KgCO_{2eq}/annuo, pari allo Stato di fatto.

Il secondo Scenario di Intervento definito "*Innovativo*", è basato nella introduzione ed applicazione di tre assi strategici, quali l'incremento del patrimonio arboreo ed arbustivo attraverso, la valorizzazione delle specie sostenibili esistenti e alla introduzione di nuove autoctone, ad alta sostenibilità ambientale e spontanee del territorio metropolitano di Roma Capitale, l'incremento delle aree umide e alla valorizzazione degli spazi definiti "*brownfield*" e la quantificazione della biomassa prodotta dalla manutenzione delle specie arboree e arbustive, sfalci e potature.

Il potenziamento delle specie autoctone, resilienti e native del luogo, e l'introduzione di nuove specie sostenibile e ad alta capacità di mitigazione ambientale, definisce un incremento del 60% delle specie autoctone, un incremento del 55% dello *status* "Entità indigena" con un miglioramento complessivo delle capacità di assorbimento di CO₂ rappresentato da un miglioramento dell'11% del parametro "ALTO". Si vuole far notare che la specie con più alto potenziale di assorbimento e stoccaggio di carbonio risulta essere il *Pinus halepensis*,

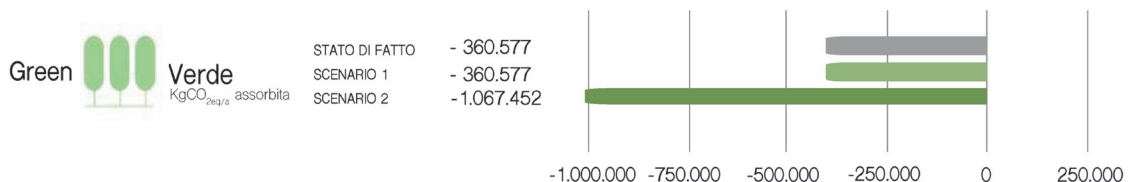
1. La quantificazione della biomassa derivata dal trattamento e recupero degli sfalci dei prati e della potatura delle siepi e delle masse arboree e arbustive è determinata secondo processi di calcolo ove sono stati ipotizzati il numero di passaggi mensili per sfalcio e numero di interventi per le potature differenziate per specie di nuovo impianto e esistenti, quantificandone la biomassa prodotta (rispettivamente in mq e in Kg).

entità indigena e spontanea nel territorio metropolitano di Roma Capitale e ad alta capacità di mitigazione ambientale, la quale, non a caso, è stata tra le specie introdotte nel progetto di riforestazione urbana dell'area.

L'adozione di tali strategie definisce un *Indice tassonomico di stoccaggio (TS)*, applicato per le specie presenti in tale scenario, presentando una frequenza di distribuzione omogenea con il valore massimo pari a 1, un valore minimo pari a 0,008 e conseguente miglioramento del 28% dell'*Indice tassonomico di stoccaggio medio (TS_m)*, incrementando quindi sensibilmente lo sostenibilità ambientale rispetto lo Stato di fatto. Il miglioramento della qualità arborea e arbustiva dell'area oggetto di sperimentazione, con una conseguente valorizzazione degli spazi aperti, parte dei quali fortemente degradati, ha permesso l'introduzione della determinazione di biomassa prodotta derivata dal trattamento e recupero degli sfalci dei prati e della potatura delle siepi e delle masse arboree e arbustive presenti, determinata in 244.370,00 Kg/annui¹. Tale quantità, sommata alla frazione organica e al recupero dell'olio vegetale esausto rientrante in una ridefinizione più ampia del sistema di trattamento e gestione della rete dei rifiuti nel PdZ di San Basilio, oggi basata principalmente su una raccolta differenziata di tipo stradale, concorre ad essere il combustibile per l'alimentazione di una possibile centrale a biomassa posta ai margini del distretto in grado di contribuire alla sostenibilità energetica dello stesso.

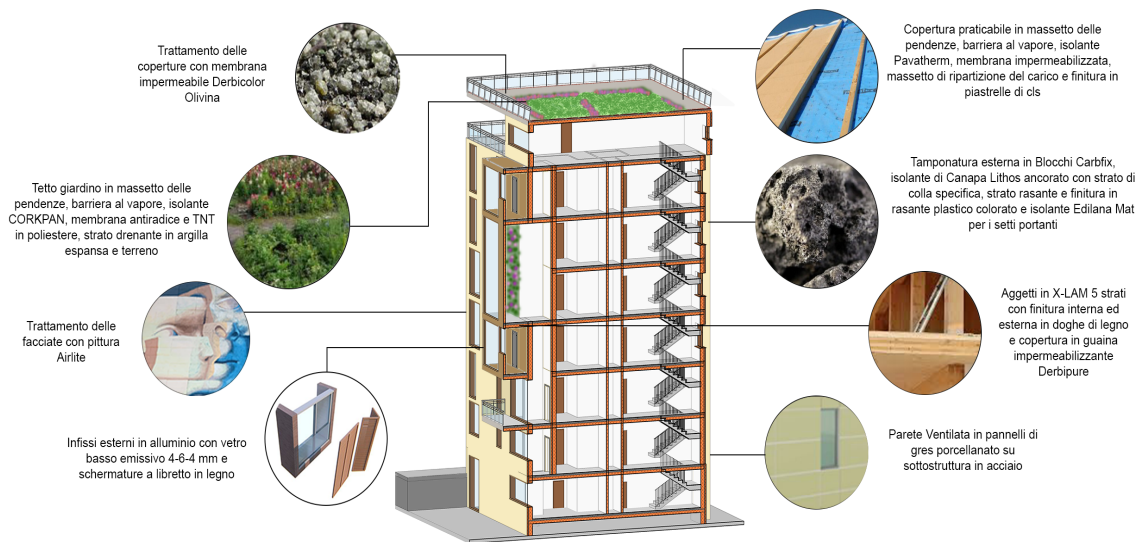
Il *mix* di tali strategie ambientali determina complessivamente un incremento dell'assorbimento di CO₂ pari a +183% (1.067.452 KgCO_{2eq}/annuo) rispetto allo Stato di fatto, risultato derivante dal complesso delle azioni progettuali che hanno prodotto un aumento, non solo di carattere quantitativo ma soprattutto di tipo qualitativo, del +30% (40.121 mq) di spazi verdi, tra i quali si devono considerare anche quelli rappresentati dall'introduzione di tetti verdi e di *brown roof* (1.152 mq), con conseguente recupero di suoli in precedenza degradati.

Figura 36 - Bilancio finale delle strategie green di assorbimento di carbonio dall'atmosfera adottate nella riqualificazione, secondo due Scenari di Intervento e confrontate con lo Stato di fatto, del PdZ di S. Basilio.



Relativamente alle soluzioni *grey* le strategie introdotte, volte alla quantificazione della *embodied carbon* prodotta dai materiali edili presenti nei manufatti edilizi e negli spazi aperti presenti nell'area di intervento e alla capacità di assorbimento e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera derivata dai materiali innovativi e sperimentali introdotti, si differenziano in tre scenari di intervento descritti nel precedente paragrafo. Il primo scenario di riqualificazione definito "Standard", ove si è pensato un approccio strategico volto al *retrofitting* energetico degli edifici attraverso il mantenimento della struttura portante e una applicazione di isolamenti termici nelle chiusure orizzontali e verticali con conseguente sostituzione degli infissi. Per gli spazi aperti lo Scenario stesso prevede un incremento delle aree pedonali introducendo in tali materiali semipermeabili, quali, ad esempio, blocchi di leucite e lastre di basalto, in sostituzione dell'asfalto bituminoso. Ciò ha permesso di quantificare una riduzione effettiva della *Embodied carbon* pari a -31,6% rispetto lo Stato di fatto, raggiungendo il -84,6 % nel secondo Scenario di riqualifica-

Figura 37 - Secondo Scenario di Intervento con definizione delle soluzioni tecnologico-ambientali e dei materiali innovativi e sperimentali analizzati. In basso bilancio finale della CO₂ stoccata, assorbita e della Embodied carbon quantificata secondo gli edifici e gli spazi aperti, con confronto percentuale rispetto lo Stato di fatto.

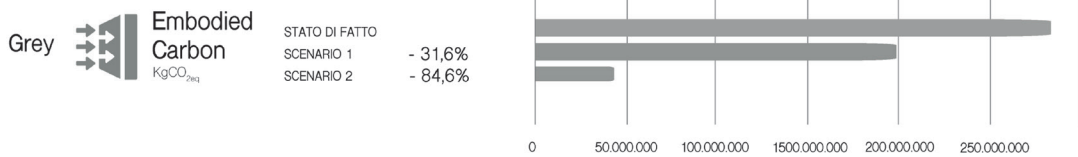


BILANCIO 2° SCENARIO

<p> CO₂ stoccata 254.330,00 KgCO₂₂₀₁₉</p> <p> CO₂ assorbita 413.971,00 KgCO₂₂₀₁₉ (Materiali Innovativi Carbfix2 e Carbon Buster)</p>	<p> - di cui edifici del PdZ 29.491.297,87 KgCO₂₂₀₁₉</p> <p> - di cui spazi aperti 15.021.500,13 KgCO₂₂₀₁₉</p>	<p>Embodied carbon</p> <p>44.512.798,00 KgCO₂₂₀₁₉</p>
--	--	---

RISPETTO STATO DI FATTO **-84,6%**

Figura 36 - Bilancio finale della Embodied Carbon rientrante nelle strategie grey, adottate nella riqualificazione, secondo due Scenari di Intervento e confrontate con lo Stato di fatto, del PdZ di S. Basilio.



zione definito "Innovativo" ove, l'introduzione contestuale alle strategie introdotte nel primo scenario, quali materiali innovativi e sperimentali, derivati da processi di riciclo di rifiuti o da fibre naturali riciclabili, nelle parti strutturali, nelle chiusure e nelle finiture degli edifici, nonché nelle pavimentazioni che caratterizzano il progetto di rigenerazione degli spazi aperti, secondo mirate azioni di *green infrastructure*, determina un assorbimento di carbonio dall'atmosfera annuo pari a 254.300 Kg e uno stoccaggio di 413.971KgCO_{2eq} attraverso l'uso di pitture e pellicole fotocatalitiche nonché di materiali fortemente sperimentali quali *Carbfix2* e *Carbon Buster*.

Relativamente al terzo Scenario l'ipotesi definita sperimentale ha posto l'impiego di soluzioni tecnologiche emergenti come il *DAC (Direct Air Capture)* e la mineralizzazione della CO₂ attraverso processi di pompaggio con acqua nel sottosuolo (D'Aniello et al, 2021) (Snæbjörnsdóttir et al, 2020). Quest'ultima tecnologia, integrata a un sistema di tecnologie *Carbon Capture and Storage - CCS* ad energia positiva quali essere il *Bioenergy with carbon capture and storage - BECCS* ha posto le condizioni per la definizione di un "*Carbon sink district*", un *mix* quindi di strategie volte principalmente alla decarbonizzazione del distretto e alla produzione di energia elettrica derivata da un impianto a biomassa alimentato da sfalci, patate, frazione organica e recupero di olii esausti vegetali contribuendo, lo stesso distretto, al raggiungimento dei parametri di *Positive Energy District - PED*.

7.8 Bibliografia

- Andreucci, M.B. (2017) *Progettare Green Infrastructure. Tecnologie, valori e strumenti per la resilienza urbana*, WK.
- D'Aniello, A., Tomasdottir, S., Sigfusson, B., Fabbicino, M. (2021) *Modeling Gaseous CO₂ Flow Behavior in Layered Basalts: Dimensional Analysis and Aquifer Response*, in *Groundwater*, vol.59, pp. 677-693.
- De Matteis, F., Reale, F., Reale, L. (2018), *Quattro quartieri spazio urbano e spazio umano nella trasformazione dell'abitare pubblico a Roma, DiAP PRINT progetti*, Quodlibet, Macerata.
- Dell'Aira, P.V., Guarini, P. (2019), *Residenza pubblica e condivisione identitaria: Esperienze di recupero dell'abitazione sociale, DiAP PRINT progetti*, Quodlibet, Roma.
- Gratani, L., Varone, L. (2005), *Daily and seasonal variation of CO₂ in the city of Rome in relationship with the traffic volume, Atmospheric Environment*, vol.39(14), pp. 2619–2624.
- Gregory, P., Belibani, R., Capanna, A., Causarano R.M., Turano, G. (2019), *Ri-habitat Roma: riqualificazione sostenibile per l'edilizia residenziale pubblica degli anni '50 del 20° secolo*, Edizioni Nuova cultura, Roma.
- Inventory of Carbon and Energy ICE, (2019), *Embodied Carbon – The ICE Database, Circular Ecology*.
- Marieni, C., et al. (2021), *Mineralization potential of water-dissolved CO₂ and H₂S injected into basalts as function of temperature: Freshwater versus Seawater*, in *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol.109, 103357.
- Mattogno, C., Romano, R. (2019), a cura di, *Dalla casa al paesaggio: edilizia residenziale pubblica e mutamenti dell'abitare a Roma*, Gangemi editore, Roma.
- National Academies of Sciences, E. and M. et al. (2019), *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda*. Washington, D.C.
- Progetto Qualiviva (2016), *“Piano Regionale della Regione Toscana per la Prevenzione. Linee di indirizzo per la salute e la sostenibilità dell'ambiente costruito”* – Allegato II Fattori di assorbimento per specie.
- Snæbjörnsdóttir, S.Ó. et al. (2020), *“Carbon dioxide storage through mineral carbonation”*, *Nature Reviews Earth & Environment*, vol. 1, p. 90.
- Tucci, F. (2018), *Green building and dwelling. Approaches, strategies, experimentation for an environmental technological design*, Altralinea Edizioni, Firenze.
- Voigt, M., et al. (2021), *An experimental study of basalt-seawater-CO₂ interaction at 130 °C*, in *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 308, pp.21-41.

7.9 Sitografia

<https://www.carbfix.com/>

<https://climeworks.com/>

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/IPCC-52_decisions-adopted-by-the-Panel.pdf

https://www.worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC_Bringing_Embodied_Carbon_Upfront.pdf

Conclusioni e prospettive future

Conclusioni e prospettive future

La qualità dell'abitare gli spazi urbani riveste una fondamentale importanza quale capacità di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici, contribuendo, con adeguate misure definite *green* e *grey*, al processo di decarbonizzazione. La presente tesi di dottorato ha evidenziato quanto sia ardua e complessa, per vari aspetti, la lotta ai cambiamenti climatici e la sfida per il contenimento dei livelli di temperatura media globale fissato dagli scienziati al fine di evitare conseguenze irreversibili e gravi per il pianeta Terra. Il tempo per agire si riduce giorno dopo giorno e gli impegni presi da diversi Paesi mondiali sono ad oggi lontani dagli obiettivi prefissati o alcuni per nulla interessati o coinvolti. Inoltre si è evidenziato la difficoltà e la complessità nella applicazione di metodologie, strategie e indirizzi volte al contenimento delle emissioni di CO₂ a livello globale di tipo *green* e *grey* per la mancanza di un apparato legislativo uniforme e di una opinione pubblica spesso tutt'altro che favorevole.

La realizzazione del concetto di *smart grid* per rigenerare aree urbane e periurbane al fine di decarbonizzare i diversi ambiti di indagine cui la compongono quali essere *Energia e bioclimatica*, *Acqua*, *Rifiuti*, *Mobilità*, *Verde e Materiali Innovativi* potrebbe offrire un notevole contributo alla riduzione delle emissioni di carbonio in atmosfera derivate da processi antropici correlate da attente scelte progettuali quale la riqualificazione energetica degli edifici e degli spazi aperti, rigenerando le aree permeabili, piantumando specie arboree e arbustive, autoctone, spontanee del luogo oggetto di intervento e ad alta sostenibilità ambientale.

Limiti della ricerca

La presente tesi di dottorato ha mostrato, in specifici punti relativi alla ricerca delle soluzioni *green* e *grey* al fine di contribuire alla decarbonizzazione dei distretti urbani e periurbani, limiti della ricerca spesso riconducibili alla loro applicazione in Stati con differenti situazioni geopolitiche in atto, o di soluzioni alternative a quelle descritte nella presente ricerca spesso molto più convenienti e collaudate. Le azioni riconducibili alle strategie *green* dispongono sempre

1. Il carbon budget è la quantità di CO₂ che l'umanità può ancora emettere per avere una chance di contenere il riscaldamento globale entro gli 1,5 gradi centigradi rispetto ai livelli preindustriali.

più di soluzioni tecnologiche ambientali, certe, quantificabili nei loro benefici e dai costi spesso ridotti; la mancanza di conoscenza, da parte degli attori del settore delle stesse e di una loro effettiva divulgazione, nello specifico in campo nazionale, comporta in molti casi l'utilizzo di specie arboree e arbustive non autoctone del luogo oggetto di impianto, con capacità di mitigazione ambientale bassa e costi spesso anche superiori in rapporto a analoghe specie resilienti e native del luogo.

Una costante formazione e informazione volta a rendere consapevoli le scelte in fase di progettazione, permetterebbe di migliorare i parametri ambientali di progetto nonché di un complessivo incremento del benessere termoclimatico in virtù di una migliore capacità di assorbimento e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera.

Azioni e soluzioni asseverate nelle strategie *grey* pongono i limiti della ricerca nella questione chiave riconducibile al loro utilizzo in relazione ai quantificati e affermati cambiamenti climatici.

Tali tecnologie, come il *Carbon Capture and Storage - CCS* e il *Direct Air Capture - DAC* risultano essere uno dei punti più controversi nel dibattito mondiale sulle politiche climatiche in atto al fine di rispettare gli accordi sanciti nella *COP21* di Parigi in quanto definite poco efficaci se lontane dal campo di applicazione industriale o poco affidabili in quanto attualmente non ancora impiegate, in particolare in ambito nazionale, a causa di ampie aree ad elevato rischio sismico. Una conferma importante, tuttavia, a supporto della presente ricerca, emerge con riferimento al potenziale contributo che gli Stati attueranno in risposta alla azione climatica globale al fine di gestire il loro *budget*¹ di carbonio residuo. Su questi punti si concentra il prossimo *report IPCC* che sarà pubblicato il 4 aprile 2022. Terzo e ultimo *dossier* del 6° *Assessment Report (AR6)*, questo *report* tratterà nello specifico le misure di mitigazione del cambiamento climatico. Una ultima questione relativa ai limiti della ricerca si può ricondurre alla determinazione e scelta dei casi studio nazionali ed internazionali in funzione delle strategie *green* e *grey* che le amministrazioni hanno adottato al fine di conseguire gli obiettivi di decarbonizzazione preposti. La presenza spesso di certificazioni e *standard* ambientali differenti relativi alla riqualificazione energetica degli aggregati edilizi, con specifiche sezioni di calcolo matematico inerenti la quantificazione fattiva in termini di riduzione di carbonio delle strategie adottate, non ha permesso un chiaro e diretto confronto tra gli stessi e il caso di studio sperimentale del PdZ di San Basilio.

Le sfide e le prospettive future per le strategie *green* e *grey*

Le Prospettive future di ricerca potranno riguardare, per le soluzioni *green*, l'incremento delle specie arboree e arbustive censite ampliando il *focus* sull'intero territorio nazionale, europeo e mondiale al fine di fornire alla comunità scientifica e agli attori del processo quale il settore pubblico e privato, un modello di calcolo di assorbimento di carbonio sempre più curato e dettagliato e di favorire, nei processi di riqualificazione di spazi aperti, specie autoctone e resilienti come descritto nella proposta al vaglio del Parlamento Europeo (Nuova Strategia forestale – *New EU Forest Strategy Fit For 55*). Tale impostazione cui si va delineando l'UE trova ad oggi pareri e opinioni spesso discordanti nella comunità scientifica, in considerazione della scelta di specie arboree in grado di adattarsi ai cambiamenti climatici in ambito urbano e periurbano (Churkina et al, 2015). Tali strategie di *urban greening*, definite come *best practise* delle *green infrastructure*, sono ad oggi fortemente incentivate anche grazie al sostentamento di piani e programmi economici diversificati per forma e contenuto in ogni stato. Tali però necessitano di una oculata gestione e applicazione in ambito urbano e periurbano; l'introduzione di specie arboree e arbustive caducifoglie o sempreverdi, di siepi con la funzione di schermo all'inquinamento acustico e agli agenti inquinanti atmosferici, deve essere sostenuta da idonee simulazioni di fluidodinamica eseguite in fase di programmazione dell'intervento al fine di verificare la morfologia dell'area di progetto e del microclima presente. Ciò permetterebbe di evitare o accentuare fenomeni, spesso già presenti, di *discomfort* ambientale, in *primis* riconducibili all'incremento della umidità relativa in aree spesso depresse o mancanti di una corretta ventilazione naturale. La strategia di una costituzione, per ogni città, di un *green budgeting*, permetterebbe di pianificare una concreta riduzione delle emissioni di CO₂ prevedendo costi e benefici associati per una più efficiente allocazione delle risorse economiche. L'incremento delle specie arboree e arbustive censite e implementate nel database concorrerà inoltre ad affinare e migliorare l'*Indice Tassonomico di Stoccaggio (TS)* in quanto applicabile in ogni area del globo e confrontabile tra più aree, anche distanti tra di loro, attraverso l'impiego dell'*Indice Tassonomico di Stoccaggio medio (TS_m)*. Quest'ultimo inoltre potrebbe trovare una potenziale relazione con il numero di essenze arboree e arbustive che compongono una area di intervento come interi centri urbani, città, aree metropolitane. Nel caso della Città Metropolitana di Roma Capitale non è stato possibile eseguire tale applicazione in quanto non è presente un censimen-

to completo e dettagliato delle masse arboree e arbustive presenti ma solo delle essenze arbustive presenti nei parchi e spazi verdi gestiti dalla amministrazione comunale. La messa a punto di metodologie di calcolo e verifica secondo la costituzione di metodologicamente solidi, snelli e scientificamente affidabili database, calibrati sui caratteri del contesto nazionale e in particolare su quelli delle aree, dei distretti e dei quartieri urbani e periurbani, potranno riguardare l'incremento delle specie arboree e arbustive censite, ampliando progressivamente il focus sull'intero territorio nazionale e, in teoria, in una prospettiva di crescita, sulla dimensione europea, tendente a quella mondiale, al fine di fornire alla comunità scientifica e agli attori del processo, quali quelli del settore pubblico e privato auspicabilmente interagenti attivamente, come nel caso dell'area di San Basilio presentato in questa ricerca come progetto sperimentale, un curato e dettagliato modello di calcolo dell'assorbimento di carbonio realmente conseguibile, volto a favorire, nei processi di riqualificazione di spazi aperti, specie autoctone e soprattutto resilienti (European Commission, 2021). Ulteriori prospettive di ricerca possono essere riconducibili alla questione relativa alla scala di edificio; vegetare l'involucro degli aggregati edilizi nelle facciate e nelle coperture, permette di mitigare gli effetti negativi delle isole di calore, incrementando al tempo stesso l'isolamento degli edifici interessati, riducendo l'incidenza di dilavamento urbano per le piogge sempre più intense e concentrate in brevi periodi dell'anno. L'impiego spesso di specie erbacee per *green wall* quali, ad esempio, rampicanti, succulente, rizomatose, possono essere oggetto di specifica indagine di ricerca volta ad analizzare le micro-capacità delle stesse di stoccare quantità di carbonio, con parametri e indici diversi da quelli impiegati per la presente tesi, rivolta esclusivamente alle specie arboree e arbustive. La ricerca e la sperimentazione infine di nuovi materiali sperimentali e innovativi, rientranti nelle soluzioni *grey*, migliorati nei processi di eco-compatibilità e eco-sostenibilità al fine di ridurre i costi di produzione degli stessi, potranno contribuire a un assorbimento attivo di carbonio nei processi di decarbonizzazione dei tessuti urbani e periurbani attraverso una più ampia fase di promozione e commercio. Le strategie *grey* definite ed analizzate nella presente tesi, integrate spesso in azioni complementari di *urban greening*, mostrano interessanti risvolti progettuali volti a una decarbonizzazione dei distretti urbani, generando impatti positivi per la qualità della vita e la salute degli abitanti delle città interessate. L'adozione e l'impiego di materiali innovativi e con capacità spes-

so attiva di stoccaggio e assorbimento di carbonio e la quantificazione della relativa *embodied carbon* per i materiali di origine naturale come il legno, dimostra come il settore dell'edilizia e delle costruzioni sia fortemente dinamico e tendente a soluzioni intelligenti e dinamiche, capaci di rispondere agli stimoli esterni in relazione ai cambiamenti climatici e alle sfide economico-ambientali in atto. Materiali esistenti utilizzati per secoli, come, ad esempio, il cemento, trovano un nuovo uso attraverso un ripensamento e uno studio dei contenuti per la realizzazione, secondo processi tendenti al riutilizzo delle risorse, di inerti provenienti da demolizioni e alla integrazione con prodotti naturali, definendo quindi una riduzione massiva delle emissioni di carbonio in atmosfera. Il censimento e la catalogazione dei principali materiali innovativi nel campo dell'edilizia hanno posto le basi per una sperimentazione applicativa eseguita nello specifico nella seconda proposta di scenario di intervento per la riqualificazione del PdZ di S. Basilio (RM). Permangono però ad oggi dubbi e questioni non ancora definite riguardo l'utilizzo di tali materiali sopracitati in fase di ampia produzione commerciale. Sebbene prodotti edili quali isolanti e blocchi con composizione naturale, riciclati e riciclabili stia sempre più acquisendo forza nelle scelte degli attori, pubblici o privati della filiera del settore dell'edilizia e delle costruzioni indirizzata verso strategie che possano permettere di realizzare edifici a basse richieste energetiche, adattivi e modulari, i costi di produzione e realizzazione di materiali specifici come, ad esempio, i trattamenti fotocatalitici, in rapporto alla capacità effettiva di assorbimento e stoccaggio di carbonio in atmosfera, sono ad oggi elevati. Negli ultimi anni l'interesse scientifico e tecnico verso tale applicazione è cresciuto esponenzialmente, più di duecento studi vengono pubblicati nel solo settore del trattamento di acqua e aria. In Italia i prodotti fotocatalitici in grado di abbattere l'inquinamento atmosferico sono da alcuni anni rientrati nelle *"Linee Guida per l'utilizzo di sistemi innovativi finalizzati alla prevenzione e riduzione dell'inquinamento ambientale"*. L'effettiva capacità del processo stesso di assorbire e stoccare il carbonio dall'atmosfera è stato oggetto di confronti stimolanti e proficui con alcuni colleghi appartenenti al Dipartimento di Chimica della Università Sapienza di Roma; la degradazione di inquinanti presenti in atmosfera come la CO₂, le polveri sottili, gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio e gli aromatici policondensati provenienti dagli scarichi veicolari vengono mineralizzati secondo un processo chimico in CO₂ e H₂O e non trasferiti in ulte-

2. Per completezza di informazione si rimanda alla seguente fonte: <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/crisi-emergenze-dannold/rischio-sostanze-chimiche-reach-prodotti-fitosanitari/news-in-evidenza/proposta-di-classificazione-per-il-biossido-di-titanio-tio2-come-sospetto-cancerogeno>.

Bibliografia:

- Churkina G, Grote R, Butler T.M. et al (2015), *Natural selection? Picking the right trees for urban greening*. *Environ Sci Pol*, vol. 47, pp. 12–17.

- European Commission (2021), *'Legislative train schedule. Fit for 55 Package under the European Green Deal'*, EC, Bruxelles.

- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019), *"Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda"*, Washington DC.

riori fasi, rimanendo quindi stoccati nella struttura molecolare ove il trattamento fotocatalitico è stato applicato.

Lo studio e gli approfondimenti evidenziati nella tesi mostrano quindi una produzione, seppur minima, di carbonio, quantità che può essere trascurata in virtù dei numerosi aspetti positivi che tale processo comporta. Permangono inoltre dubbi sugli effetti che il Biossido di Titanio, elemento catalizzatore per eccellenza impiegato nel processo di fotocatalisi per la sua economicità e efficienza, genera sulla salute umana, in virtù della recente proposta di Legge Europea e dell'ISPRA, di classificare il TiO_2 come "sospetto cancerogeno per inalazione"². Sempre nell'ambito delle soluzioni grey inoltre, le strategie di livello industriale come il *Carbon Capture and Storage (CCS)*, il *Carbon Capture and Utilization (CCU)* e il *Direct Air Capture (DAC)*, volte a decarbonizzare i settori ad oggi maggiori emettitori di carbonio quali cementerie, acciaierie, estrazione produzione e raffinazione dei derivati del petrolio, descritte nel dettaglio nel Capitolo 5 della presente tesi, presentano aspetti e questioni globali che meritano di essere attenzionate. Nello specifico tali tecnologie sono ancora limitate a pochi Stati nel mondo (U.S.A., U.K., U.A.E., ove sono presenti norme e incentivi strutturali per il loro impiego), spesso derivate da scelte di tipo geo litologico relativamente alla tipologia di suolo ove stoccare il carbonio assorbito in atmosfera. Le stesse non possono essere applicate, ad esempio, in aree sismiche, presenti in larga parte nel comparto euro-asiatico e nelle aree di contatto delle placche continentali nonché in aree fragili e degradate dalla componente antropica e delle azioni violente scaturite dai cambiamenti climatici. Risultano ad oggi timori che tali tecnologie presentano rispetto le grandi quantità energetiche richieste per il loro funzionamento; un recente studio della *National Academies of Sciences* sull'uso energetico della cattura diretta dell'aria di carbonio (*DAC*) indica che per catturare 1 giga tonnellata di CO_2 all'anno potrebbe occorrere fino a 3.889 terawattora di energia, quasi quanto l'elettricità totale generata negli Stati Uniti nel 2020 (National Academies of Sciences et al, 2019).

Appendice 1

Le Schede Botaniche

Abies alba - Mill. - Abete bianco (Pinaceae F. Rudolphi)**DESCRIZIONE**

L'abete bianco è un albero sempreverde e monoico (cioè presenta sulla stessa pianta fiori maschili e femminili distinti e separati). La corteccia, negli esemplari giovani, è liscia, ha un colore bianco-grigio argenteo e presenta delle piccole sacche resinose. Le foglie sono persistenti (8-10 anni) e costituite da aghi appiattiti, rigidi e inseriti singolarmente e separatamente sui rametti, secondo una disposizione a pettine; l'apparato radicale è di tipo fittonante.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

L'abete bianco vegeta in zone montane, ad altitudini comprese tra i 500 e i 1800 m s.l.m., trovando il suo clima ideale nelle zone a piovosità e umidità atmosferica medio-alte comprese tra i 900 e i 1800 m. L'abete bianco è una specie sciafila che raramente forma boschi puri (abetine), è invece una componente importante dei boschi misti del piano montano e subalpino, ad esempio può formare estese foreste associandosi al faggio (*Fagus sylvatica*), albero con il quale condivide esigenze climatiche e pedologiche, mentre a quote subalpine si può trovare associato al larice (*Larix decidua*) e all'abete rosso (*Picea abies*), inoltre, nelle Alpi sud-occidentali forma una caratteristica associazione (denominata *Rhododendro-Pinetum uncinatae subsp. abietosum*) con il rododendro rosso (*Rhododendron ferrugineum*) e con il pino uncinato (*Pinus mugo subsp. uncinata*).

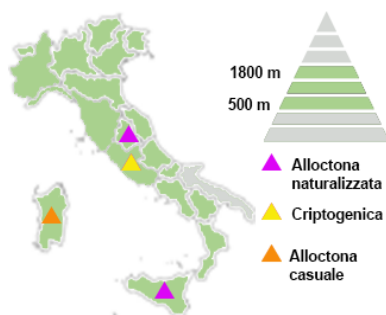
ANTESI**COLORE FIORE**

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

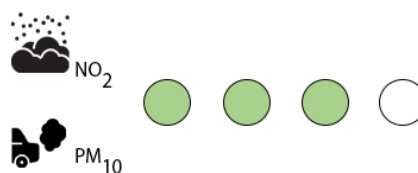
UTILIZZO

Cosmesi: le foglie contengono oli essenziali e resine con proprietà rimineralizzanti, balsamiche e antireumatiche

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE**ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂****MEDIO-ALTO**

2,20 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE**MEDIO-ALTO**NO₂ 1,81 gr/sp/ggPM₁₀ 8,35 gr/sp/gg**INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO****TS 0,076**

Acacia dealbata - Link. - Mimosa giallastra (Fabaceae Lindl.)



DESCRIZIONE

E' una specie arborea che può raggiungere, nelle aree di origine, i 30 metri di altezza, con chioma leggera e cenerina. È caratterizzata dall'aver un tronco flessuoso, ramoso in alto, con scorza liscia, opaca, grigio-buno chiaro. Le foglie sono di un colore verde argenteo (verde tenero nei giovani rametti) e sono disposte in 8-20 paia di pinnule perpendicolari al rametto. I fiori sono raggruppati in capolini globosi e sferici di colore giallo.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
(Australia e Nuova Zelanda)

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie originaria della regione della Tasmania da dove, per le sue caratteristiche apprezzate, come pianta ornamentale, ha avuto un facile sviluppo, a partire dal XIX secolo, in Europa dove a tutt'oggi prospera quasi spontanea. In Italia è molto sviluppata lungo la Riviera ligure, in Toscana e in tutto il meridione, ma anche sulle coste dei laghi del nord. Il suo habitat è rappresentato dai terreni freschi, ben drenati, tendenzialmente acidi in aree con clima temperato e con inverni miti, in quanto temperature prolungate sotto lo zero possono provocarne la morte.

ANTESI



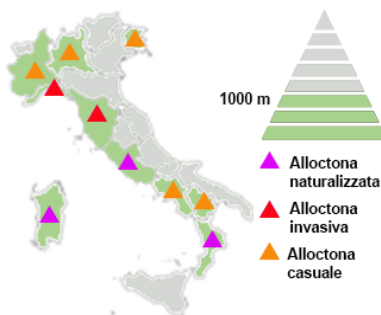
COLORE FIORE



UTILIZZO

Ufficiale: la scorza può essere usata per l'estrazione del tannino
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

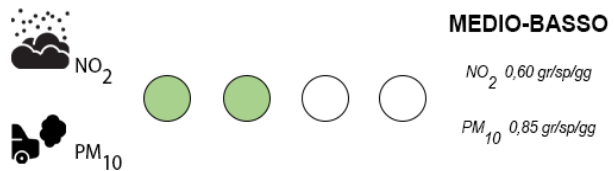
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002



Acca sellowiana - (O. Berg) Burret - Guayabo (Myrtaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' un arbusto di norma a più fusti, sempreverde a crescita lenta, che può arrivare a 4-7 m. Le foglie scure, lucide, spesse, ellittiche, opposte, sono lunghe circa 5 cm. La pagina inferiore è feltrosa, i fiori, medio-piccoli, spesso raccolti a gruppi sono numerosi, di colore bianco rosacei, hanno numerosi stami rosso violetti molto vistosi. La maturazione del frutto avviene (in funzione alla stagione meteorologica) nei mesi di settembre e ottobre.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Aliena
(America del Sud)

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

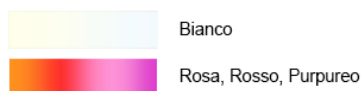
HABITAT

E' una specie originaria della zona subtropicale dell'America del Sud ed è oggi diffusa anche in California, Florida e nell'Italia meridionale ma la si trova anche in Toscana e Liguria. L'habitat ideale per la sua coltivazione corrisponde a quello dell'olivo (*Olea europaea*). Non sopporta le basse temperature (letali 7 °C sotto zero). Si adatta bene sia ai terreni compatti, senza ristagni idrici, sia a quelli sciolti.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Commestibile: il frutto è ampiamente usato in cucina per aromatizzare le pietanze

Ufficinale: è possibile fare infusi con le foglie essiccate, i frutti hanno proprietà antiossidanti

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Schermante: barriere a siepe frangivento

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



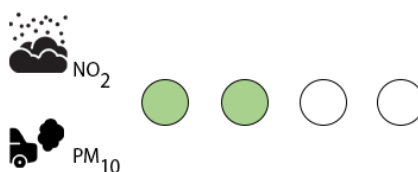
▲ Alloctona casuale

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

BASSO

0,10 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,10 gr/sp/ggPM₁₀ 0,05 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,003



Acer campestre - L. - Acero campestre (Sapindaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' una specie arborea caducifoglie di modeste dimensioni (fino a 18-20 metri di altezza); con fusto non molto alto; chioma rotondeggiante e lassa. La corteccia di quest'albero è bruna e fessurata in placche rettangolari; i rami si caratterizzano perché sono sottili e ricoperti da una peluria. Le foglie sono semplici, a margine intero e ondulato, di larghezza intorno 5-8 cm, con lamina espansa con 5 o 3 lobi ottusi. I fiori sono piccoli, verdi in infiorescenze sia unisessuali che ermafroditi. I frutti sono degli acheni (disamare alate).

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' diffuso nella maggior parte dell'Europa centrale e meridionale, ad est raggiunge la Vistola e il Don, al nord la Scozia e l'Irlanda, a ovest si rarefa nella penisola Iberica, presente poi nelle zone più fresche dell'Africa settentrionale, dell'Anatolia pontica (Mar nero), raggiunge il Caucaso e i monti dell'Iran. Presente in tutte le regioni italiane. Il suo Habitat è quello dei boschi meso-termofili ma non eccessivamente xerici, soprattutto nei querceti a foglia caduca, dal *Lauretum* freddo al *Castanetum* freddo al limite del *Fagetum*. In Italia è molto comune dal livello del mare fino all'inizio della faggeta. Preferisce suoli abbastanza ricchi, anche di matrice argilloso-limosi, trova meno concorrenza nei suoli debolmente carbonatici.

ANTESI



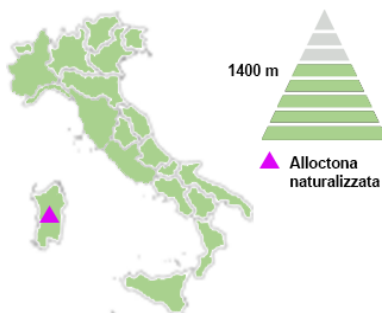
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi
- Mellifera:** produzione di miele con proprietà anticoagulanti
- Rimboschimento:** consolidamento di pendii e terreni franosi

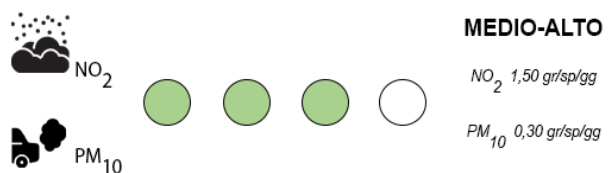
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,074



Acer negundo - L. - Acero americano (Sapindaceae Juss.)



DESCRIZIONE

L'Acero americano, per raggiungere a maturità un portamento arbustivo o arboreo, con altezza variabile tra 5 e 20 metri. I fiori femminili sono dei racemi penduli mentre quelli maschili, sono piccoli, riuniti in corimbi penduli lungamente pedunculati, di colore giallino. Le foglie sono imparipennate con tre o cinque foglioline che in autunno cadono. Il frutto è una disamara ad ali divergenti a V, con maturazione primaverile.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

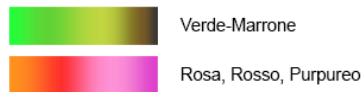
HABITAT

Nel suo areale originario occupa principalmente boschi ripari dove è una delle specie dominanti e più comuni alle medie altitudini, e aree golenali. Lungo i corsi d'acqua, colonizza le alluvioni nelle fasi successive all'ingresso delle specie più marcatamente pioniere (es., *Salix alba*, *Populus alba*). Beneficia dell'apertura di radure e zone aperte. Colonizza suoli fertili e umidi nelle vicinanze di fiumi, laghi o aree acquitrinose, ma essendo una freatofita facoltativa, si può trovare in differenti habitat talvolta anche non a diretto contatto con la falda freatica, su suoli poveri e asciutti. La specie si rinviene in pratica su qualsiasi tipo di suolo, da quelli pesanti e argillosi a suoli sabbiosi e tollera alte concentrazioni di carbonato di calcio. Resiste al freddo e tollera l'ombra (bassa tolleranza) per lo più nelle fasi giovanili (fino a 1-2 anni), si sviluppa però al meglio in condizioni di piena luce.

ANTESI



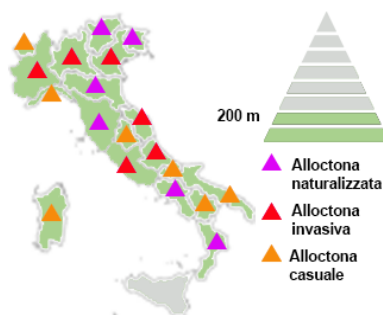
COLORE FIORE



UTILIZZO

Artiginale: produzione di legno di ottima qualità
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi
Rimboschimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi

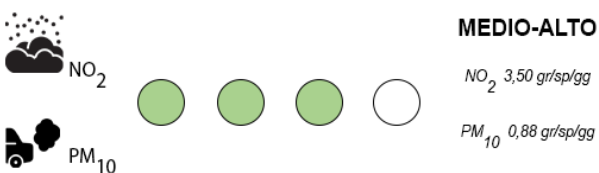
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS0,013



Acer platanoides - L. - Acero riccio (Sapindaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' caratterizzato da un portamento arboreo, può raggiungere altezze fino a 15-20 metri, con tronco diritto, ramificato nella parte medio-alta, scorza grigiastra con sfumature più scure e più ruvida negli alberi più vecchi. Le foglie sono decidue, palmate a 5 lobi poco profondi e dentati. I fiori sono di colore giallastro o giallo verdastro, secondo le varietà; hanno 5 petali e sepal, con antesi nel periodo di aprile-maggio. I frutti sono delle samare ad ali divergenti di 160° con lungo peduncolo.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie spontanea in molti boschi di latifoglie umidi e riparati, originaria dell'Europa centro-orientale. Si accompagna ad altri aceri, specialmente *Acer pseudoplatanus*, (entrambi hanno portamenti simili) nelle foreste mesofile centro-settentrionali. Il suo areale si espande molto più a nord di altri aceri nostrani, occupando tutta l'Europa a eccezione delle regioni atlantiche (penisola iberica non pirenaica, isole inglesi, Francia occidentale, Paesi Bassi, Danimarca), dal nord della Spagna alla parte meridionale della Scandinavia, fino al Caucaso. È una specie che tollera un'ampia gamma di terreni, dai calcarei a quelli acidi ed anche compatti. Tollera di meno terreni sabbiosi troppo permeabili.

ANTESI



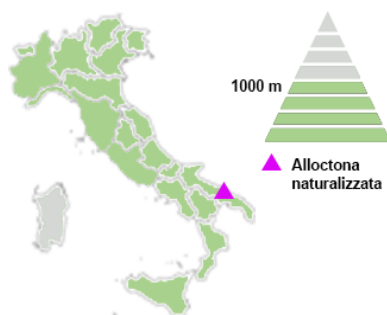
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Forestale:** rivestimento di scarpate e argini di fiumi
- Artigianale:** produzione di fibra di legno per composti con altri materiali
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi

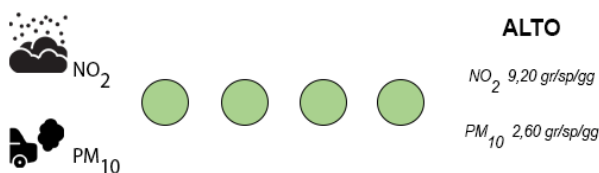
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS 0,132



Acer pseudoplatanus - L. - Acero di monte (Sapindaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' un albero di alto fusto (25–40 m di altezza) con un diametro del tronco anche di 3,5 m., con chioma è globosa ed ampia. Possiede una corteccia grigia o giallastra da giovane per poi virare al rossastro e distaccarsi in grandi placche in età più adulta. La fioritura avviene dopo la comparsa delle foglie, quest'ultime sono lungamente picciolate (5–15 cm), semplici, opposte, di 10–15 cm in lunghezza e larghezza. Il frutto è una doppia samara.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie originaria dell'Europa centrale e del Caucaso ed è molto diffusa nell'Europa centrale ed occidentale (Francia, Benelux, Germania, Svizzera, Austria, Polonia, Russia), nel bacino del Mediterraneo (Spagna, Portogallo, Italia, Albania, Bulgaria, ex-Jugoslavia, Grecia), in Asia minore (Turchia) e nella regione del Caucaso. È presente in Italia nelle aree montuose, ad un'altitudine di 1500–1800 m. s.l.m. ma si trova a quote più basse delle Alpi e delle Prealpi. Il suo habitat è negli acero-frassineti e nelle faggete.

ANTESI



COLORE FIORE



Verde-Marrone

UTILIZZO

Artiginale: produzione di legno di alta qualità

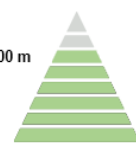
Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



1800 m



Alloctona naturalizzata

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

ALTO

3,80 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE

NO₂

ALTO

NO₂ 9,20 gr/sp/ggPM₁₀PM₁₀ 2,60 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,132



Acer rubrum - L. - Acero rosso (Sapindaceae Juss.)



DESCRIZIONE

È un albero di dimensioni medio-grandi, che raggiunge altezze che vanno dai 18 ai 27 m, eccezionalmente oltre i 35 m. Le foglie di un albero adulto hanno una lunghezza che va dai 9 agli 11 cm. I fiori sono generalmente unisessuati, con fiori maschili e femminili che si formano in gruppi separati, anche se talvolta possono presentare entrambi i sessi. Il frutto è una samara di lunghezza variabile tra i 15 e i 25 mm che cresce a coppie con ali divergenti e aventi un angolo che va dai 50 ai 60 gradi.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

In America del Nord, dove la piante crescono spontanee, l'acero rosso prospera in un'ampia gamma di tipi di suolo, condizioni di temperatura e umidità e altitudine; la pianta predilige i suoli ben drenati, umidi e le altitudini da basse a medie. Sui pendii più elevati cresce bene sulle aree esposte a sud-ovest. Si adatta bene anche alla crescita a bordo strada, ma necessita di una regolare irrigazione e di cure, perchè le radici sono forti e possono danneggiare il manto stradale o i marciapiedi.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscamento o rimboscamento di pendii
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



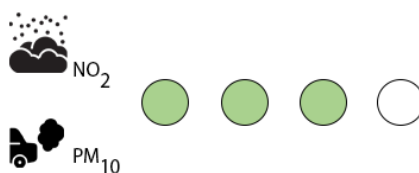
Alloctona casuale

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-ALTO
1,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-ALTO
NO₂ 2,70 gr/sp/gg
PM₁₀ 2,70 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,050



Acer saccharinum - L. - Acero saccharino (Sapindaceae Juss.)

DESCRIZIONE

La pianta raggiunge normalmente l'altezza di 8–10 m, ma può raggiungere anche 25–40 m. La crescita è veloce e lo rende adatto all'utilizzo come pianta ornamentale, piantato nei parchi e nelle strade. I rami, simili a canne, sono piuttosto esili, si protendono verso l'alto e si aprono alla sommità, conferendo alla pianta il tipico portamento espanso. I fiori sono piccoli giallo-verdastri, senza petali a grappoli con le ali. I frutti sono samare appaiate.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

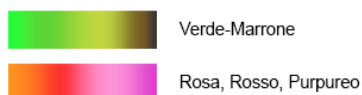
HABITAT

L'areale è compreso tra la zona sudorientale del Canada e quella nordorientale degli Stati Uniti, da Terranova e Manitoba a nord ed a sud fino alla Florida e ad ovest allo Utah. Può essere piantumato su terreni fertili, profondi e freschi ed in climi freddi continentali, con una adeguata differenza termica tra estate e inverno. Questo albero non si è acclimatato bene nei sistemi pedoclimatici Europei, mentre è diffuso nei grandi parchi pubblici e privati americani.

ANTESI



COLORE FIORE

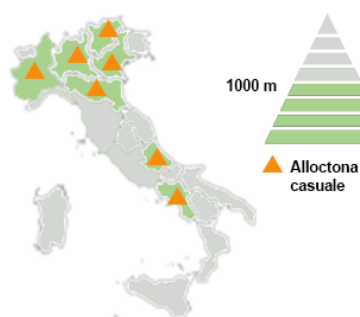


UTILIZZO

Ufficinale: coltivazione per la produzione di sciroppo d'acero

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

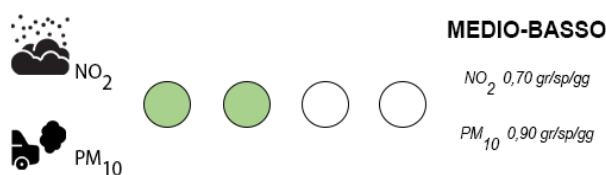
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



▲ Alloctona casuale

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,028



Aesculus hippocastanum - L. - Ippocastano (Sapindaceae Juss.)



DESCRIZIONE

È un albero di lento accrescimento, ma raggiunge e supera i 25 metri di altezza, pur non possedendo una eccezionale longevità (300 anni). La sua chioma, regolare, rotondeggiante arriva ad assumere un diametro di 10 – 12 m; le foglie hanno nervature pronunciate e un lungo picciolo che le unisce al ramo; sono palmate, composte da 5-7 foglioline, sessili e dentate. Gli odorosi fiori sono zigomorfi ed ermafroditi, i frutti sono capsule sferoidali, coriacee, giallo-verdognole, ornate da brevi e flessibili aculei, che a maturità si aprono in 3 valve.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

È una specie di facile adattabilità a vari tipi di climi, che può spingersi fino alle zone montuose ad altitudini prossime ai 1.500 m sulle Alpi, nonostante sia una specie mesofita, cioè amante del clima temperato. Predilige terreni umidi e ben drenati, teme l'aridità, soprattutto quella dell'atmosfera, ed è per questo che vegeta meglio in terreni profondi, fertili e soffici, non eccessivamente argillosi. Si tratta tuttavia di una specie assai rustica, adattabile a quasi tutti i suoli, purché privi di gesso. Possiede un'ottima resistenza al freddo, alle nebbie, al vento ed alla neve, teme però le gelate tardive e può subire danni da patogeni di origine vegetale quali carie del legno o marciumi radicali dovuti alle potature e agli urti subiti; viene inoltre gravemente attaccato da un fungo che provoca maculature fogliari abbastanza estese (*Guignardia aesculi*) e da un insetto (*Cameraria horidula*).

ANTESI



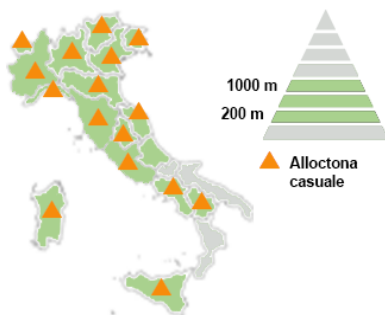
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Ufficinale:** le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti, cicatrizzanti e depurative
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi
- Rimboschimento:** rivestimento di scarpate e argini di fiumi
- Schermante:** barriere antirumore e antivento

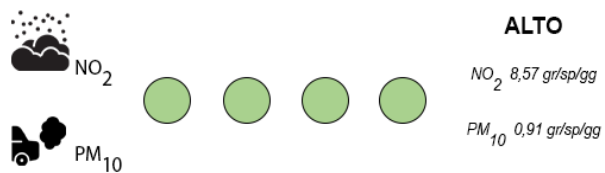
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,075



Ailanthus altissima - Mill. - Swingle Ailanto (Simaroubaceae DC.)

DESCRIZIONE

È un albero che cresce rapidamente ed è capace di raggiungere altezze di 15 m in 25 anni, le foglie sono decidue, alterne, imparipennate, lunghe fino a 90 cm, con 6-15 paia di segmenti lanceolati acuminati con piccolo più un segmento terminale. Porta delle pannocchie di colore verdastro con fiori di colore bianco-giallo, con gradevole profumo, lunghi 5-7 mm, bisessuali e unisessuali, questi ultimi tendenti a ripartirsi su piante distinte (specie poligamo-dioica).

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Asia

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

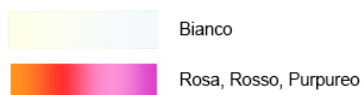
HABITAT

È un albero originario delle zone temperate della Cina nordoccidentale e centrale e di Taiwan. Introdotto in Europa nel '700 come pianta da giardino si è propagato massivamente, dall'Inghilterra all'Europa mediterranea. È infatti una specie molto rustica ed adattabile a qualsiasi tipo di terreno: per questo motivo colonizza velocemente terreni incolti o disturbati, scarpate, bordi delle ferrovie, delle strade e dei torrenti, fino alla fascia submontana, spesso a scapito delle specie indigene per effetto allelopatico. Lo si ritrova da 0 a 500 m s.l.m. Presente anche negli Stati Uniti, in Australia e in Nuova Zelanda, in quanto presenta condizioni altamente favorevoli in climi temperati rispetto quelli tropicali.

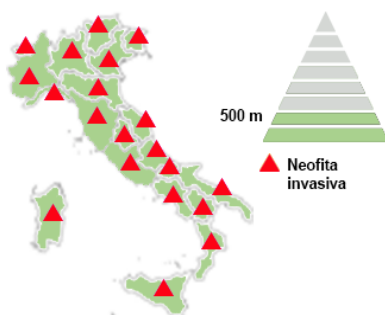
ANTESI



COLORE FIORE



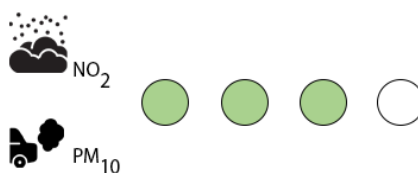
UTILIZZO

Artigianale: produzione di carta**Mellifera:** produzione di miele di ailanto**Ornamentale:** aree verdi urbane e parchiDISTRIBUZIONE REGIONALE E
ALTITUDINALEASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-ALTO

NO₂ 3,30 gr/sp/ggPM₁₀ 0,38 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,010



Albizia julibrissin - Durazz. - Acacia di Costantinopoli (Fabaceae Lindl.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può assumere anche portamento cespuglioso e che può raggiungere i 10 metri di altezza. Le foglie sono decidue, alterne, picciolate, composte e dipennate, lunghe fino a 20 cm, con segmenti di ultimo ordine lineari, falcati, 4 x 12 mm, verdi e glabri. I fiori sono dei capolini sferici, profumati, di 4 cm di diametro, riuniti in ampie pannocchie corimbose. I frutti sono dei legumi di 8 a 15 cm di lunghezza.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Asia orientale

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

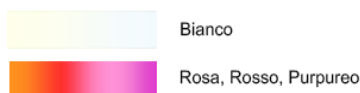
HABITAT

E' originaria delle regioni dell'Asia orientale e sud-occidentale comprese tra l'Iran orientale, Azerbaigian, Cina e Corea. Oggi questa pianta è stata inserita con successo anche oltre oceano, in California, in Texas ed in Oklahoma; è una pianta che si adatta anche in ambienti non molto piovosi e caldi il che consente di inserirla in luoghi dal clima caldo e torrido. È una pianta che si adatta molto bene nelle regioni a clima temperato quali quelle mediterranee anche se resiste anche bene al freddo. Non è una specie che richiede cure particolari ed inoltre risulta molto resistente sia alla salsedine che all'inquinamento atmosferico.

ANTESI



COLORE FIORE

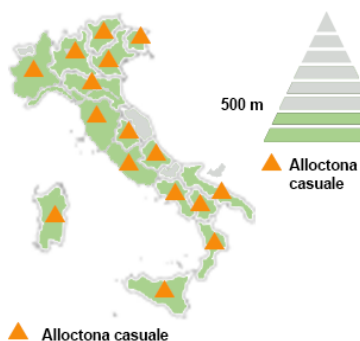


UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi

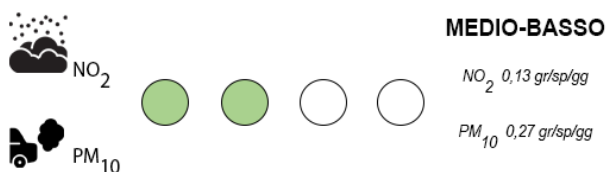
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,019



Alnus cordata - (Loisel.) Duby - Ontano napoletano (Betulaceae Gray)

DESCRIZIONE

Albero con altezza media di 10-15 m. Corteccia matura di colore grigiastro, rami giovani con corteccia bruna con patina biancastra. Foglie cuoriformi (cōr = cuore) a margine dentellato, di sotto con peli giallastri. Fiori piccoli, numerosi, riuniti in amenti: maschili allungati, penduli per favorire l'impollinazione ad opera del vento (anemofila); femminili ovoidi su peduncoli di 1-2 cm, a maturità con scaglie legnose persistenti, ricordano nell'aspetto un piccolo cono di conifere.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

Optimum ecologico in impluvi o nei pressi di corsi d'acqua, in terreni profondi, ricchi di nutrienti e piuttosto umidi, purché non asfittici e privi di ristagni; può tollerare meglio di altri ontani (il nero, in particolare) una moderata aridità climatica; in generale, comunque, necessita di precipitazioni annue di almeno 1000 mm. Specie forestale eliofila e mesofila di zona montana e submontana, vegetante in purezza od in consociazione soprattutto con castagno, cerro, faggio, dal piano a circa 1300 m. Pianta di facile propagazione, per l'abbondante produzione di seme leggero e volatile, favorita nell'affermarsi dalla rapida crescita giovanile, agisce in qualità di ricolonizzatrice in aree soggette a movimenti del suolo o interessate dal passaggio d'incendi, competendo con successo nei confronti di altre specie. Grazie alla presenza nelle radici di batteri azoto-fissatori, è considerata specie miglioratrice del suolo.

ANTESI



COLORE FIORE



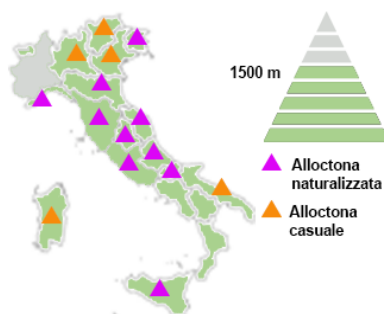
Verde-Marrone

UTILIZZO

Artigianale: legname per produzione di carta

Ufficinale: foglie con proprietà antinfiammatorie, astringenti, antireumatiche

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E
ALTITUDINALEASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-ALTO

NO₂ 1,93 gr/sp/ggPM₁₀ 0,21gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,014



Alnus glutinosa - L. Gaertn. - Ontano comune (Betulaceae Grey)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 30 metri circa di altezza, con una chioma scura, a forma piramidale molto densa. Ha foglie decidue, a disposizione alterna, picciolate, di forma ovata o rotonda, con base cuneata ed apice arrotondato o retuso e margine doppiamente seghettato. La pianta ha fiori maschili disposti a gruppi di 3-5 amenti di colore giallastro e fiori femminili di forma ovoidale portati da lunghi peduncoli. I frutti sono simili a piccole pigne di colore verde da giovani e poi bruno-nerastri e legnosi a maturazione.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Asiatica

STATUS

Autoctona

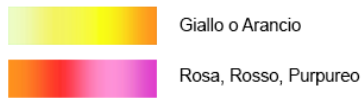
HABITAT

E' un albero originario dell'Europa, Africa settentrionale e Asia occidentale ed è presente in Europa dalla Penisola Iberica alla Russia, fino all'Asia occidentale. Questa pianta forma boschi puri o misti nelle zone umide alluvionali e lungo le sponde dei corsi d'acqua, in una fascia altimetrica che va dalla pianura e potendosi spingere fino ai 1.200 metri circa di quota. In Italia è presente in tutte le regioni ed è un elemento tipico della vegetazione ripariale, associato ad altre piante tipiche di questo ambiente, come *Salix alba*, *Populus alba*, ecc.; associazione che nell'Italia meridionale e nelle isole è frequente con *Nerium oleander* e *Salix alba* dove è spesso l'elemento arboreo di maggior presenza lungo i corsi d'acqua. Per quanto riguarda i suoli viene utilizzato da secoli per bonificare i terreni poco fertili, inquinanti e impregnati d'acqua; sono piante che crescono di preferenza su terreni sassosi, poveri di materiale organico, anche in presenza di acqua stagnante.

ANTESI



COLORE FIORE

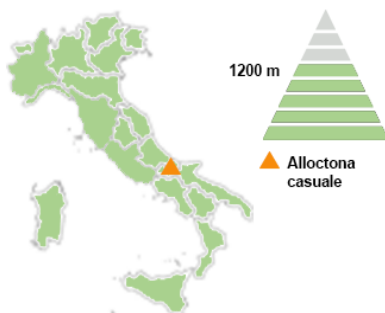


UTILIZZO

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali diuretici e astringenti

Rimboscimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi in zone fortemente inquinate

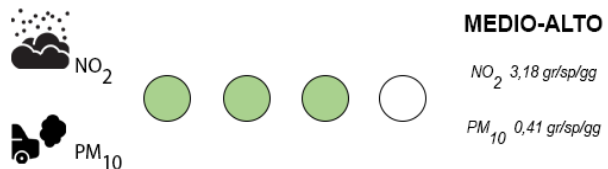
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS 0,102



Arbutus unedo - L. - Corbezzolo (Ericaceae Juss.)

DESCRIZIONE

Il Corbezzolo si presenta come arbusto sempreverde molto ramificato, con rami giovani di colore rossastro. Può raggiungere un'altezza compresa tra 1 e 8 metri. Le foglie hanno le caratteristiche tipiche delle piante sclerofille. Hanno forma ovale lanceolata, sono larghe 2-4 centimetri e lunghe 10-12 centimetri con margine dentellato. I fiori di questa pianta sono riuniti in pannocchie pendule che ne possono contenere fino a 20. Il frutto è una bacca sferica di circa 2 centimetri, carnosa e rossa a maturità.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' elemento caratteristico della macchia mediterranea, ove costituisce complessi puri o vive in consorzio con altri elementi termofili, così come nelle macchie a *Mirtus communis*, *Quercus ilex*, *Quercus suber*; il suo areale va dalla Penisola Iberica e dall'Africa sino al Mar Nero. È diffuso quindi nei paesi del Mediterraneo occidentale e giunge sino alle coste meridionali dell'Irlanda. Trova un habitat ottimale nelle boscaglie, luoghi rocciosi, leccete e garighe, che in epoche interglaciali colonizzò fino a zone distanti dall'attuale areale di diffusione, così che oggi è possibile rinvenire l'*Arbutus unedo* in Francia sulla costa atlantica, in Irlanda sud-occidentale ed in Italia nella valle dell'Adige e sui colli Euganei, aree che si sono mantenute come relitti. Predilige i terreni silicei e vegeta ad altitudini comprese tra 0 e 600 metri e risulta una pianta xerofila.

ANTESI



COLORE FIORE



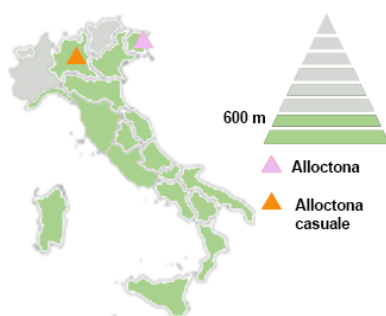
UTILIZZO

Commestibile: frutti per la produzione di marmellate

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

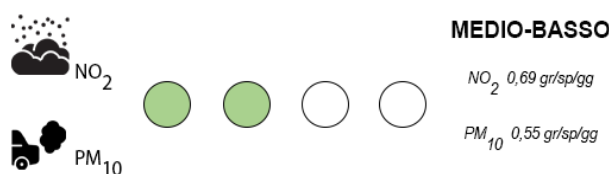
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



Alloctona

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,004



Betula pendula - Roth - Betulla (Betulaceae Gray)



DESCRIZIONE

La *Betula pendula* raggiunge i 30 metri di altezza e presenta una chioma rada e leggera, espansa in verticale, con i rami terminali ricadenti. Le foglie sono decidue, ovato triangolari, picciolate, verde chiaro sopra e sotto. Pianta monoica con fiori maschili riuniti in amenti sessili, penduli e fiori femminili riuniti in spighe corte ed erette. Dalle infruttescenze cilindriche a maturità si liberano delle piccole samare provviste di un'ala membranosa.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Eurosiberiana

STATUS

Autoctona

HABITAT

È specie eliofila e igrofila che talora forma boschi puri (betuleti), più spesso è sporadica o in piccoli gruppi nei boschi radi montani, sia di latifoglie che di conifere e nei cespuglieti subalpini. Specie frugale, pioniera e consolidatrice nelle radure e nei terreni denudati. È un albero di origine euroasiatica settentrionale, in Italia la si ritrova più frequente sulle Alpi dove a volte forma boschi puri e particolarmente in Piemonte (ove oggi si stimano oltre 20.000 alberi di questa specie) ed in Lombardia.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

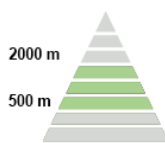
Officinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti, cicatrizzanti e depurative

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi

Schermante: barriere antirumore e antivento

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



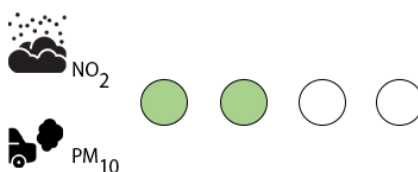
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-ALTO

1,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,77 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,13 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,056



Broussonetia papyrifera - (L.) Vent. - Gelso da carta (Moraceae Gaudich.)

DESCRIZIONE

E' un albero che nella zona di origine può raggiungere i 15 metri di altezza, le foglie sono picciolate alterne di 4-8 x 7-12 cm, ovato lanceolate, dentellate al margine, verde intenso sopra, grigiastre e tomentose sotto. Il frutto di questa pianta è un soroso, allo stesso modo della mora di gelso, sferico, di 2 cm di diametro, di color arancio-rossastro a maturità. La fioritura avviene da maggio a giugno e l'impollinazione è favorita dal vento.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Asia orientale

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

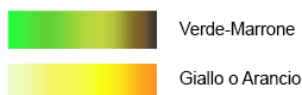
HABITAT

E' una specie arborea originaria dell'Asia orientale, in un'area estesa tra la Cina e la Birmania. La pianta fu introdotta in Europa come essenza ornamentale intorno alla metà del XVIII secolo, sfuggi ben presto dai giardini e dai parchi grazie al carattere frugale e pioniere ed oggi si trova facilmente lungo i bordi di strade e binari ferroviari e negli incolti lungo le spiagge. È una pianta rustica, indifferente al substrato, sopporta il freddo e posizioni scarsamente luminose.

ANTESI



COLORE FIORE



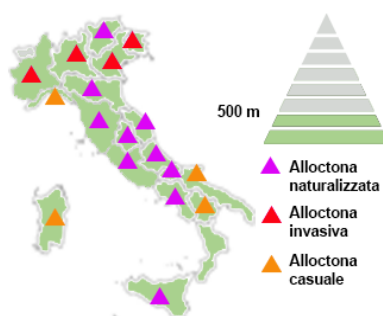
UTILIZZO

Artigianale: legno per la produzione di carta

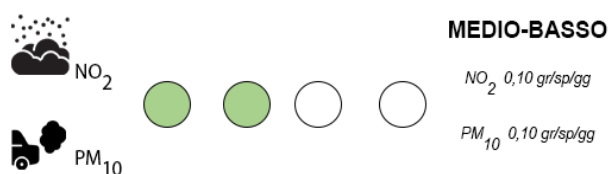
Forestale: in Cina al posto del Gelso per l'allevamento dei bachi da seta

Rimboschimento: rivestimento di scarpate ferroviarie

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,003



Buxus sempervirens - L. - Bosso comune (Buxaceae Dumort.)



DESCRIZIONE

Arbusto sempreverde eretto e cespuglioso di altezza variabile tra i 2 e 4 m, longevo, dall'odore caratteristico, ha robuste radici ancoranti, fusto ingrossato alla base, tortuoso e ramificato, chioma folta. Foglioline opposte persistenti, sessili o brevemente picciolate, di colore verde cupo lucente superiormente, più chiara inferiormente, di forma ovoidale. Fiori unisessuali, piccoli, riuniti in glomeruli ascellari, il fiore centrale è generalmente femminile. Dopo la fecondazione l'ovario si trasforma in una capsula coriacea sormontata da 3 rostri.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

Vegeta, sotto copertura più o meno leggera, in boschi termofili di latifoglie, su rupi e pietraie prevalentemente calcaree; colonia da 0 a 800 m.

ANTESI



COLORE FIORE



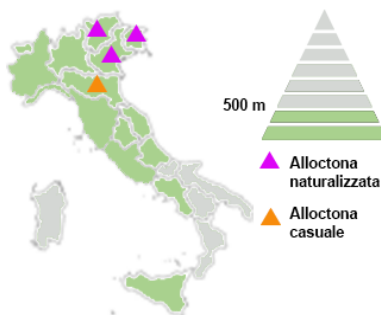
UTILIZZO

Artiginale: produzione di legno di media qualità

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà lassative, antireumatiche

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

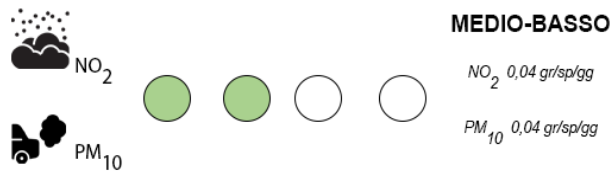
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001



Carpinus betulus - L. - Carpino comune (Betulaceae Gray)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 25 metri di altezza con chioma di colore verde scuro, compatta ed a palchi orizzontali. Il tronco è diritto, costoluto, con corteccia sottile, liscia e di colore grigio scuro. Le foglie decidue, ovate, margine dentato, a inserzione alterna, lunghe fino a 10 cm. I fiori sono unisessuali con i maschili in amenti e quelli femminili in spighe. Le infruttescenze sono peduncolate, brunastre, formate da acheni alati con grande ala triloba.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie originaria dell'Europa meridionale ed orientale e di alcune regioni asiatiche ed ha una ampia distribuzione nell'Europa centrale con limiti ai Pirenei e al Galle. In Italia si trova frequentemente nell'orizzonte montano fino a 900-1200 m. dove costituisce insieme alle querce caducifoglie e al faggio i boschi mesofili. Ad altitudine minori si trova insieme alla Farnia a costituire le foreste planiziali fino ad essere presente nelle zone più fredde e umide della Pianura Padana, non è presente nelle isole. Può crescere in aree ombreggiate e con temperature relativamente elevate, per quanto riguarda il suolo ha una preferenza per un terreno che sia profondo e abbastanza calcareo: non presenta grandi esigenze di fertilità.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

- Artigianale:** produzione di legno
- Forestale:** imboscamento o rimboscamento di pendii
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi
- Rimboscamento:** rivestimento di scarpate e argini di fiumi

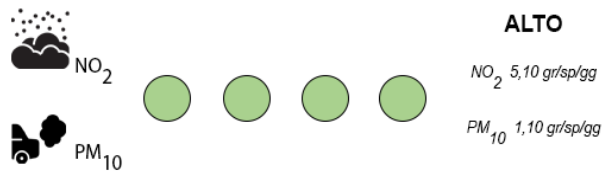
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS 0,172



Carpinus orientalis - Mill. - Carpino orientale (Betulaceae Grey)



DESCRIZIONE

Specie alta 1-5 fino a 15 m, con fusto irregolarmente costoluto; rametti dell'anno rossastri inizialmente pubescenti, quindi glabri. Foglie brevemente picciolate (5-8 mm), a lamina dura ovato-ellittica sparsamente pubescente (soprattutto di sotto e sui nervi), infruttescenza con numerose nucule di 3-4 mm ricoperte ciascuna da brattee fogliacee (lunghe 10-20 mm), ravvicinate e ricoprentesi tra loro, dentate o irregolarmente lacinate, ma non trilobate alla base.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

Boschi bassi, boscaglie, siepi, insieme a leccio, roverella, omiello, terebinto, alloro, scotano e altre specie arbustive mediterranee e submediterranee. Specie di temperamento termo-xerofilo, molto frugale, predilige i suoli calcarei, anche primitivi, a quote medio-basse, dal livello del mare può salire, in zone meridionali, fino a 1300 m. Non condivide l'habitat con *Carpinus betulus*, decisamente più mesofilo, mentre si può ritrovare insieme ad *Ostrya carpinifolia* Scop., che ha esigenze simili.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboschimento o rimboschimento di pendii
Ufficinale: le foglie hanno proprietà antinfiammatorie

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂



ALTO

4,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



ALTO

NO₂ 5,10 gr/sp/gg



PM₁₀ 1,10 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,165



Castanea sativa - Mill. - Castagno (Fagaceae Dumort.)



DESCRIZIONE

E' una pianta arborea, con chioma espansa e rotondeggiante ed altezza variabile, dai 10 ai 30 metri. il castagno è una specie eliofila, caducifoglie e latifoglie; sono alberi molto longevi, possono diventare plurimillenari. Le foglie sono alterne, provviste di un breve picciolo e, alla base di questo, di due stipole oblunghe. La fioritura avviene a giugno e la fruttificazione a settembre-ottobre a seconda delle varietà. Il frutto è un achenio, comunemente chiamato castagna.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

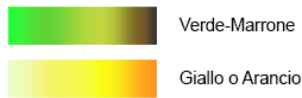
HABITAT

E' una specie mesofila e moderatamente esigente in umidità, sopporta abbastanza bene i freddi invernali, subendo danni solo a temperature inferiori a -25 °C, ma diventa esigente durante la stagione vegetativa. Per questo motivo il castagno ha una ripresa vegetativa tardiva, con schiusura delle gemme in tarda primavera e fioritura all'inizio dell'estate. In generale tali condizioni si verificano nel piano montano (600–1200 m) delle regioni mediterranee o in alta collina più a nord. In condizioni di umidità favorevoli può essere coltivato anche nelle stazioni fresche del *Lauretum*, spingendosi perciò a quote più basse. L'ecosistema forestale tipico del castagno è la foresta decidua temperata mesofila, dove forma associazioni in purezza o miste, affiancandosi alle *Quercus* (per lo più farnia e roverella), al frassino, al carpino nero, al noce, al nocciolo, ecc. Per le sue caratteristiche è una specie strettamente associata alla roverella, tipica mesofita della foresta mediterranea decidua.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

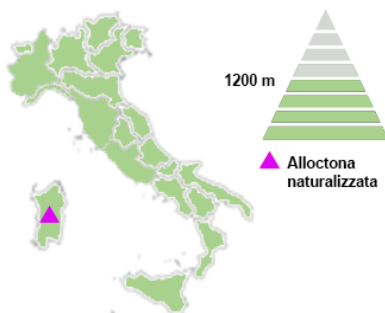
Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti, cicatrizzanti e depurative

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboschimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi

Schermante: barriere antirumore e antivento

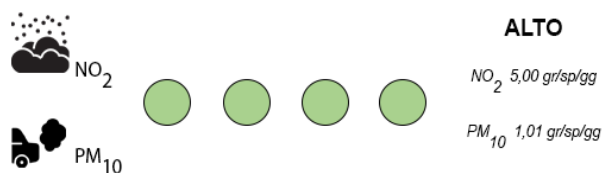
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,031



Catalpa bignonioides - Walter - Catalpa (Bignoniaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' una pianta che può raggiungere i 15 metri e possiede un chioma ovoidale con tronco diritto. Le foglie sono decidue, picciolate, con una larga lamina ovato-acuminata, talvolta provvista di un dente per lato nella metà superiore. I fiori sono campanulato-imbutiformi, lunghi 5 cm con una corolla bianca e profumata. I frutti sono delle capsule setticide lineari, pendenti, lunghe fino a 40 cm e larghe 1 cm, di colore prima verdi e poi bruno-nerastre, che rimangono appese alla pianta fino al tardo inverno.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

E' una specie arborea originaria degli Stati Uniti centromeridionali e orientali, dove si trova nei boschi di latifoglie ed in zone a clima temperato-caldo. È stata introdotta in Europa nella prima metà del Settecento a scopo ornamentale, svuogando alle pratiche di coltivazione si è naturalizzata. E' una pianta che predilige posizioni luminose e soleggiate, ma si sviluppa senza problemi anche a mezz'ombra o all'ombra completa, è resistente al freddo tanto che in genere sopporta bene anche gli inverni più rigidi o ventosi; possono svilupparsi anche in giardini molto umidi, purché in presenza di terreno ben drenato.

ANTESI



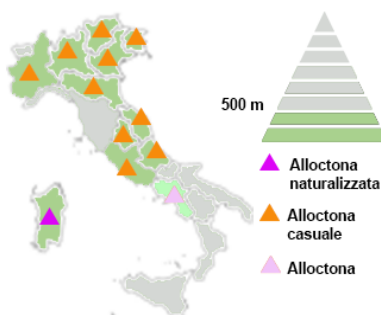
COLORE FIORE



UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane, parchi e cigli stradali per le alte capacità di resistenza agli inquinanti

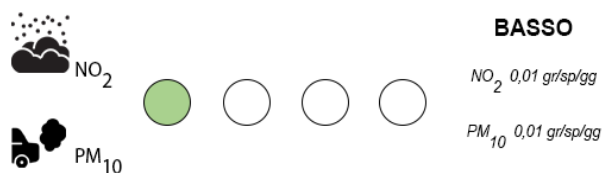
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,006



Cedrus atlantica - (Endl.) - Cedro dell'Atlante (Pinaceae F. Rudolphi)

DESCRIZIONE

E' una specie che allo stato spontaneo può raggiungere anche i 45 metri, si riconosce per il suo portamento conico, con chioma eretta e piramidale che tende a espandersi con l'età. Il tronco, non sempre diritto, cilindrico, ha una corteccia di colore grigio/bruno, che si presenta fessurata e screpolata. Foglie, aghiformi, sempreverdi, i coni compaiono in autunno: quelli maschili, prima giallastri e poi bruni, sono lunghi 3-4 centimetri, quelli femminili, lunghi poco più di un centimetro e di colore verdastro, impiegano due anni a trasformarsi in pigne brune.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie originaria del Marocco e dell'Algeria, è molto diffuso nella catena montuosa dell'Atlante, dove si trova nei versanti più freschi volti a settentrione tra i 1.500 ed i 2.200 metri. Fu introdotto, intorno alla metà del XIX secolo, in Europa dove lo si ritrova, in particolar modo con la sua varietà glauca, nei parchi o nei giardini privati come pianta ornamentale. Il terreno migliore per la crescita è alquanto variabile, anche in termini di pH. Si tratta di una pianta che possiede una rusticità veramente buona. Durante l'inverno tollera temperature comprese tra -19 e -15 °C, si adatta bene alle più disparate condizioni di sviluppo e non necessita quindi di cure colturali costanti.

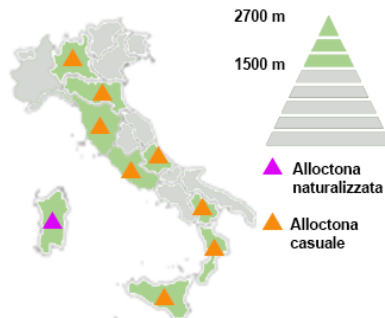
ANTESI



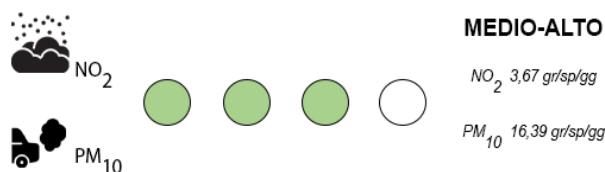
COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Artigianale: produzione di legno di ottima qualità**Forestale:** imboschimento o rimboschimento di pendii**Ufficinale:** produzione di olio essenziale con proprietà benefiche per le vie respiratorie**Ornamentale:** aree verdi urbane e parchiDISTRIBUZIONE REGIONALE E
ALTITUDINALEASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,172



Celtis australis - L. - Bagolaro (Cannabaceae Martinov)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 25 metri di altezza, con chioma ampia, globosa, densa ma leggera, verde chiaro. Ha una corteccia sottile di colore grigio chiaro e liscia. Le foglie sono decidue, alterne ovato-lanceolate, con picciolo, con colorazione verde intenso nella pagina superiore e verde-grigiastro e pubescenti in quella inferiore. I fiori sono sia bisessuali che unisessuali portati dalla stessa pianta, di colore giallastro, solitari o in gruppi con antesi nel periodo di maggio; i frutti sono drupe peduncolate di colore nere a maturazione.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' originaria del Bacino del Mediterraneo, Africa del Nord e Asia minore. È diffusa dalla Spagna meridionale fino al Caucaso e all'Asia occidentale. In Italia è abbastanza comune fino ai 600-700 metri s.l.m., dove riesce a vivere anche in terreni sassosi, grazie al robusto apparato radicale che penetra nelle fessure delle rocce favorendone lo sgretolamento: da ciò deriva un altro nome volgare "spaccasassi". Cresce in boschi di latifoglie con terreno calcareo. Si associa facilmente a olmo, carpino, nocciolo, frassino, omiello, querce e aceri. Predilige posizioni soleggiate e terreni a medio impasto e meglio ancora porosi e sciolti, pur adattandosi a suoli poveri e a struttura grossolana.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

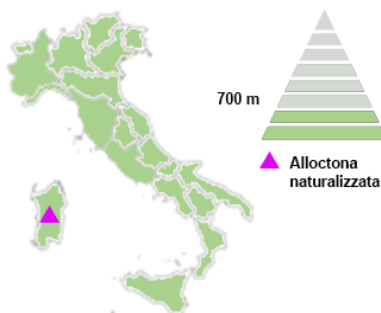
Artigianale: produzione di legno e carbone

Forestale: imboschimento o rimboschimento di pendii

Officinale: dalle foglie e dai frutti si ricava una confettura con alto contenuto antiossidante

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi per l'alta resistenza agli inquinanti atmosferici

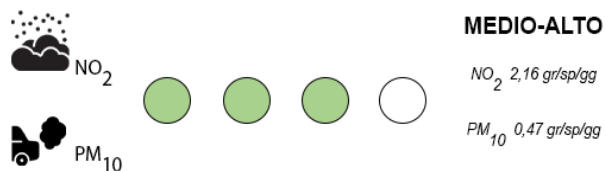
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,320



Ceratonia siliqua - L. - Carrubo (Fabaceae Lindl.)



DESCRIZIONE

Albero robusto, sempreverde con robusto apparato radicale, tronco tozzo e irregolare con rami alterni, sparsi e corona ampia, densa e globosa. Altezza generalmente compresa tra 1 e 15 m, ma alcuni esemplari raggiungono dimensioni maestose. Le foglie sono persistenti, coriacee, alterne, con rachide rossastro, hanno alla base piccole stipole caduche. I piccolissimi fiori, di odore poco gradevole, sono unisessuali, dioici o poligami, tendono a ripartirsi su piante separate in base al sesso; i frutti sono grossi legumi, sino a 15-20 cm, coriacei e penduli.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

Specie molto longeva a crescita lenta, è originario del bacino meridionale del Mediterraneo orientale e dell'Asia minore; si è esteso con la coltivazione, in tutti i paesi del Mediterraneo nell'orizzonte climatico delle sclerofile sempreverdi, caratterizzandone con *Olea europaea*, la fascia più calda dell'Oleo-Ceratonieto. Coltivazione antichissima in tutto il bacino del Mediterraneo, è arrivato in Italia nel medioevo, attraverso la Spagna, dove era stato portato dagli arabi. La sua presenza, allo stato spontaneo, ad esempio in Sicilia è considerata, da questi, l'inselvaticamento di forme coltivate. L'Habitat di questa specie, lucivaga e termofila, benché poco legata alla natura del substrato, è quello dei terreni calcarei litoranei e stazioni asciutte; macchie, garighe, specialmente vicino alle coste, per altitudine lo si può trovare sino a 600 m s.l.m..

ANTESI



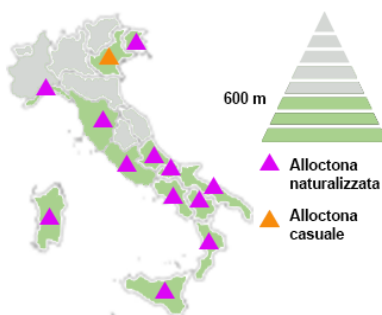
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Ufficinale:** le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti, cicatrizzanti e depurative
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi
- Rimboscimento:** rivestimento di scarpate e argini di fiumi
- Schermante:** barriere antirumore e antivento

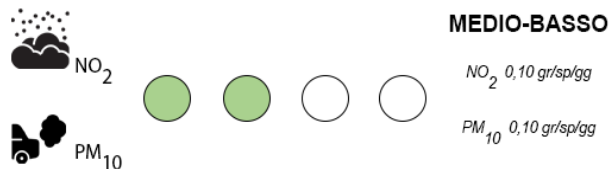
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,008



Cercis siliquastrum - L. - Albero di Giuda (Fabaceae Lindl.)



DESCRIZIONE

E' una pianta che cresce fino a 8 metri di altezza, con chioma arrotondata, abbastanza densa, di colore verde chiaro. Le foglie sono decidue ed alterne, con lungo picciolo e di forma arrotondata cuoriforme o reniforme e di colore verde chiaro. Possiede fiori ermafroditi che sono riuniti in infiorescenze con grappolo sessile (4-6), distribuiti su tutta la pianta con colore rosa-violaceo. I semi sono lenticolari e di colore bruno scuro.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' con molta probabilità una pianta autoctona di tutto il bacino del Mediterraneo e del Sud Europa, fino alle coste del Mar Nero. Lo si ritrova nelle boscaglia con preferenza nei suoli calcarei fino a 300-400 metri di altitudine, in associazione con leccio, roverella, bagolaro, orniello e altre essenze forestali. In Italia è presente, in genere in formazioni cespugliose, e in tutte le regioni fino alle Prealpi; è abbastanza resistente al freddo. Predilige una coltivazione in pieno sole, cosa che favorisce una più abbondante fioritura; oltre a necessitare di una buona protezione dal freddo è molto sensibile alle raffiche di vento, mentre ha media tolleranza per l'inquinamento atmosferico, pertanto è adatta la sua coltivazione anche nei centri urbani.

ANTESI



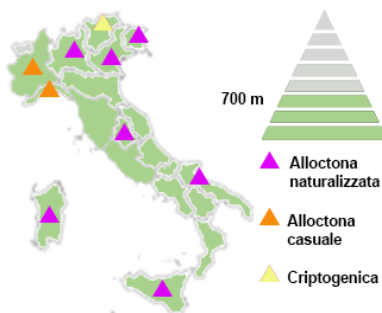
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: rimboscimento o imboschimento di pendii
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

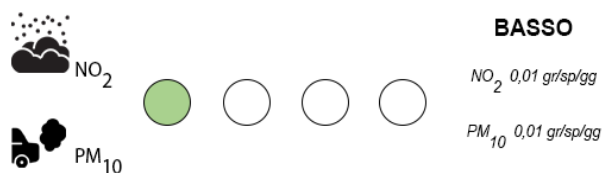
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,039



Chamaecyparis lawsoniana - (A. Murray) - Cipresso di Lawson (Cupressaceae Bartling)

DESCRIZIONE

E' un albero con portamento slanciato e piramidale ma un po' irregolare; raggiunge altezze superiori ai 60 metri nelle aree di origine mentre in Europa può raggiungere i 30 m di altezza. Le foglie, persistenti, sono molto piccole, triangolari e squamiformi, con rametti piatti, disposti orizzontalmente in palchi fitti e con le estremità pendule. I fiori sono unisessuali, con quelli femminili, piccoli e di colore verde-rossastro che danno origine a galbuli sferici di un centimetro di diametro, formati da circa sei squame e di colore bruno a maturità.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

E' una specie originaria delle coste occidentali degli Stati Uniti (California e Oregon), il suo habitat tipico è con clima oceanico. Fu introdotto in Europa verso la metà dell'Ottocento. In Italia è diffusa come ornamentale ed è stata usata nel Meridione per effettuare rimboscimenti. E' un'essenza largamente impiegata in campo ornamentale, sia per il fogliame persistente che per la gamma di colori, dimensione e portamento che contraddistinguono le diverse cultivar. Si tratta comunque di una specie rustica, poco esigente e facile da coltivare. La pianta si presta anche a creare siepi, barriere frangivento o gruppi di piante, ad essere utilizzata come sfondo ad altri arbusti.

ANTESI



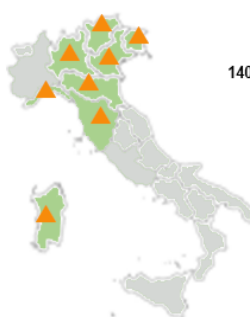
COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Artigianale: produzione di legno di ottima qualità**Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi per mitigare l'inquinamento atmosferico**Rimboscimento:** rivestimento di scarpate e argini di fiumi**Schermante:** barriere frangivento

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



▲ Alloctona casuale

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,24 gr/sp/ggPM₁₀ 1,50 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,019



Chamaerops humilis - L. - Palma nana (Arecaceae Bercht. & J. Presl)



DESCRIZIONE

E' una nanofanerofita arbustiva sempreverde ed è una pianta d'aspetto cespitoso, acaule o con fusti multipli, alti fino a 2 m, talora anche 6-8 m in coltivazione, coperti da fibre e dai resti dei piccioli fogliari. Le foglie sono persistenti, a ventaglio, rigide e dritte, con lunghi e sottili piccioli muniti di spine laterali e lamina divisa in 16-20 segmenti appuntiti: i fiori, unisessuali o ermafroditi, sono piccoli, gialli, riuniti in dense pannocchie che si originano tra i piccioli fogliari, avvolte da una spatula bivalve. I frutti sono carnosì, ovoidali, di colore giallo-rossastro.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' diffusa in tutto il Mediterraneo occidentale dal sud del Portogallo a Malta e dal Marocco alla Libia. In Italia è comune soprattutto in Sicilia, Calabria e Sardegna e la si trova nella fascia costiera occidentale, dalla Sicilia fino alla Toscana centro-meridionale (promontorio di Piombino), comprese alcune isole del Mar Tirreno (Capraia, Elba, Cerboli, Palmaiola). A nord è presente in alcuni nuclei relitti nel territorio del Parco di Portofino (Liguria). È un tipico elemento della fascia più termofila della macchia mediterranea, si adatta comunque su terreni di varia natura, sopporta benissimo la siccità, quando viene coltivata per scopo ornamentale va comunque irrigata per migliorarne sviluppo ed aspetto estetico.

ANTESI



COLORE FIORE

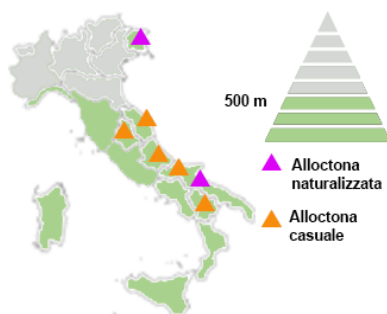


UTILIZZO

Rimboschimento: contro erosione dei suoi e la desertificazione dopo un incendio

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

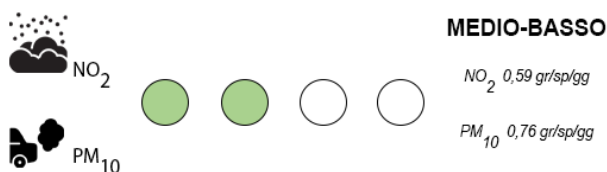
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002



Citrus trifoliata - L. - Arancio trifogliato (Rutaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' un piccolo albero a crescita rapida con portamento cespuglioso irregolare. I rami hanno di solito delle lunghe spine appuntite, ma sui rami di un anno si sviluppano anche speroni privi di spine, con internodi ravvicinati. Le foglie sono trifogliate, con una apicale più grande e due laterali più piccole, e piccioli provvisti di alette. I boccioli fiorali si formano all'inizio dell'estate ma si aprono solo la primavera seguente, prima dell'emissione delle foglie. I fiori sono singoli e di medie dimensioni. È l'unico agrume a foglie decidue.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

E' un agrume originario della Cina centrale e settentrionale e della Corea, che oggi viene coltivato in tutto il mondo. E' una pianta molto resistente al freddo (fino a -15°C), che viene coltivata a scopo ornamentale o come portainnesto per altri agrumi (conferisce infatti una buona resistenza al freddo, una elevata adattabilità ai terreni umidi, resistenza al nematode degli agrumi e alla gommosi del colletto, un'entrata precoce in produzione e una buona qualità dei frutti. Per la sua resistenza al freddo questo agrume ha la possibilità di essere coltivato ben oltre la classica fascia temperata riservata agli altri agrumi; si propaga facilmente per seme e talea.

ANTESI



COLORE FIORE

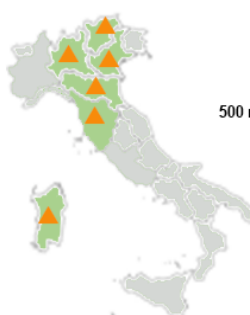


UTILIZZO

Commestibile: produzione di agrumi, marmellate, liquori

Forestale: per rimboscimento di aree urbane fortemente inquinate dal punto di vista atmosferico

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E
ALTITUDINALEASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,45 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE

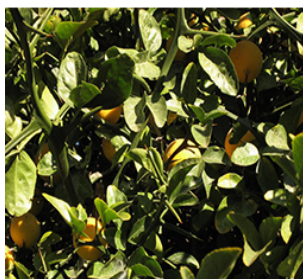


MEDIO-BASSO

NO₂ 0,13 gr/sp/ggPM₁₀ 0,13 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,014



Citrus x aurantium - L. - Arancio amaro (Rutaceae Juss.)



DESCRIZIONE

Si differenzia dal *Citrus x sinensis* per avere delle spine più lunghe all'ascella delle foglie, per la colorazione più scura delle foglie, per il caratteristico picciolo alato, per un profumo più intenso sia delle foglie che dei fiori, per i frutti che hanno una scorza esterna più colorata e più ruvida ed in particolare per il gusto amaro della polpa. Il frutto è un esperidio verde, giallo a maturità, piriforme o globoso, con diametro fino a 5 cm, ricoperto da una pelle spessa, fragrante, oleosa per ghiandole ben visibili.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita casuale

HABITAT

Le prime tracce sono state riscontrate in una regione che si estende tra il nord dell'India e il Nepal. I movimenti antropici di massa, le conquiste delle grandi civiltà antiche, l'espansione islamica nel Mediterraneo, le Crociate e, infine, la scoperta dell'America hanno permesso la diffusione di questo frutto dalle pendici dell'Himalaya fino alla California, passando per la Sicilia.

ANTESI



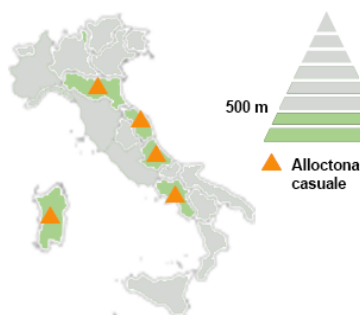
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Commestibile:** produzione di agrumi, marmellate, liquori, nonché nella produzione di tonici
- Forestale:** per rimboschimento di aree urbane fortemente inquinate dal punto di vista atmosferico
- Ufficinale:** le foglie sono rinfrescanti e rilassanti con miscela di olii di altre specie
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi

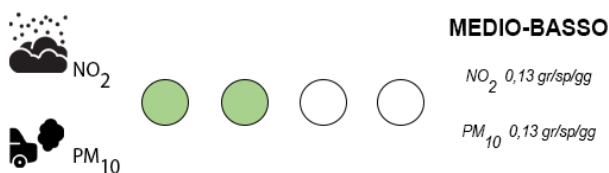
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS0,014



Citrus x limon - (L.) - Osback Limone (Rutaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero che mediamente ha una dimensione tra i 3 e i 6 metri di altezza. I germogli e i petali sono bianchi e violetti. Il frutto è giallo all'esterno e quasi incolore all'interno, di forma sferica fino ad ovale, spesso con una protuberanza all'apice e appuntito all'altra estremità. La buccia può essere da molto ruvida a liscia, più o meno foderata all'interno con una massa bianca spugnosa detta albedo. In clima favorevole, può fiorire e fruttificare fino a cinque volte l'anno.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita casuale

HABITAT

Nel nostro Paese si coltiva soprattutto nel meridione, in particolare in Sicilia, Calabria e Campania, viene comunque coltivato in tutto il mondo nella fascia subtropicale, dove il clima è sufficientemente caldo ed umido. Il suo habitat naturale sono i suoli freschi di medio impasto con buona disponibilità idrica ed in ambienti non eccessivamente ventilati. L'areale dove cresce si sviluppa nell'intervallo altimetrico tra 0 e 600 metri s.l.m.. Possono sopportare anche gelate, ma solo se di leggera entità e breve durata: il gelo molto intenso può portare alla completa perdita del fogliame, e talvolta anche al disseccamento dei rami più esterni. Note era l'areale della Conca d'oro di Palermo per l'antica coltivazione dei limoni (e di altri agrumi) nell'area intorno al capoluogo siciliano. Adesso l'espansione urbanistica e l'abbandono commerciale di questa coltivazione ha ridotto la presenza di questo agrume ad un numero sempre più decrescente di queste piante.

ANTESI



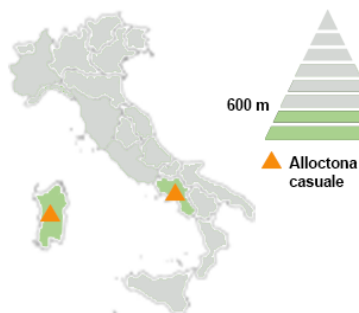
COLORE FIORE



UTILIZZO

Commestibile: produzione di agrumi, marmellate, olii, liquori, nonchè nella produzione di tonici
Ufficinale: il frutto è un antiossidante ricco di vitamina C nonchè un disinfettante naturale
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



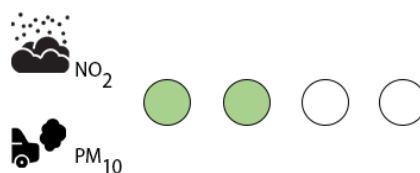
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-BASSO

0,45 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,13 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,13 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,014



Cordyline australis - (G. Forst.) Endl. - Cordilinea neozelandese (Asparagaceae Juss.



DESCRIZIONE

E' una pianta perenne, sempreverde, di facile coltivazione e che necessita di poche cure. Ha radici bianche, ingrossate, fusto eretto, stretto, ramificato in alto, allungato che, nel suo habitat naturale, può raggiungere l'altezza di 8-10 m. Le foglie, nastriformi, sottili, lanceolate e ricurve, appuntite, di colore verde intenso e con striature rosse sul margine, in condizioni ottimali raggiungono anche la lunghezza di 1 m. In estate fioriscono solo le piante adulte emettendo infiorescenze sotto forma di pannocchie piumose con fiori profumati.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
Australia e Nuova Zelanda

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

La pianta preferisce un terreno permeabile e poroso, necessita di un substrato leggero, soffice, ben drenato e con valori di pH che vanno da 6 a 6,5, necessita di un'esposizione luminosa e soleggiata, evitando il sole diretto, per mantenere il colore delle foglie che, altrimenti, sbiadiscono, sia la mezza ombra.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

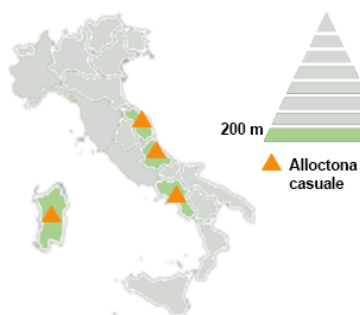
Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti, cicatrizzanti e depurative

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboschimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi

Schermante: barriere antirumore e antivento

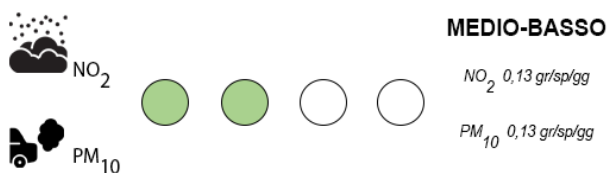
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS 0,003



Cornus mas - L. - Corniolo (Cornaceae Bercht. & J. Presl)

DESCRIZIONE

E' un alberello alto dai 2 ai 6 metri ed eccezionalmente può raggiungere gli 8 m. Le foglie sono opposte, picciolate, ovali ed ellettiche, acuminate in cima, decidue, con nervature convergenti verso la punta ed hanno dimensioni di 4-10 cm di lunghezza. I fiori che spuntano prima dell'emissione delle foglie sono gialli e molto piccoli con dimensioni di 4-5 mm, con sepal separati, riuniti in ombrelle sessili circondate da 4 brattee in croce. I frutti del corniolo sono delle drupe rosso vivo, che a maturazione diventano più scuri e lunghi quasi 2 cm.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie autoctona dell'Europa centro-orientale sino al Caucaso e all'Asia minore; in Italia si trova in quasi tutta la penisola, ma è più frequente nelle regioni settentrionali e manca soltanto nelle isole. Questa specie si trova soprattutto su terreni calcarei, e vive in piccoli gruppi nelle radure dei boschi di latifoglie, tra gli arbusti e nelle siepi del piano sino a 1400 metri. È un arbusto molto rustico che non teme le gelate tardive e resistente agli attacchi di molte malattie.

ANTESI



COLORE FIORE



Giallo o Arancio

UTILIZZO

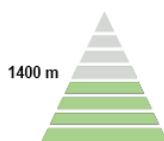
Artiginale: produzione di legno di ottima qualità

Forestale: imboschimento o rimboscimento di pendii urbani e periurbani

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti e depurative

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂**BASSO**

0,10 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE

NO₂**MEDIO-BASSO**NO₂ 0,45 gr/sp/ggPM₁₀PM₁₀ 0,03 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,004

Corylus avellana - L. - Nocciolo (Betulaceae Gray)



DESCRIZIONE

E' un albero che generalmente non supera i 5-6 m, con portamento arbustivo, ha un tronco è sottile e slanciato con i giovani rami che recano peli corti, in parte ghiandolari e con la corteccia di colore marrone grigio. Ha foglie caduche, alterne e con picciolo lungo provvisto di peli ghiandolari, le gemme sono di forma ovoidale. I fiori maschili sono sprovvisti dell'involucro ed hanno quattro stami. Il frutto è un diclesio (nocciola e involucro), il cui pericarpio legnoso contiene un seme dolce e oleoso.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

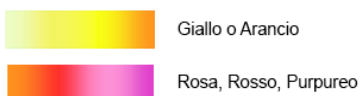
HABITAT

E' una specie originaria delle regioni asiatiche, il suo areale geografico naturale è europeo-caucasico, va dalla Penisola iberica e Inghilterra fino al Volga, e dalla Svezia alla Sicilia. In Italia è diffuso in tutte le regioni, dal livello del mare fino ai 1500 m di altitudine. Il suo habitat è quello del piano collinare o medio-montano, in quanto rifugge le aree mediterranee più calde ed aride dove può a costituire boschi di latifoglie, soprattutto querceti misti mesofili, radure e margini. Può formare boschetti pionieri su terreni freschi pietrosi, in consociazione con aceri o pioppo tremulo. E' una pianta che preferisce terreni calcarei, ben drenati, fertili e profondi e luoghi semi-ombreggiati, si tratta di una pianta colonizzatrice che, avendo esigenze modeste in termini di terreno e di clima, si adatta a molteplici condizioni ambientali.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

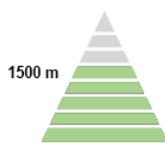
Commestibile: i frutti sono ampiamente utilizzati nella preparazione di pietanze

Officinale: i frutti, dall'alto valore calorico, risultano essere molto ricche di acidi grassi polinsaturi

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate e pendii per scopi produttivi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



▲ Alloctona casuale

▲ Alloctona naturalizzata

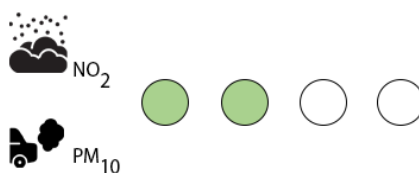
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-BASSO

0,49 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,10 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,10 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,019



Crataegus monogyna - Jacq. - Biancospino comune (Rosaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' un piccolo albero, anche se più spesso si presenta come arbusto a fogliame deciduo. L'altezza della pianta è generalmente di 5 m, ma può raggiungere anche i 12 m; ha una crescita molto lenta e può vivere sino a 500 anni. Le foglie caduche, portate da un picciolo scanalato, sono alterne, semplici, di colore verde brillante e lucide nella pagina superiore. I fiori sono profumati di colore bianco o leggermente rosato. I frutti, riuniti in densi grappoli, sono piccole drupe.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' presente in tutte le regioni d'Italia, il suo Habitat tipico è quello dei boschi xerofili, nelle siepi, boscaglie e cespuglieti, macchie, margine dei boschi e pendii erbosi, con preferenza per i terreni calcarei dal litorale marino alla montagna sino a 1.500 m s.l.m.; è originario dell'Europa e dell'Asia.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

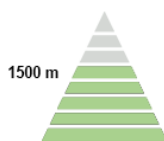
Commestibile: i frutti utilizzati per bevande fermentate e marmellate

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà cardiotoniche

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate e pendii

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-ALTO

1,00 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



BASSO

NO₂ 0,01 gr/sp/ggPM₁₀ 0,01 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,039



Cupressus sempervirens - L. - Cipresso comune (Cupressaceae Bartling)



DESCRIZIONE

E' un albero alto fino a 30 metri, con chioma compatta e colonnare oppure, come nella varietà horizontalis, largamente piramidale con rami eretto-patenti. Le foglie sono squamiformi, ovato-triangolari, ad apice ottuso, di colorazione verde scuro, i fiori si trovano all'apice dei rametti, di colore giallo, indistintamente maschili e femminili su tutta la pianta. I frutti sono delle piccole sfere di colore verde chiaro da giovani, dette galbule, squamate.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie originaria del Mediterraneo orientale e della Turchia meridionale, introdotta altrove fin dall'antichità e sarebbe stato importato nel Mediterraneo occidentale dai Fenici e dagli Etruschi per motivi ornamentali. Questa specie è diventata un elemento caratterizzante il paesaggio anche in alcune zone interne (Marche, Toscana, Umbria). Si tratta di una specie relitta, rappresentante della flora europea prima delle glaciazioni. E' un albero che predilige aree caratterizzate da inverni miti e piovosi e da estati calde e asciutte. Soffre i freddi prolungati, ma la sua riproduzione spontanea e l'adattabilità a tutti i tipi di terreno lo ha portato a vegetare un po' ovunque; infatti lo troviamo fino a 700 m s.l.m. e su terreni aridi, così da essere usato anche come un albero da rimboscimento, oltre che da frangivento.

ANTESI



COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

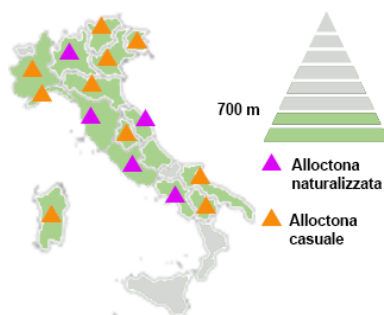
Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali balsamiche

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate e pendii

Schermante: barriere frangivento

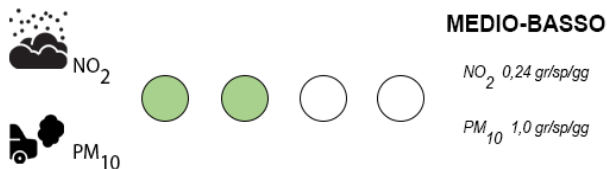
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS0,011



Cycas revoluta - Thunb. - Palma (Cycadaceae)

DESCRIZIONE

E' una pianta il cui aspetto ricorda la palma sia per il fusto, poco ramificato, che per la disposizione delle foglie, grandi e pennate. Le foglie giovani appaiono in primavera all'apice del fusto in gruppi numerosi, gli esemplari adulti possono produrre infiorescenze che spuntano al centro del ciuffo di foglie. Quelle femminili presentano brattee, ai margini delle quali si formano gli ovuli, che daranno origine ai semi rossi e carnosì.

FORMA BIOLOGICA

G rhiz

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

E' una pianta originaria del Giappone e dai paesi orientali dell'Asia, quali Cina ed Indonesia. Fu scoperta alla fine del Settecento e fu importata e messa per la prima volta a dimora in Europa nel 1793, presso l'Orto botanico di Palermo. Oggi è diffusa in tutte le parti del mondo dove viene coltivata quasi esclusivamente come pianta ornamentale. E' una pianta che può essere coltivata molto bene in terreni sabbiosi, ben drenati, in aree con estati molto calde (temperature medie di 30-35 °C) ma tollera anche climi con temperature più basse, l'occasionale esposizione a temperature al di sotto dello zero può causare danni alle foglie. Nelle regioni a clima rigido, comunque, richiedono la serra fredda per i mesi più freddi.

ANTESI



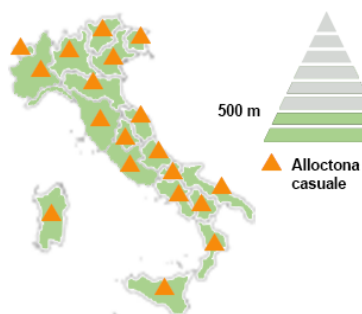
COLORE FIORE



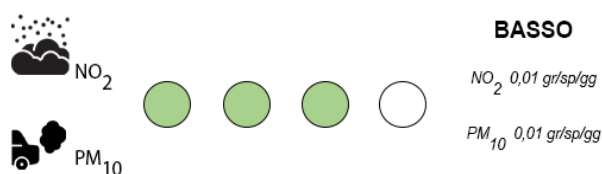
UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001

Diospyros kaki - Thunb. - Kaki (Ebenaceae Gürke)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere notevoli dimensioni e longevo; si distinguono rami a legno, rami misti e brindilli, con gemme miste inserite all'apice del ramo. La fioritura si ha sui rami dell'anno, il frutto è una bacca che può essere con un numero massimo di 8 semi o anche apirena e possono aversi anche per via partenocarpica.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una pianta originaria della Cina, poi diffusa in Corea, Giappone ed altri Paesi. Fu introdotto in Italia alla fine del secolo scorso; in Europa è particolarmente presente anche in Spagna. E' una specie tipica degli ambienti temperato-caldi anche se, grazie alle sue numerose varietà può adattarsi a differenti climi. Non è comunque una pianta molto resistente al freddo, arriva a sopportare i -15°C, e non sopporta le gelate tardive.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Commestibile: i frutti usati per marmellate e liquori

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

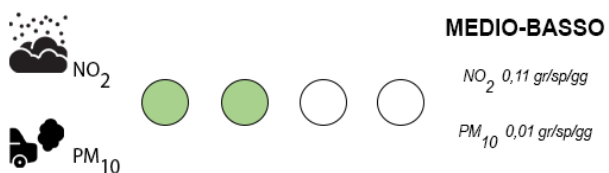
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,006



Eriobotrya japonica - (Thunb.) - Nespolo del Giappone (Rosaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' un albero di medie dimensioni, difficilmente si spinge fino ad 8-10 metri di altezza ed altrettanto in larghezza. L'albero è latifoglie e sempreverde con foglie sono molto grandi (lunghezza fino a 25 cm, larghezza fino 10 cm), di consistenza molto robusta, con superficie dorsale colore verde carico, lucide, mentre al verso sono colore verde pallido. I frutti sono dei pomi di colore giallastro chiaro, giallo o arancione, e sono immediatamente eduli.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Aliena
Asia orientale

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie originaria della Cina, ove sono presenti una notevole gamma di varietà in tutte le taglie, anche a frutto piccolo ed a minore interesse commerciale. In giapponese il frutto è chiamato biwa ed è qui che ha ricevuto la maggior attenzione culturale già in epoca precedente al contatto con l'Europa, con la selezione di diverse varietà che sono di norma a frutto più grande di quelle selvatiche cinesi. E' una pianta termofila, coltivata in giardini, parchi e orti nelle zone a clima temperato-caldo in quanto non sopporta i geli prolungati, cresce tra 0 e 500 m s.l.m. E' resistente ai terreni siccitosi o con poca sostanza organica ma molto meno a quelli umidi e troppo compatti.

ANTESI



COLORE FIORE



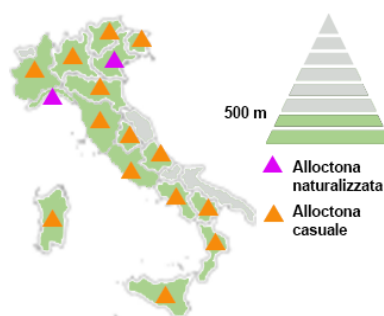
UTILIZZO

Comestibile: il frutto per la produzione di marmellate, miele e liquori

Ufficinale: i frutti contengono alte concentrazioni di sali minerali e proprietà antinfiammatorie

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

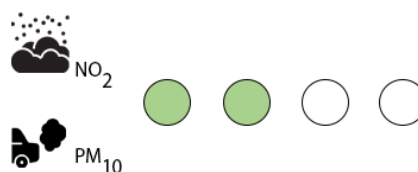
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-ALTO

1,20 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,96 gr/sp/ggPM₁₀ 0,89 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,034



Eucalyptus camaldulensis - Dehnh. - Eucalipto rosso (Myrtaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 40-50 metri di altezza e presenta una chioma espansa specie in verticale. Ha foglie lanceolate falciformi, sempreverdi, scarsamente aromatiche, lunghe fino a 22 cm e larghe 1-1,5 cm. I fiori sono di colore giallognolo, profumati, pedunculati, riuniti in piccole ombrelle peduncolate formate da 5-10 elementi. L'antesi è nel periodo tra la primavera e l'estate. Il frutto è un pissidio emisferico di 7-8 mm, che si apre a maturità per 4 valve; i semi, che sono numerosi, hanno una colorazione bruna.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
Australia e Nuova Zelanda

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

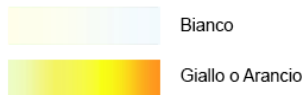
HABITAT

E' una pianta originaria dell'Australia temperata, in Italia è stato introdotto nel 1803 ed oggi è largamente diffuso nelle regioni mediterranee ed in molte aree temperate del globo. Il suo habitat è quello dei terreni sciolti e profondi, soprattutto sabbiosi in aree aride dove la pianta dimostra un'alta resistenza agli inquinanti atmosferici. La coltivazione si presta a veloci ripopolazioni alberate in zone anche aride, sviluppandosi sia da semi freschi che essiccati o tenuti al fresco. La pianta diventa rapidamente forte e può sopportare la siccità già nei tubi usati nella riforestazione.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

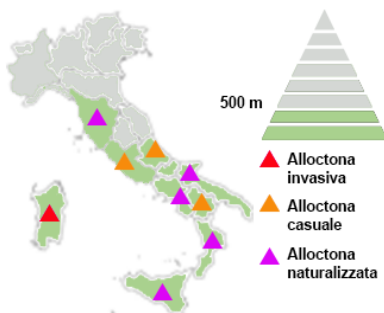
Forestale: imboscimento e rimboscimento di aree urbane e periurbane

Ufficinale: le foglie, mediante produzione di miele, contengono principi naturali dalle proprietà balsamiche

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi

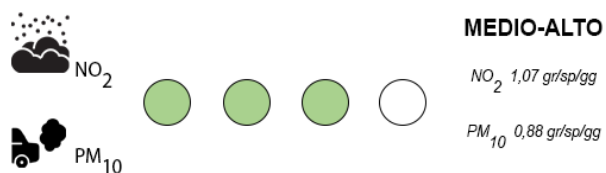
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,128



Fagus sylvatica - L. - Faggio (Fagaceae Dumort.)

DESCRIZIONE

E' una specie arborea che può raggiungere normalmente i 20-30 metri di altezza. Le foglie sono alterne, ovato-ellittiche, lunghe 10-15 cm, presenta infiorescenze unisessuali, con quelle maschili in glomeruli pendenti dotati ciascuno di un lungo peduncolo e quelle femminili erette costituite da 1-2 fiori circondati da 4 brattee superiori larghe e da numerose brattee inferiori lineari. I frutti sono degli acheni, chiamate "faggiole".

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

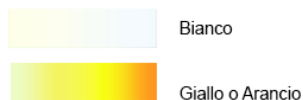
HABITAT

E' una pianta tipicamente europea, presente dalla Svezia meridionale ai monti della Sicilia e della Gran Bretagna alla Russia sudorientale. In Italia il faggio è presente sulle Alpi, sugli Appennini, sui Nebrodi, sulle Madonie e sull'Etna, mentre manca allo stato naturale in Sardegna, regione in cui è stato introdotto per scopi silvicolture e in cui la vegetazione climacica dell'orizzonte montano (1200–1800 m) è rappresentata da consorzi di agrifoglio e *taxus*. Sugli Appennini forma boschi puri raggiungendo il limite superiore della vegetazione arborea; sulle Alpi l'optimum per il faggio si ritrova nella fascia montana del distretto esalpico, dove forma estesi popolamenti puri. Nelle fasce a quote superiori o inferiori, i popolamenti subiscono l'ingresso di altre specie più resistenti alle gelate (come l'abete) o più tolleranti all'aridità (come il carpino nero).

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Artiginale: produzione di legno di ottima qualità

Forestale: imboschimento e rimboschimento di pendii e spazi urbani

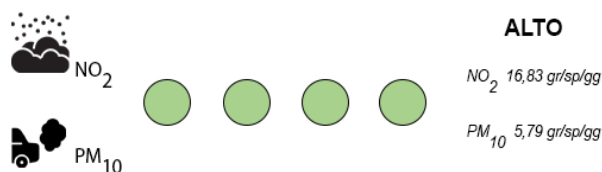
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboschimento: rivestimento di scarpate e argini

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,326



Ficus carica - L. - Fico comune (Moraceae Gaudich.)



DESCRIZIONE

E' un albero dal tronco corto e ramoso che può arrivare fino a 6-10 m di altezza. Le foglie del *Ficus carica* sono grandi, scabre, oblunghe, grossolanamente lobate a 3-5 lobi, di colore verde scuro sulla parte superiore, più chiare ed ugualmente scabre sulla parte inferiore. Il frutto del fico è una grossa infruttescenza carnosa, piriforme, detta siconio di colore variabile dal verde al rossiccio fino al bluastro-violaceo, cava, all'interno della quale sono racchiusi i fiori unisessuali, piccolissimi; una piccola apertura apicale, detta ostiolo.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

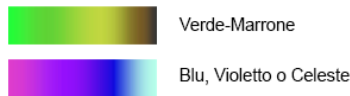
E' una pianta eliofila e termofila, vegeta su suoli calcarei o neutri asciutti e pietrosi, sviluppandosi talvolta anche ai piedi di muri e sui muri stessi, soprattutto in presenza di fenditure; per la sua crescita diviene fondamentale nei luoghi aridi la presenza di piccole risorse idriche, manifeste o meno.

In sintesi una pianta giovane, o in crescita intensa, o con eccessiva irrigazione o concimazione può essere gravemente danneggiata a temperature di -6°C. Una pianta anziana con rami legnosi, in suolo arido e soleggiato resiste senza problemi fino a -18°C. L'areale è contiguo a quello del *Ficus palmata*, più meridionale; i due areali hanno la maggiore vicinanza, o sovrapposizioni, in Egitto, Giordania, Iran, Pakistan, dove è possibile che si siano prodotti degli ibridi naturali.

ANTESI



COLORE FIORE



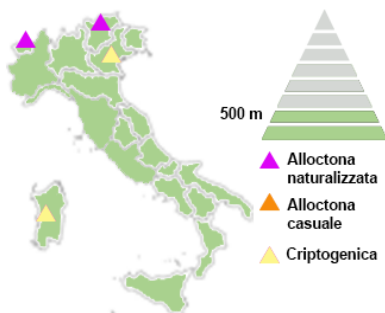
UTILIZZO

Commestibile: i frutti utilizzati per marmellate e pietanze

Ufficinale: i frutti contengono principi naturali dalle proprietà antiossidanti

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

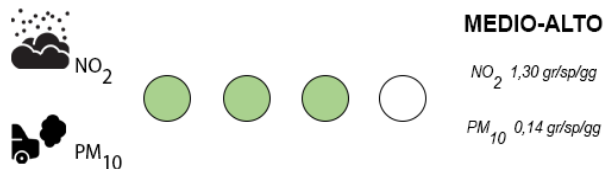
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,047



Fraxinus angustifolia - Vahl - Frassino a foglie strette (Oleaceae Hoffmanns. & Link)



DESCRIZIONE

E' una specie arborea che può raggiungere i 25 metri di altezza, con chioma piuttosto densa, espansa più in orizzontale e compatta. Le foglie sono decidue, opposte, picciolate, lunghe fino a 20 cm, con lama imparipennata con 5-13 segmenti lanceolati. I fiori mancano di perianzio e si sviluppano in brevi cime racemose in inverno. Il frutto è una samara monisperma di 24,8-38,2 x 4,2-8,8 mm, da lanceolata a oblunco-lanceolata, acuta, mucronata o smarginata, bruno-giallastra.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie che si trova in Europa meridionale, dalla Penisola Iberica e dalla Francia fino al Caucaso. Il suo areale di origine potrebbe essere con centro attorno al Mar Nero (clima continentale steppico con inverni freddi, estati calde e precipitazioni sempre molto scarse). In Italia è presente in quasi tutte le regioni. E' una specie eliofila, che vegeta su terreni più acidi dei congeneri che predilige un pH del suolo vicino alla neutralità o tendente al basico; resiste meglio alla siccità rispetto a altri frassini, ma non ama l'aridità nel suolo.

ANTESI



COLORE FIORE

Pianta vascolare con fiori e semi (Angiospermae). Fiore senza perianzio

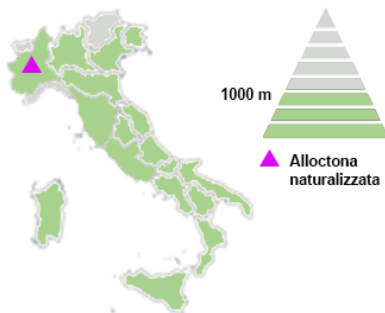
UTILIZZO

Artiginale: produzione di legno di media qualità

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi per le alte capacità di assorbimento degli inquinanti

Rimboschimento: rivestimento di scarpate

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



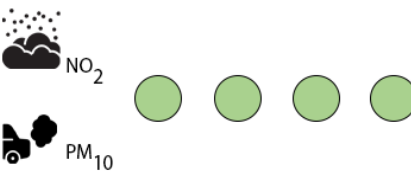
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-BASSO

0,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



ALTO

NO₂ 6,50 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,26 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,023



Fraxinus excelsior - L. - Frassino comune (Oleaceae Hoffmanns. & Link)



DESCRIZIONE

E' una specie arborea che può superare anche i 30 metri di altezza, con tronco diritto e slanciato, corteccia grigiasta, opaca, inizialmente liscia e poi fittamente solcata. Le foglie sono decidue, imparipennate, formate da 7-13 segmenti ellittico-lanceolati, le gemme invernali sono di colore nero, i fiori si trovano riuniti in cime racemi formi e sbocciano a marzo aprile, prima delle foglie. Il frutto è una samara, con una testa allungata contenente il seme e un'ala stretta lanceolata.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

Specie Europeo-Caucasica, in Europa l'areale maggiore si sovrappone quasi a quello dell'Acerio riccio, ma si espande maggiormente verso ovest raggiungendo l'Oceano Atlantico, dalle coste norvegesi a quelle della Galizia, Gran Bretagna, nella pianura Sarmantica raggiunge il 60° di latitudine nord e alle alture del Volga; a sud si ritrova nella regione Pontica (Mar nero) e nel Caucaso. In Italia è diffuso al settentrione, ed è presente nei boschi freschi di forra anche nell'Italia centrale e in quella meridionale.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

- Artigianale:** produzione di legno di ottima qualità
- Ufficinale:** le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi
- Rimboscimento:** rivestimento di scarpate, argini e pendii

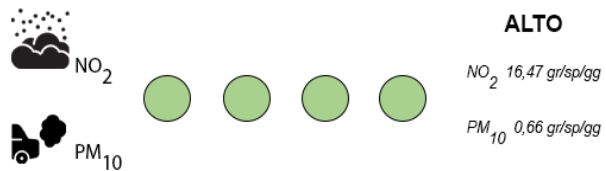
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,188



Fraxinus ornus - L. - Orniello (Oleaceae Hoffmanns. & Link)

DESCRIZIONE

Ha un tronco eretto, leggermente tortuoso, con rami opposti ascendenti con corteccia liscia grigiasta, opaca, gemme rossicce tomentose; la chioma di questa pianta è ampia ed è formata da foglie caduche opposte, imparipennate, di cui i laterali misurano 5-10 cm, si presentano ellittici o lanceolati. Possiede infiorescenze a forma di pannocchia, generalmente apicali e ascellari; i fiori sono generalmente ermafroditi e profumati, il frutto è una samara oblunga, cuneata alla base, lunga 2-3 cm e con un unico seme compresso di circa 1 cm.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie submediterranea-montana, con areale esteso dalla penisola iberica all'Asia minore; in Italia è diffusa in tutta la penisola e nelle isole. Vegeta a quote medio-basse, potendo salire però nel Meridione d'Italia sino a 1400 metri. In senso lato la specie vegeta su suoli poco evoluti, derivati prevalentemente da rocce carbonatiche, a reazione neutro-basica e con ridotta disponibilità idrica. Si trova quasi sempre associato al carpino nero (*Ostrya carpinifolia*): omo-ostrieti, perché le due specie presentano esigenze coincidenti in termini edafici (substrati calcareo-dolomiti) e climatici (versanti esposti a sud e quindi caldi e secchi). Nell'Italia peninsulare ed insulare, l'orniello convive spesso anche con specie del genere *Quercus* (leccio, roverella e cerro principalmente), del genere *Acer*, col castagno e con le specie della macchia mediterranea alta, mentre nel Nordest italiano si possono riscontrare formazioni primitive in fore, su rupi a volte consociato al leccio e su falde di tipo detritico.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

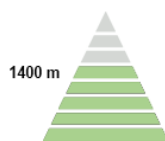
Artigianale: produzione di legno di media qualità

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di suoli aridi, calcarei o argillosi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,95 gr/sp/ggPM₁₀ 0,04 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,016



Gleditsia triacanthos - L. - Spino di Giuda (Fabaceae Lindl.)

DESCRIZIONE

E' una specie che nelle zone di origine può raggiungere i 30 metri d altezza. Le foglie sono composte, decidue, alterne e picciolate e sono di due tipi: alcune si presentano una volta pennate, altre bipennate, terminanti o meno con segmento apicale. I fiori sono sia unisessuali che bisessuali sulla stessa pianta hanno una colorazione bianca e verde chiaro. I frutti sono dei lomenti (legumi) fusiformi, subcilindrici, indeiscenti, glabri, rossicci a maturazione. I semi sono ovoidi, appianati, lisci, marroni.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' un albero con origini nord americane dove forma boschi termofili misti di latifoglie. In questa regione è diffuso dal Sud Dakota al Texas. La specie fu introdotta in Europa a metà del Settecento ed oggi è una specie molto diffusa nei parchi e anche nelle alberature stradali. L'introduzione in Italia avvenne nel 1712 dove attualmente è presente al nord ed al centro. Introdotta per scopi ornamentali, questa specie tende a diventare spontanea, formando piccoli popolamenti lungo i binari ferroviari e le scarpate. Si adatta a qualsiasi tipo di terreno ben drenato, anche i più sabbiosi o sassosi. Inoltre resiste al vento e alla salsedine.

ANTESI



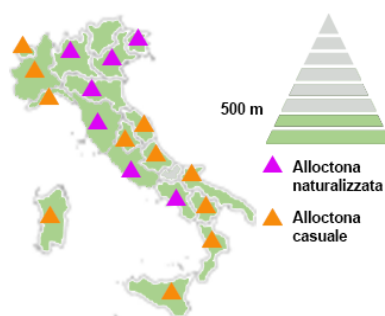
COLORE FIORE



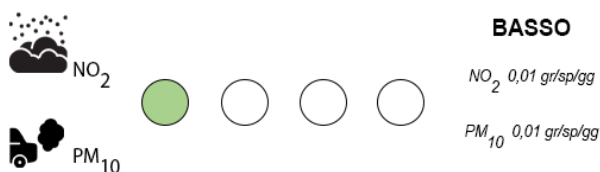
UTILIZZO

Artigianale: produzione di legno di buona qualità**Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi**Rimboscimento:** rivestimento di aree urbane e periurbane con alte concentrazioni di inquinanti

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,114



Gravillea robusta - A. Cunn. ex R. Br. - *Grevillea robusta* (Proteaceae Juss.) 

DESCRIZIONE

È un albero sempreverde a crescita rapida, alto 18–35 m, con foglie verde scuro delicatamente dentellate che ricordano le fronde di una felce. Le foglie sono generalmente lunghe 15–30 cm con superfici inferiori bianche grigiastre o color ruggine. I suoi fiori sono arancioni-dorati a forma di fiorellini di parviflora, lunghi 8–15 cm, in primavera, su uno stelo di 2–3 cm e sono usati per produrre miele. I semi maturano alla fine dell'inverno e danno frutti su follicoli deiscenti ruvidi color marrone scuro, lunghi circa 2 cm, con uno o due semi appiattiti e alati.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
 Australia e Nuova Zelanda

STATUS

Alloctona
 Neofita naturalizzata

HABITAT

È nativa della zona costiera orientale dell'Australia, in ambienti fluviali, subtropicali di foreste pluviali secche e riceve 1000 millimetri annuali di precipitazioni medie.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

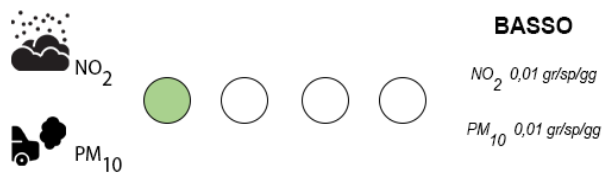
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002



Hibiscus rosa-sinensis - L. - Ibisco della Cina (Malvaceae Juss.)

DESCRIZIONE

È una pianta mediterranea con un portamento arrotondato e rami rigidi, mentre il fogliame è persistente, di colore verde, porpora o parzialmente variegato, secondo le varietà, con foglie da 8 a 15 cm., più o meno frastagliate. L'altezza va da 1,50 a 2,50 m., mentre il diametro da 1 a 1,50 m., ma può raggiungere delle dimensioni superiori in ambienti caldi. Presenta una fioritura, con fiori a forma di coppa con diametro di 5 e 12 cm., che hanno 5 petali più o meno larghi; dal centro dei fiori partono lunghi stami terminanti con delle antere giallo intenso.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

Originario delle zone temperate dell'Asia, il genere è diffuso oggi anche in Europa, Nord America e zone tropicali. Molto apprezzato nei Paesi del Centro America quali le Hawaii dove specie provenienti dalla Cina si sono incrociate con le specie endemiche hawaiane; presenti grandi coltivazioni di ibisco anche in Australia, Nuova Zelanda.

ANTESI



COLORE FIORE



Rosa, Rosso, Purpureo

UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂**BASSO**

0,06 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE

**BASSO**NO₂ 0,01 gr/sp/ggPM₁₀ 0,01 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002

Junglas regia - L. - Noce (Juglandaceae DC. ex Perleb)



DESCRIZIONE

E' un albero di grande vigoria ed è caratterizzato da un tronco solido, alto, dritto, le radici sono robuste, inizialmente fittonanti e a maturità espanse e molto superficiali. È specie caducifoglie e con foglie grandi, di colore verde chiaro, composte e alterne. I fiori unisessuali femminili si schiudono da gemme miste dopo quelli maschili (proterandria). Il frutto del noce è una drupa, composta dall'esocarpo (mallo) carnoso.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie con origini asiatiche (pendici dell'Himalaya) ed introdotta in Europa in epoca antichissima, tra il VII e il V secolo a.C., per i suoi frutti eduli. La pianta è diffusa in tutto il mondo ed in Italia la coltura della noce da frutto, in genere promiscua, ha una certa rilevanza solo in Campania. L'introduzione in America fu operata nel XVII secolo da coloni inglesi. La sua diffusione originaria allo stato selvaggio è relativamente limitata; questa è compresa tra la Penisola balcanica meridionale e l'Asia centrale. Boschi spontanei di noci misti ad aceri si trovano, ad esempio, sulle montagne dell'Uzbekistan. E' una pianta che tollera bene suoli debolmente acidi e calcarei; si tratta di una pianta di facile coltivazione, ma il terreno su cui è coltivato deve essere ricco di sostanza organica ed è sensibile ai ristagni idrici e stress idrici conseguenti a terreni sciolti; non tollera i terreni pesanti, asfittici, mentre resiste anche ad elevato tenore in calcare.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

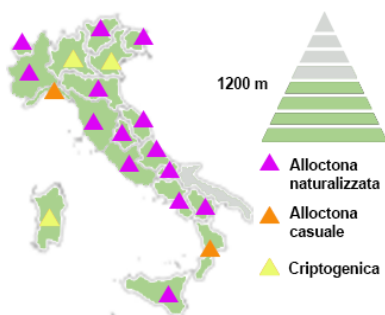
Artigianale: produzione di legno di ottima qualità

Commestibile: il frutto per largo utilizzo commerciale

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii ben drenati

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà reumatiche

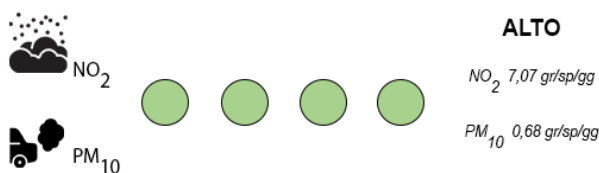
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,051



Juniperus communis - L. - Ginepro comune (Cupressaceae Bartling)

DESCRIZIONE

Lo *Juniperus communis* è una conifera in forma di arbusto o alberello sempreverde con tronco contorto. La pianta è dioica, cioè porta fiori, unisessuali, in due piante diverse, una con i fiori maschili, di colore giallastro, e una con i fiori femminili, piccoli coni di colore verdastro, che producono le bacche. Per il loro aspetto i coni sono facilmente scambiati per bacche e dunque volgarmente chiamati "bacche di ginepro". Sono ampiamente apprezzati per le loro doti aromatiche.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' molto diffuso dalle regioni marine alle zone montane, nei pascoli aridi, nelle brughiere o boscaglie; è una specie molto longeva, presente in tutte le regioni temperate dell'emisfero settentrionale e resistente alle basse temperature, tollera aridità e vento forte, si adatta facilmente a terreni inhospitali essendo indifferente al substrato. Lo si può trovare dal livello del mare sino ai 3.500 m s.l.m.. questa specie insieme a *Juniperus oxycedrus* ha la capacità di formare dei biograppi con varie specie legnose e erbacee che permettono di promuovere la successione secondaria del territorio.

ANTESI



COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Artigianale: produzione di legno di buona qualità

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà diuretiche

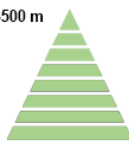
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate, pendii, aree urbane e periurbane

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



< 3500 m



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



BASSO

0,06 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



BASSO

NO₂ 0,01 gr/sp/ggPM₁₀ 0,01 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002



Koelreuteria paniculata - Laxm. - Koelreuteria (Sapindaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 15 metri di altezza e presenta una chioma espansa orizzontalmente di colore verde scuro. Le foglie sono decidue, alterne, picciolate, lunghe fino a 35 cm, composte, una o due volte imparipennate, con segmenti di 8 cm, variamente lobati o dentati, oppure interi. I fiori sono di colore giallo con un calice leggermente asimmetrico e la corolla con 4 petali conniventi, allungati, arrossati alla base; il frutto è una capsula che si apre lungo le suture dorsali, con tre spigoli convessi, contenente alcuni semi neri e sferici.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie arborea originaria di un'area sita tra Cina, Giappone e Corea. È presente in Europa dove è stata introdotta, come specie ornamentale dopo la metà del Settecento. Sopporta molto bene il caldo afoso o torrido dell'estate e temperature invernali fino a -15/-20°C. è una pianta che si adatta a qualsiasi tipo di terreno ricco di sostanza organica e ben drenato.

ANTESI



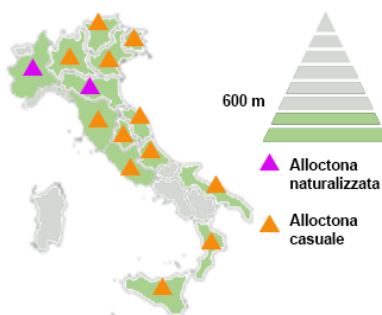
COLORE FIORE



UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

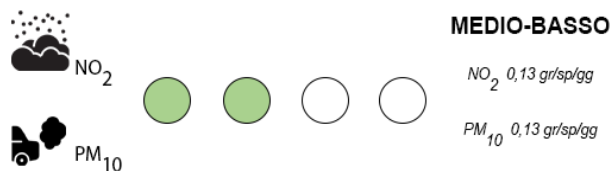
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS0,017



Lagerstroemia indica - L. - Lagerstroemia (Lythraceae J. St.-Hil.)

DESCRIZIONE

E' un piccolo albero, o arbusto, deciduo che non supera gli 8 metri di altezza e presenta una chioma arrotondata, leggera, con rami divaricati. Ha un tronco costoluto, più largo alla base e rivestito di una scorza sottile bianco giallognola con placche più scure. Le foglie sono lunghe fino a 7 cm e sono decidue, opposte, distiche con lamina da ellittica a lanceolata, ad apice acuto. La pagina superiore ha una consistenza lucida e di colore verde scuro, quella inferiore è invece più chiara e opaca.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

E' un albero originario dell'Asia sudorientale (zona temperata della Cina) che risulta presente allo stato spontaneo anche a Giava, nel Laos, in Thailandia, nel Vietnam, in Cambogia e nelle isole Andamane. Attualmente è presente in varie parti del mondo dove è stato introdotto dall'uomo. La pianta richiede esposizioni in luoghi soleggiate o semiombrose, con terreni argillosi o calcarei, ricchi di sostanza organica e ben drenati.

ANTESI



COLORE FIORE

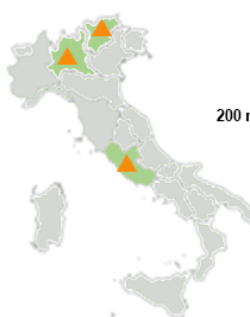


Rosa, Rosso, Purpureo

UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,14 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



BASSO

NO₂ 0,01 gr/sp/ggPM₁₀ 0,01 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,004



Laurus nobilis - L. - Alloro (Lauraceae Juss.)



DESCRIZIONE

L'Alloro si presenta spesso in forma arbustiva ma solo perché spesso sottoposto a potatura. Le foglie, ovate, sono verde scuro, coriacee, lucide nella pagina superiore e opache in quella inferiore, sono inoltre molto profumate. I fiori, di colore giallo chiaro, riuniti a formare una infiorescenza ad ombrella, compaiono a primavera, generalmente in marzo-aprile. I frutti dell'alloro sono delle drupe di colore nere e lucide (a maturità) con un solo seme e le bacche maturano a ottobre-novembre.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie diffusa lungo le zone costiere settentrionali del Mar Mediterraneo, dalla Spagna alla Grecia e nell'Asia Minore. In Italia cresce spontaneamente nelle zone centro-meridionali e lungo le coste, mentre nelle regioni settentrionali è coltivato. Per la sua ampia diffusione, che è spontanea in condizioni naturali, è stato individuato uno specifico tipo di macchia: la macchia ad alloro o *Lauretum*. Si tratta della forma spontanea di associazione vegetale che si stabilisce nelle zone meno aride e più fresche dell'area occupata in generale dalla macchia.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

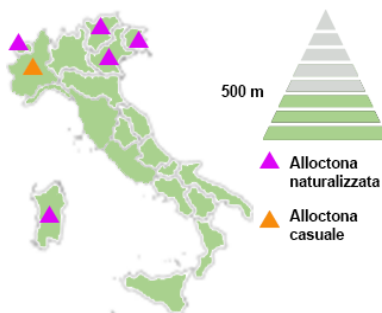
Ufficinale: le foglie contengono principi naturali dalle proprietà depurative, digestive e rinfrescanti

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate, argini in ambito urbano e periurbano

Schermante: barriere antirumore e antivento

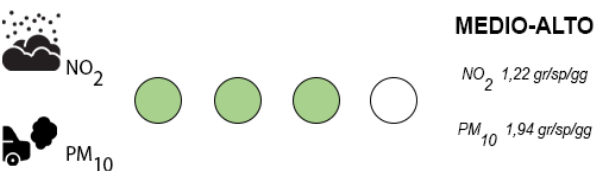
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,344



Ligustrum japonicum - Thunb. - Ligustro giapponese (Oleaceae Hoffmanns. & Link)

DESCRIZIONE

Arbusto generalmente caducifoglio, alto da 0,5 a 2 m, con apparato radicale forte, rizomatoso e pollonifero, chioma densa, rami giovani spesso pubescenti. Foglie opposte, decussate, brevemente picciolate, consistenti, ellittico-ovali o lanceolate. Fiori numerosi, odorosi, in pannocchie terminali dense, piramidali ed erette. Frutti a bacche subsferiche, a maturità nero-bluastre lucide, di diametro 5-7 mm, non commestibili.

FORMA BIOLOGICA

NP

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

Specie diffusa in tutta l'Europa centro-occidentale, compresa la Scandinavia meridionale e le isole britanniche, vegeta anche nell'Africa mediterranea, vicino Oriente, Asia minore e area pontica, presente in tutte le regioni italiane. Con predilezione per i suoli calcarei, specie eliofila, frequente dall'orizzonte submediterraneo al submontano (raramente raggiunge i 1300 m di quota); si rinviene spesso (coltivata) in siepi o (spontanea) in boscaglie e boschi radi caducifogli insieme ad altre specie arbustive, quali *Viburnum lantana*, *Cornus sanguinea*, *Euonymus europaeus*, *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*.

ANTESI



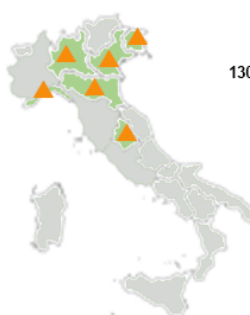
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: rivestimento di pendii

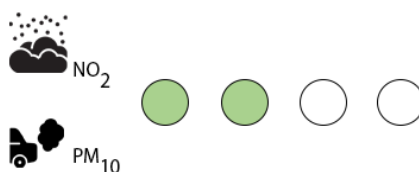
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

BASSO

0,06 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,01 gr/sp/ggPM₁₀ 0,01 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002



Ligustrum lucidum - W.T. Aiton - Ligustro lucido (Oleaceae Hoffmanns. & Link)



DESCRIZIONE

E' un cespuglio a foglie caduche nelle regioni più fredde, persistenti e semipersistenti in quelle temperate e calde. I fiori sono bianchi e profumati, a corolla imbutiforme di piccole dimensioni, riuniti a formare infiorescenze a pannocchia, portate all'apice dei rametti. Ha foglie semplici e opposte, con evidente nervatura centrale e margine intero, i frutti sono bacche, nere a maturità.

FORMA BIOLOGICA

NP

TIPO COROLOGICO

Aliena
Asia orientale

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

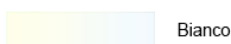
HABITAT

L'area di origine è Est - Asiatico in quanto questa pianta è originaria della Cina, Corea e Giappone, in Italia è coltivata ed eventualmente spontaneizzata soprattutto nella Pianura Padana, ma anche in altre regioni. Con le stesse caratteristiche si può trovare anche nelle Alpi sul versante italiano e quello francese. In Australia è considerata specie invasiva. L'habitat tipico per questa specie sono i boschi, ma anche parchi, giardini, viali e cimiteri. Il substrato preferito è calcareo ma anche siliceo con pH neutro, medi valori nutrizionali del terreno che deve essere mediamente umido.

ANTESI



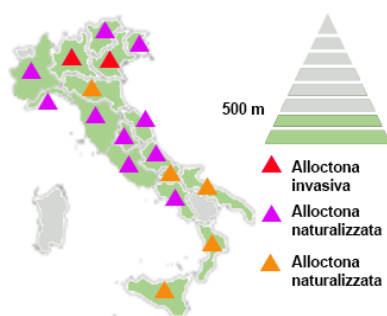
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di aree urbane e periurbane
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

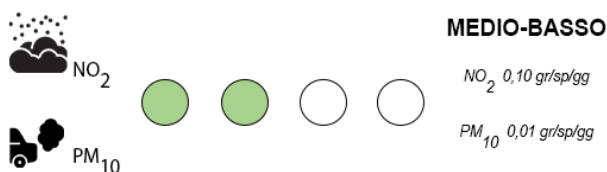
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002



Liquidambar styraciflua - L. - Noce satinato (Altingiaceae Horan.)

DESCRIZIONE

E' un albero di taglia medio-grande, che nella zona di origine può raggiungere i 40 metri di altezza. Le foglie sono palmate a 5-7 lobi, con colorazione verde brillante che in autunno diventa porpora violaceo, arancione, giallo. Il frutto è una capsula legnosa riunita in una infruttescenza globosa, ciascuna contiene 1 o 2 semi. L'infruttescenza, dapprima verde, diventa legnosa ed è spinosa per la persistenza degli stili.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

E' un albero originario del Nordamerica orientale, con un areale che va dal sud del Canada fino alla Florida e al Messico. Il suo habitat è quello dei boschi freschi e misti ed è stato importato in Europa come pianta ornamentale nel 1681. E' una pianta rustica e poco esigente e va messa a dimora nel tardo autunno, preferisce un terreno fertile molto ben drenato, ma costantemente umido: in questo caso la pianta si sviluppa meglio che non su suoli poveri e aridi.

ANTESI



COLORE FIORE



Rosa, Rosso, Purpureo

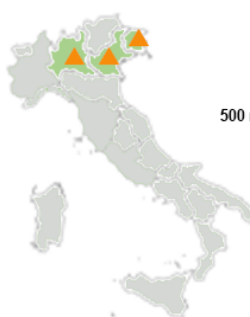
UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii, aree urbane e periurbane

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,20 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



ALTO

NO₂ 4,55 gr/sp/ggPM₁₀ 0,38 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,006



Liriodendron tulipifera - L. - Liriodendro (Magnoliaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero con forma conica, che può raggiungere altezze di 20-30 metri con fusto generalmente dritto del diametro di 3 metri. Ha crescita rapida e predilige terreni profondi, ricchi e umidi; le foglie sono decidue di forma quadrata lobata con apici, i fiori sono bisessuali, terminali simili a grandi tulipani, grandi di colore verde molto pallido, raramente bianchi, che compaiono a inizio estate e hanno un'alta concentrazione di nettare. I frutti secchi (samareti) sono lunghi 6-7 cm ed a maturità si staccano portati dal vento.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

E' una specie originaria degli Stati Uniti orientali fino agli Stati dell'Indiana, Tennessee e Mississippi, dove forma foreste miste di latifoglie che si estendono dal livello del mare fino a circa 1500 metri di quota. La sua introduzione in Europa si ebbe intorno alla metà del XVII secolo sia come pianta ornamentale che forestale. Preferisce terreni umidi, freschi e profondi, possibilmente con pH leggermente acido; tollera comunque svariati tipi di terreno con pH moderatamente alcalini o tendenzialmente acidi, purché freschi e ben drenati.

ANTESI



COLORE FIORE



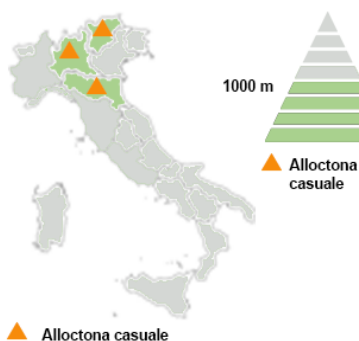
UTILIZZO

Ufficinale: i fiori per la produzione di miele dal nettare presente con proprietà toniche

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboschimento: rivestimento di pendii e aree pedemontane

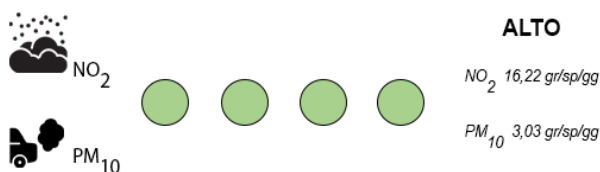
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,216



Maclura pomifera - (Raf.) C.K. Schneid. - *Maclura pomifera* (Moraceae Gaudich.)

DESCRIZIONE

E' una specie arborea alta 8-12 metri con una chioma folta ed irregolare. Le foglie assomigliano a quelle dell'albero dell'arancio, sono alterne, acuminate, coriacee e furono impiegate in passato anche nell'alimentazione del baco da seta. È una pianta dioica, con le infiorescenze, sia quelle maschili che quelle femminili, di forma sferica e con diametro di 2-3 centimetri. Il frutto è un ammasso sferico, di diametro variabile dagli 8 ai 15 centimetri, verde e rugoso, di consistenza legnosa, con una superficie verdastra e rugosa, e con succo lattiginoso.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Nofita naturalizzata

HABITAT

E' una pianta originaria del Nordamerica (la zona di origine è individuata in un'area degli Stati Uniti centrali) ed è stata introdotta in Europa nel 1818 ed in Italia nel 1827. La *Maclura* fu descritta per la prima volta da Thomas Nuttall nel 1811 il quale le attribuì il nome dell'amico geologo William Maclure. E' un albero resistente al freddo ed al caldo; nei secoli passati la coltivazione di questo albero venne introdotta in gran parte d'Italia, dalla Sicilia alla pianura Padana dove si è dimostrato di vegetare senza problemi ovunque venne posta a dimora.

ANTESI



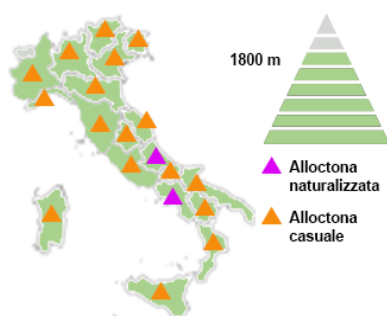
COLORE FIORE



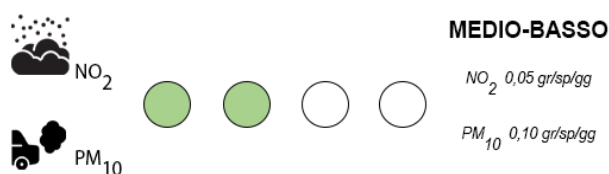
UTILIZZO

Artigianale: produzione di legno di media qualità
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi
Schermante: barriere frangivento

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,014



Magnolia grandiflora - L. - Magnolia (Magnoliaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero sempreverde a grandi dimensioni, che arriva ad altezze che di rado superano i 25 metri, le foglie si presentano di grandi dimensioni ed alterne, con un bel colore verde intenso nella pagina superiore. I fiori della grandiflora sono assai profumati e piuttosto grandi. I frutti della grandiflora, infine, sono eretti con una forma affine a una pigna conica. Hanno un lunghezza di 10 centimetri circa e hanno colore bruno, con la presenza di semi color rosso, mantenuti da peduncoli, che escono al momento della maturazione.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

Originaria del sud degli Stati Uniti, introdotta in Europa agli inizi dell XVIII secolo, è comunemente coltivata in parchi e giardini per la sua bellezza e per la resistenza all'inquinamento atmosferico, casualmente inselvatichita in alcune zone del territorio. Il suo terreno di piantumazione è acido o neutro, che sia inoltre fertile, ben drenato, abbastanza ricco di sostanza organica e arricchito di torba e humus, non gradisce un terreno calcareo o argilloso.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali rinfrescanti

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



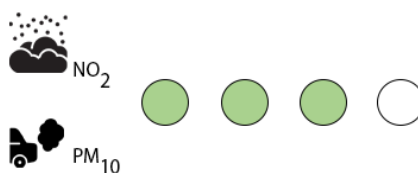
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-ALTO

2,00 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-ALTO

NO₂ 2,85 gr/sp/gg

PM₁₀ 3,89 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,063



Malus domestica - (Suckow) Borkh. - Melo (Rosaceae Juss.)

DESCRIZIONE

Il melo è una specie arborea di piccola dimensione, decidua con chioma densa ed espansa e apparato radicale superficiale. Le foglie sono disposte in maniera alterna e sono semplici ed a lamina ovale, leggermente seghettata. I fiori sono riuniti a formare infiorescenze a corimbo con un numero variabile da 3 a 7. Il frutto è un falso frutto con forma globosa, generalmente di 5–9 cm di diametro, prima verde e a maturazione, estivo-autunnale, con colore variabile dal giallo-verde al rosso.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita Naturalizzata

HABITAT

E' una specie originaria di una area sud caucasica, è oggi coltivato intensivamente in Cina, Stati Uniti, Russia, Europa (soprattutto in Italia e Francia). Specie a largo areale europeo ed anche asiatico occidentale, mesofila e lucivaga, vegeta con individui solitari in boschi di latifoglie sia puri che misti con conifere, preferendo spazi marginali o radure, dove riesce ad espandere la chioma in forma globosa. Predilige terreni limosi o sabbiosi ricchi di humus e ben drenati; tollera bene e quasi esige climi rigidi invernali, pur soffrendo grandemente per gelate tardive durante la fioritura.

ANTESI



COLORE FIORE

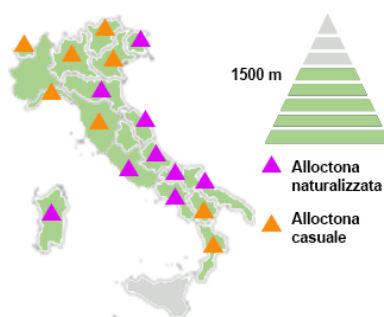


UTILIZZO

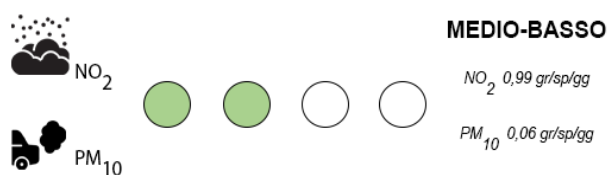
Commestibile: i frutti, ricchi di vitamina C, per la produzione di marmellate

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,011



Melia azedarach - L. - Sicomoro falso (Meliaceae Juss.)



DESCRIZIONE

I *Melia azedarach* è un albero che può raggiungere i 15 metri di altezza, con una chioma molto espansa, più o meno a forma di ombrello. Le foglie sono lunghe fino a 90 cm, decidue, opposte, portate da un lungo picciolo, con lamina imparipennata. I fiori sono bisessuali con colorazione blu-violetto; questi compaiono a fine primavera in larghe pannocchie terminali corimbiformi (lunghe fino a 20 cm). I frutti sono delle drupe sferiche di circa 1 cm, di color ocra a maturità e con endocarpo legnoso e molto duro.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' un albero originario di un'area tra l'India e la Malesia, diffuso poi in Cina meridionale, Giappone, Isole Salomone e Australia settentrionale. Diffuso successivamente dall'uomo, oggi è naturalizzata nell'Europa meridionale, Africa, Stati Uniti, Hawaii comprese, Messico, regione tropicale del Sudamerica e Isole Galapagos, nelle regioni tropicali e subtropicali dove è stata introdotta è considerata una specie invasiva. È presente nell'Italia meridionale, in Sicilia, Sardegna, Marche e Liguria. Lo si ritrova fino a 600 m sul livello del mare, in zone aperte e dal clima secco, preferisce vecchi campi abbandonati, terreni a ridosso della carreggiata stradale ed altre zone disturbate.

ANTESI



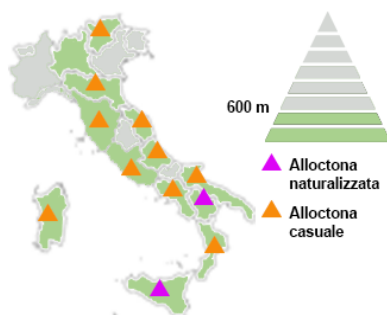
COLORE FIORE



UTILIZZO

Artigianale: produzione di legno di buona qualità
Ufficinale: le foglie in un impasto con altri elementi presenta alte proprietà rinfrescanti
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

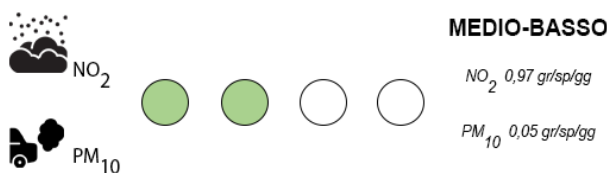
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS0,011



Mespilus germanica - L. - Nespolo (Rosaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' un albero di modeste dimensioni che può raggiungere al massimo i 5 metri d'altezza, ma che solitamente si presenta con dimensioni più ridotte. Le foglie da giovani sono opache per la presenza di una leggera peluria che resta solo sulla pagina inferiore, divengono in autunno di uno splendido colore ramato, i fiori sono grandi e isolati, di colore bianco con cinque petali e portano entrambe i sessi. Dall'allegazione si formano dei falsi frutti dovuti all'ingrossamento del ricettacolo attorno ai frutti (nespole) veri e propri.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' originario, secondo recenti studi, dell'areale caucasico, ma anche con primi nuclei di diffusione in Iran, in Turchia fino alla Grecia. Oggi è una pianta diffusa in tutta Europa come pianta spontanea nei boschi di latifoglie o come rinselvatichita negli incolti. E' una pianta molto resistente al freddo invernale, si spinge fino ai mille metri di quota.

ANTESI



COLORE FIORE



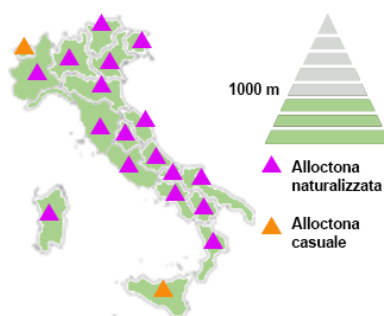
UTILIZZO

Commestibile: i frutti per la produzione di marmellate nonché in numerose pietanze

Forestale: rivestimento di aree urbane e perurbane a scopo produttivo

Ufficinale: le foglie contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

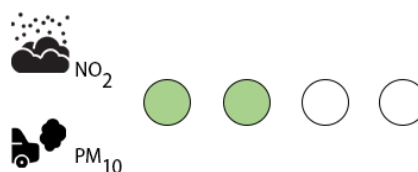
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,94 gr/sp/ggPM₁₀ 0,08 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,011



Mespilus japonica -Thunb. - Nespolo comune (Rosaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero di medie dimensioni, con una altezza di 8 m ed altrettanto in larghezza. L'albero è latifoglie e sempreverde con foglie sono molto grandi, di consistenza robusta, superficie dorsale colore verde carico, lucide, mentre al verso sono colore verde pallido. I frutti sono dei pomi di colore giallastro chiaro, giallo o arancione.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Aliena
Asia orientale

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie originaria della Cina, ove sono presenti una notevole gamma di varietà in tutte le taglie, anche a frutto piccolo ed a minore interesse commerciale. E' una pianta termofila, coltivata in giardini, parchi e orti nelle zone a clima temperato-caldo in quanto non sopporta i geli prolungati, cresce tra 0 e 500 m s.l.m. E' resistente ai terreni siccitosi o con poca sostanza organica ma molto meno a quelli umidi e troppo compatti.

ANTESI



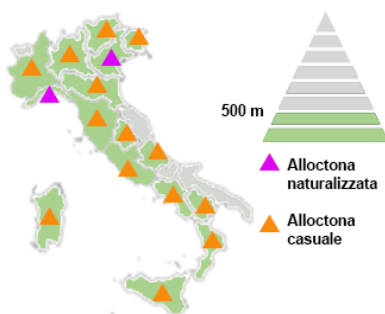
COLORE FIORE



UTILIZZO

Comestibile: il frutto per la produzione di marmellate, miele e liquori
Ufficinale: i frutti contengono alte concentrazioni di sali minerali e proprietà antinfiammatorie
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

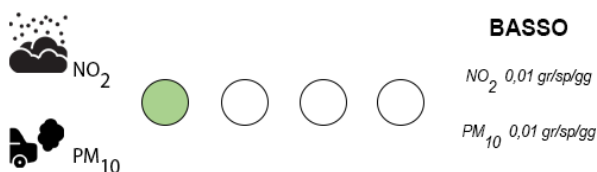
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,011



Morus alba - L. - Gelso bianco (Moraceae Gaudich.)



DESCRIZIONE

Il gelso bianco è un albero caducifoglie e latifoglie, ad accrescimento piuttosto rapido, che può diventare secolare. Le foglie si presentano caduche, alterne, distiche, portate da un picciolo scanalato e ornato da piccole stipole laterali caduche. I fiori sono unisessuali e raramente ermafroditi, con quelli maschili che formano infiorescenze ad amento di forma cilindrica e quelli femminili che formano amenti globosi. L'infruttescenza (mora) è un sorosio ovoidale o arrotondato di 1-2,5 cm, bianco o rosa o violetto.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

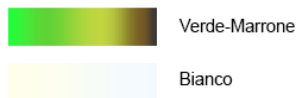
HABITAT

E' un albero di grandi dimensioni (alto fino a 15-20 m), che contiene lattice, originario della Cina settentrionale e della Corea. È stato importato in Europa con il baco da seta che è ghiotto delle sue foglie. Questa pianta vegeta in luoghi soleggiati o al massimo a mezz'ombra, e necessita di ampio spazio in quanto raggiunge notevoli dimensioni.

ANTESI



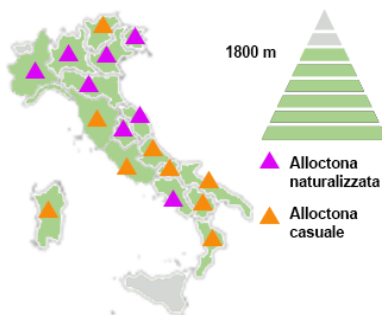
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Commestibile:** frutti per la produzione di marmellate
- Forestale:** rivestimento di scarpate e argini di fiumi
- Ufficinale:** le foglie contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi

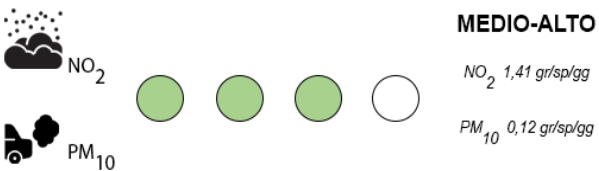
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,011



Nerium oleander - L. - Oleandro (Apocynaceae Juss.)



DESCRIZIONE

Il *Nerium oleander*, allo stato spontaneo assume un portamento arbustivo, le foglie sono glabre e coriacee, disposte a verticilli di 2-3, con un breve picciolo, con margine intero e nervatura centrale robusta e prominente. I fiori sono ermafroditi, disposti in cime corimbose multiflore, tubulosi con petali semplici o doppi e con peduncolo di 2-3 mm. Il frutto è un follicolo fusiforme allungato di colore bruno, che a maturità si apre spargendo semi densamente pelosi con pappi brunastri.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

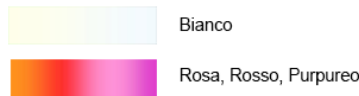
HABITAT

E' una specie forse originaria dell'Asia ma è naturalizzato e spontaneo nelle regioni mediterranee, con areale limitato alle coste mediterranee, coincidente con quello dell'*Olea europaea*. Ha un areale abbastanza vasto che si stende in tutta la fascia temperata calda che va dal Giappone al bacino del Mediterraneo. In Italia si trova allo stato spontaneo nella zona fitoclimatica del *Lauretum*, sia nelle aree litorali che all'interno fino ai 1000 metri d'altitudine soprattutto lungo i corsi d'acqua dove forma spesso un elemento comune e inconfondibile della vegetazione ripariale degli ambienti mediterranei, quasi sempre associato ad altre specie riparie quali l'ontano, la tamerice, l'agnocasto. Il suo Habitat preferenziale è quello degli ambienti sassosi, sabbiosi lungo il greto di torrenti e fiumi sulle pareti di rocce, generalmente di origine calcarea, da 0 a 500 m.

ANTESI



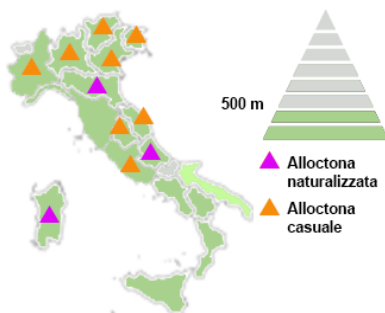
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: rimboschimento o imboschimento di pendii
Ufficinale: le foglie contengono principi naturali dalle proprietà astringenti
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

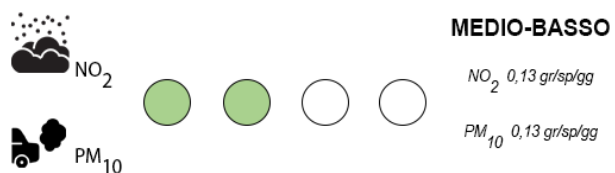
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001



Olea europaea - L. - Olivo (Oleaceae Hoffmanns. & Link)



DESCRIZIONE

E' un sempreverde e latifolia, la cui attività vegetativa è pressoché continua con attenuazione nel periodo invernale. Le foglie di questa pianta sono opposte, coriacee, semplici, intere, ellittico-lanceolate, con picciolo corto e margine intero. I fiori sono ermafroditi, piccoli, con calice di 4 sepalì e corolla di petali bianchi. Il frutto è una drupa globosa, ellissoidale o ovoidale, a volte asimmetrica, con un peso variabile tra 1 e 6 grammi.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie tipicamente termofila ed eliofila, predilige ambienti e climi secchi, aridi e asciutti ed è sensibile alle basse temperature. Questa specie vegeta nei terreni sciolti, grossolani o poco profondi, con rocciosità affiorante e fra gli alberi da frutto; è inoltre, una delle specie più tolleranti alla salinità e può essere coltivato anche in prossimità dei litorali dal livello del mare sino a 900 m s.l.m. Si presume sia originario dell'Asia Minore e della Siria, perché in questa regione l'olivo selvatico spontaneo è comunissimo, formando delle vere foreste sulla costa meridionale dell'Asia Minore. Furono però i Greci che presero cognizione di quest'albero a cui diedero il nome speciale di *Ααία* che i Latini tradussero in *olea*.

ANTESI



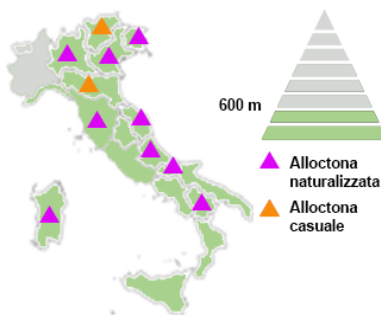
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Commestibile:** dai frutti produzione di olio con proprietà diuretiche e vasodilatatore
- Forestale:** rivestimento di scarpate e pendii ai fini produttivi e di consolidamento dei suoli
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi
- Schermante:** barriere frangivento

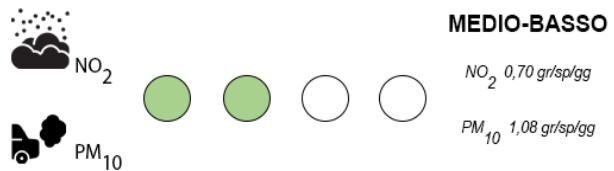
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,547



Ostrya carpinifolia - Scop. - Carpino nero (Betulaceae Gray)



DESCRIZIONE

E' un albero alto fino a 15 metri con chioma piramidale leggera e di colore verde chiaro, con palchi orizzontali. Ha foglie decidue, alterne, picciolate, con lamina ovata, apice acuminato e parte basale arrotondata, doppia seghettatura. Le infiorescenze maschili (amenti) sono lunghe fino a 10 cm mentre quelle femminili (spighe) sono più corte. Il frutto composto è un achenocono, costituito da 6-20 frutticini indeiscenti, in una struttura pendula simile ad un cono, di 3-8 cm.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una pianta originaria dell'Europa sud-orientale e si trova in un vasto areale che va dalla Francia meridionale, all'Italia, ai Balcani fino al medio Oriente ed al Caucaso. si tratta di un areale con centro attorno al Mar Nero (clima continentale steppico con inverni freddi, estati calde e precipitazioni sempre molto scarse). È una specie che presenta una elevata adattabilità ecologica, in Italia è presente, con circa 800.000 ettari, soprattutto in consociazione ai querceti di roverella e di cerro, nell'area prealpina centro-orientale e nell'area peninsulare (dall'Appennino settentrionale alla Calabria), con presenze sporadiche nelle isole maggiori e nell'isola d'Elba.

ANTESI



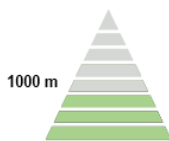
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Forestale:** rimboscimento o imboschimento di pendii e aree urbane o periurbane
- Ufficinale:** le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi
- Schermante:** barriere antirumore e antivento

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



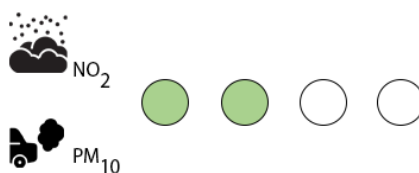
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-BASSO

0,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,10 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,05 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,021



Parrotia persica - L. - *Parrotia persica* (Hamamelidaceae)



DESCRIZIONE

Di grandi dimensioni, circa 10-15 m di altezza e 10 m di larghezza, il suo tronco può arrivare a superare il metro di diametro. Le foglie con margini ondulati di colore verde lucido che arrivano ad avere in autunno colori dal rosso al viola, dall'arancio al giallo. I fiori, simili a quelli dell'amamelide, ma di un bel rosso acceso, sono riuniti in mazzetti. Fioriscono già a fine febbraio e si aprono in un'ampia fioritura fino a marzo.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

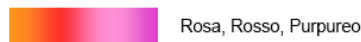
HABITAT

Appartenente alla famiglia delle *Hamamelidaceae*, cresce in estese foreste nel suo habitat d'origine quali essere Asia occidentale e Caucaso; specificatamente è originario dell'Iran settentrionale e dell'Arzerbaijan meridionale, ed è un autoctono in tali territori. La specie arrivò in Europa dopo una spedizione alpinistica avvenuta intorno al 1830 in Arzerbaijan. Cresce perfettamente su ogni tipo di terreno, compreso quello di tipo calcareo.

ANTESI



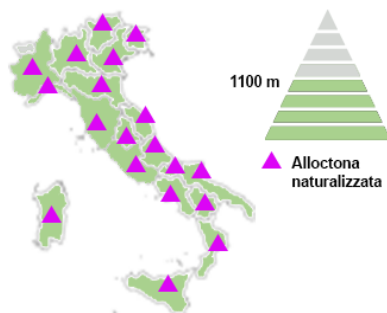
COLORE FIORE



UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi
Rimboscimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



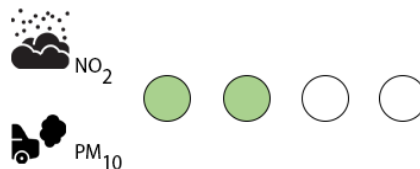
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-ALTO

1,20 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,30 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,05 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,034



Paulownia tomentosa - Thunb. - Paulownia (Paulowniaceae Nakai)



DESCRIZIONE

E' un albero che nei luoghi di origine raggiunge i 20 metri di altezza, con chioma espansa orizzontalmente. Le foglie sono decidue, semplici, con un picciolo lungo circa 10 cm e una grande lamina, lunga fino a 30-35 cm; sono ovate e acuminate all'apice, a volte a tre lobi poco incisi. I fiori sono profumati e di colorazione lilla, sono lunghi circa 6 cm e compaiono nel periodo tra maggio e giugno. I frutti sono delle capsule ovoidali deiscenti a maturità, che liberano dei semi alati, piccoli e nerastri che vengono trasportati dal vento.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
Asia orientale

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

HABITAT

E' una pianta originaria delle regioni centrali della Cina, successivamente introdotta in Europa nella prima metà del XIX secolo, per scopi ornamentale, dove si è presto diffusa nei parchi delle città. Oggi, oltre che in Cina, viene coltivata anche in USA, Israele, Australia ed anche in Italia. E' una pianta che non tollera i geli prolungati e tardivi e predilige una posizione soleggiata o a medio-sole, in suoli sciolti e ricchi di sostanza organica.

ANTESI



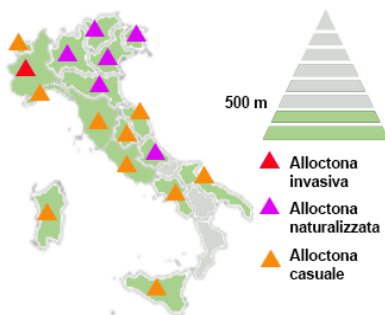
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Forestale:** imboscamento o rimboscamento a scopi produttivi
- Ufficinale:** le foglie e la corteccia contengono principi naturali per la produzione di farmaci omeopatici
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi
- Schermante:** barriere frangivento con alte capacità di cattura delle polveri

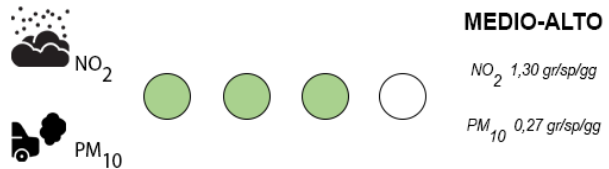
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,026



Phillyrea angustifolia - L. - Ilatro sottile (Oleaceae Hoffmanns. & Link)

DESCRIZIONE

E' una specie che si presenta in forma arborea o arbustiva e che può raggiungere l'altezza di 6-7 m, ha foglie semplici, opposte, sempreverdi, sottili e con meno nervature. I fiori sono raccolti in brevi grappoli ascellari e sono dioici, piccoli, di colore bianco, con 4 sepalì e 4 petali riuniti parzialmente in un breve tubo. Il frutto è una drupa ovoidale o subglobosa di 4-6,6 mm, con apice apicolato, blu-nerastra a maturità, che contiene in genere un solo seme, con endocarpo semilegnoso.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

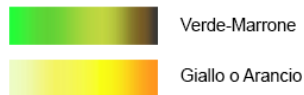
HABITAT

E' una specie tipica della macchia mediterranea dove vegeta soprattutto lungo la costa tirrenica sino a 600 m. di quota. Il suo habitat è caratterizzato dai terreni difficili, siccitosi, anche calcarei e soleggiati.

ANTESI



COLORE FIORE

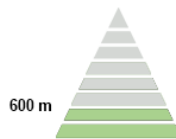


UTILIZZO

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

Rimboscimento: rivestimento di scarpate, spazi urbani e periurbani

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂**BASSO**

0,06 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE

**BASSO**NO₂ 0,03 gr/sp/ggPM₁₀ 0,02 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002

Phoenix canariensis - H. Wildpret - Palma delle Canarie (Arecaceae Bercht. & J. Presl)



DESCRIZIONE

Palma solitaria, foglie pennate, color verde cupo, di 4-5 m, con 80-100 segmenti su ciascun lato del rachide, infiorescenze portate da peduncoli che possono superare 1 m di lunghezza. Il frutto è una drupa ovale, lunga circa 2 cm e di diametro 1 cm, di colore dal giallo-arancione alla maturazione, contenente un grosso seme singolo; la polpa è commestibile.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

È endemica delle isole Canarie, dove vive principalmente ad altitudini comprese fra i 200 e i 500 m. È presente su tutte le isole dove viene impiegata per produrre il miele di palma, e forma i più grandi palmeti a La Gomera, Tenerife, e Gran Canaria. È molto popolare, come pianta ornamentale, nella gran parte delle regioni mediterranee e subtropicali del mondo, là dove le temperature non scendono al disotto dei -10/-12 °C. In Europa è coltivata su tutte le coste del Mar Mediterraneo, ma anche su quelle atlantiche, di Spagna, Portogallo, Francia, Inghilterra sudoccidentale. Vive anche in qualche zona dell'Europa centrale, in posizione molto riparata. Vi è abbondante presenza di questa specie di palme nelle regioni a clima miti d'Italia, divenendo in vari casi simboli cittadini.

ANTESI



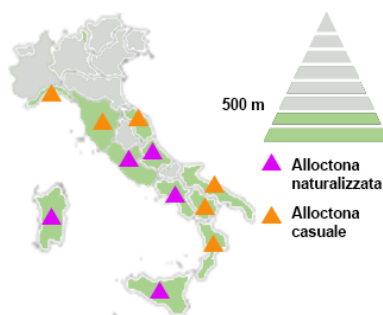
COLORE FIORE



UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

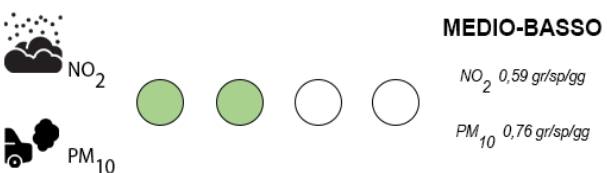
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001



Photinia serratifolia - (Desf.) Kalkman - Fotinia a foglie serrate (Rosaceae Juss.b.) 

DESCRIZIONE

E' una specie sempreverde, con fiori bianchi che emergono in primavera accompagnati da foglie di colore rosso e frutti rossi che crescono in autunno, le quali sono tossiche per la presenza di glicosidi cianogenici. Il fiore, che sboccia in primavera, dura tipicamente da una a due settimane. Produce un'elevata quantità di frutti di colore rosso brillante che sono piccoli pomes con diametri compresi tra 4 e 12 mm.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

Specie ottenuta dall'incrocio di *Photinia glabra* e *Photinia serrulata*, è eliofila, predilige terreni ben drenati e di media fertilità; ha una buona resistenza alle basse temperature (-10/-15 °C). E' originaria delle foreste miste di Cina, Taiwan, Giappone, Filippine, Indonesia e India.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: rivestimento e rimboschimento di scarpate e pendii

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



BASSO

0,04 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,23 gr/sp/gg



PM₁₀ 0,03 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001



Picea abies - (L.) H. Karst. - Abete rosso (Pinaceae F. Rudolphi)



DESCRIZIONE

E' una specie arborea che può raggiungere i 40 metri di altezza, con tronco diritto e chioma conica relativamente stretta, anche se il portamento può differenziarsi in base all'altitudine per via dell'elevato polimorfismo della specie. Le foglie (aghi) sono a sezione quadrangolare, lunghe fino a circa 2,5 cm, inserite su cuscinetti in rilievo posti tutti intorno al rametto, con tendenza a disporsi su un piano orizzontale. I fiori, che sono degli sporofilli, maturano nel periodo tra aprile e maggio. Gli strobili (pigne) sono di conformazione cilindrica e penduli.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie che caratterizza la fascia fitoclimatica del *Picetum* da cui prende il nome, però non è infrequente trovarlo anche, a diffusione naturale, nel *Fagetum* e nelle vallate fresche nella fascia propria del *Castanetum* anche a 300-400 m di quota nelle Alpi Orientali, nel Canton Ticino e Alpi Lombarde, dove l'alta nebulosità estiva, smorza la calura; In Italia è presente allo stato spontaneo sulle Alpi dalla Liguria (con un nucleo relitto in alta Val Tanarello) alle Alpi Giulie, ne sono conosciuti anche alcuni popolamenti relitti nell'Appennino Tosco-Emiliano, altrove il peccio è stato diffusamente coltivato per rimboschimenti. Nell'arco alpino l'abete rosso forma boschi di notevole estensione solo a partire dalla sezione nord-occidentale delle Alpi Marittime (Vallone del Boréon). Le peccete si estendono maggiormente nelle Alpi centrali ed orientali, dove questa specie approfitta di condizioni climatiche ideali, soprattutto estive, fattori climatici che nei settori alpini orientali appaiono maggiormente distribuiti.

ANTESI



COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

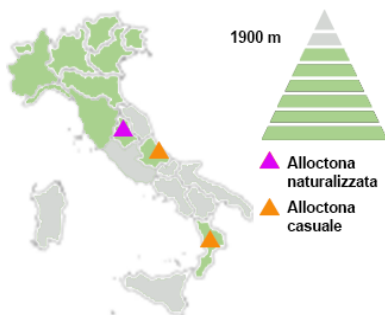
UTILIZZO

Artiginale: produzione di legno di buona qualità

Forestale: imboschimento o rimboschimento per il consolidamento dei pendii

Ufficinale: la resina per la produzione di olii essenziali dalle proprietà rinfrescanti

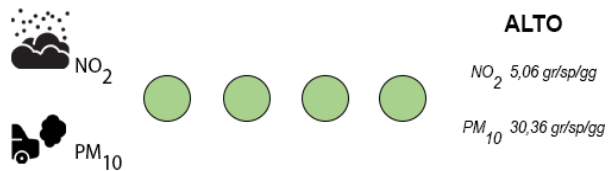
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,056



Pinus halepensis - Mill. - Pino d'Aleppo (Pinaceae F. Rudolphi)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 40 metri di altezza, con una chioma elegante e densa, dapprima piramidale e successivamente espansa irregolare ed a forma di ombrello. Le foglie sono aghiformi a coppia, lunghe fino a 12 cm, avvolte alla base da una guaina traslucida sottile e persistente, ma fragile, di consistenza molle ed a volte un po' attorcigliate longitudinalmente. I coni maschili sono situati alla base dei germogli e sono oblungi, numerosi, piccoli e di colore giallo; quelli femminili, molto numerosi, sono dapprima tondeggianti e poi conici, dopo tre anni, alla maturità, assumendo un colore bruno-rossastro traslucido, hanno un breve peduncolo rivolto verso il basso.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie originaria delle coste mediterranee, con estensione dalla Penisola Iberica e dal Marocco fino al Libano e alla Siria, lungo le coste d'Italia sono molto frequenti le pinete di Pino d'Aleppo ricche di macchia mediterranea. Si tratta di una specie termofila ed estremamente resistente alla siccità, occupa l'areale più meridionale dei tre pini mediterranei ed arriva a nord fino alla Francia meridionale, Italia centro-meridionale, Croazia (Istria e Dalmazia), regioni costiere del Montenegro e dell'Albania. Particolarmente frequente in Spagna e Grecia, si trova anche in Marocco, Libia e nei Paesi del Vicino oriente come Siria (da cui il nome Aleppo), Giordania e Israele.

ANTESI



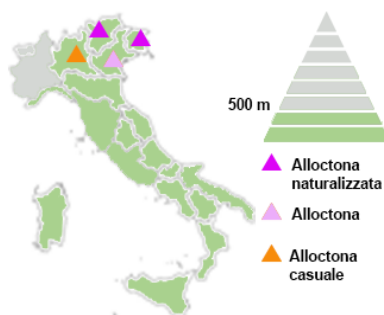
COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Forestale: imboscamento o rimboscamento di pendii

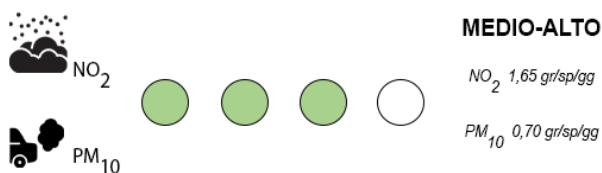
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,234



Pinus nigra - J.F. Arnold - Pino nero (Pinaceae F. Rudolphi)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 40 m di altezza con chioma piramidale. Le foglie sono degli aghi a coppie, più o meno rigidi, lunghi 4-19 cm e spessi 1-2 mm, di colore verde scuro, acuti e pungenti. Presenta dei coni maschili gialli, a volte punteggiati di rosso, numerosi alla base dei giovani getti; i cono femminili sono sessili, prima ovoidali poi ovato-conici e lunghi non più di 8 cm, opachi, verdi da acerbi, quindi assumono una tonalità bruno ocra.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' un albero presente esclusivamente nelle regioni montuose mediterranee e con un areale estremamente frammentato in quanto si tratta di una specie relictiva pioniera. L'areale è comunque tra il Nordafrica e l'Anatolia; diffuso dalla Spagna alla Crimea, si trova anche in Asia minore (Cipro, Anatolia) e sulle montagne dell'Africa settentrionale. In Italia crea dei boschi più o meno puri ma è anche associato ad altri alberi come il Pino silvestre, il Pino mugo, il Pino marittimo, l'Abete rosso e bianco. È una specie molto variabile e se ne riconoscono almeno cinque sottospecie geografiche. Le tre sottospecie italiane, si differenziano anche dal punto di vista altimetrico: la ssp. calabrica, la ssp. italica è anche nota come il Pino di Villetta Barrea e la ssp. austriaca rinvenuta in Veneto ed in Friuli. E' inoltre una specie pioniera, eliofila, frugale, resiste alla siccità del terreno; particolare interessante è la sua capacità di miglioramento delle condizioni di fertilità dei terreni degradati.

ANTESI



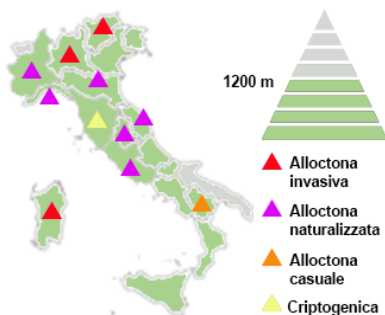
COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Forestale: imboscamento o rimboscamento di pendii
Ufficinale: le foglie presenta principi naturali fitoterapeutici

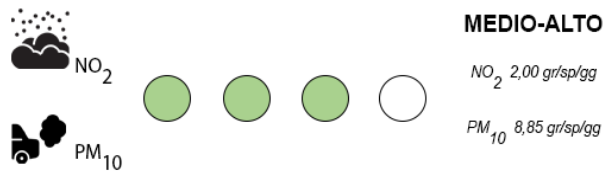
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,063



Pinus pinaster - Aiton - Pino marittimo (Pinaceae F. Rudolphi)



DESCRIZIONE

E' una specie arborea che può raggiungere i 35 metri di altezza, con chioma inizialmente conica e regolare e poi espansa fino a raggiungere una forma irregolarmente a cupola o quasi ombrelliforme. Il tronco dapprima è diritto ma poi tende a crescere obliquamente. Ha foglie persistenti, aghiformi, appaiate con una guaina alla base, con colore verde chiaro rigidi, appuntiti, di 15-20 cm. I fiori, o meglio sporofilli, maturano nel periodo di aprile-maggio, le pigne che si sviluppano dalla fecondazione delle infiorescenze femminili sono coniche e affusolate di 15-20 cm, color nocciola e che maturano nel 2° anno.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

Trova il suo ambiente ideale vicino alle coste del Mar Mediterraneo oppure vicino ad altri mari ed originario delle zone coste che vanno dal Mediterraneo all'Atlantico. Il suo habitat tipico è nei boschi sulle coste sabbiose del Mediterraneo occidentale (mediterraneo-atlantico), con una concentrazione maggiore nella Penisola iberica compresa la costa portoghese risalendo lungo la costa sudoccidentale della Francia. È una specie sensibile al gelo e può formare boschi misti col *Pinus sylvestris*, con il *Quercus ilex* o con *Pinus nigra*. Predilige terreni silicei anche con reazione acida ma si adatta anche a terreni sub-alcalini o alcalini.

ANTESI



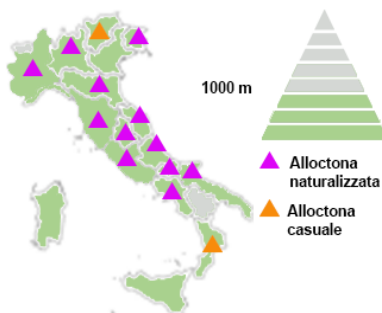
COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Forestale: imboschimento o rimboschimento di pendii

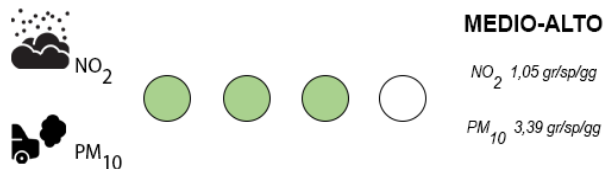
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,141



Pinus pinea - L. - Pino domestico (Pinaceae F. Rudolphi)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 30 metri di altezza , le foglie sono degli aghi lunghi da 12 a 15 cm, rigidi, di colore verde vivo, pungenti all'apice che alla base sono avvolti da una guaina trasparente e persistente. I coni maschili sono numerosi, piccoli, gialli alla base dei rametti dell'anno; quelli femminili sono prima piccoli e tondeggianti, poi globosi e pesanti del diametro di 10-12 cm, prima verdi, poi rosso-bruni a maturità (dopo te anni). Le squame legnose contengono ciascuna due semi dal guscio legnoso (pinoli).

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie arborea originaria delle coste del Mediterraneo, largamente diffuso in Italia (dal *Lauretum* alla sottozona calda del *Castanetum*). Questa ha un areale originario che si trovava probabilmente in Corsica e Sardegna, ma è stato coltivato da quasi 6000 anni per i semi che sono anche diventati merce di scambio. Forma boschi litoranei dette pinete, dove vive in associazione con altre piante della macchia mediterranea. Predilige terreni rocciosi vulcanici a reazione acida ed anche scogliere in zone litoranee o interne. In Italia è coltivato ovunque, ad eccezione delle zone montuose. Si è inoltre naturalizzato in Africa meridionale, dov'è considerato invasivo, e piantato comunemente in California, Australia e Europa occidentale, fino alla Scozia meridionale.

ANTESI



COLORE FIORE

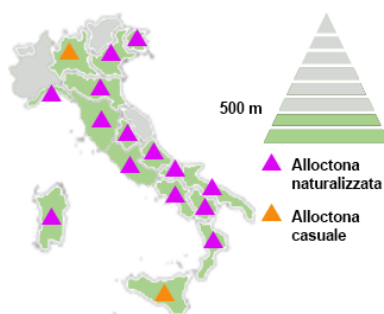
Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii e aree periurbane

Officinale: il frutto e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà aromatiche

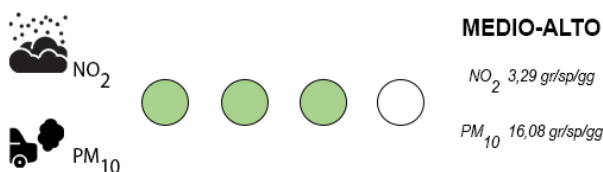
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,727



Pistacia lentiscus - L. - Lentisco (Anacardiaceae R. Br.)

DESCRIZIONE

E' una pianta con portamento cespuglioso, raramente arboreo, in genere fino a 3-4 metri d'altezza. Possiede delle foglie alterne, paripennate, glabre, di colore verde cupo, i fiori sono attinomorfi, pentameri, tetraciclici, in pannocchie cilindriche brevi e dense disposte all'ascella delle foglie dei rametti dell'anno precedente. Il frutto del è una drupa globosa o lenticolare, di diametro 4-5 mm, carmosa, rossastra, tendente al nero a maturità, contenente un unico seme.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una pianta tipica delle coste meridionali atlantiche e mediterranee, è una entità mediterranea in senso stretto e quindi con areale limitato alle coste mediterranee e pertanto all' area dell'Olivo. È una pianta eliofila, termofila e xerofila che vegeta dal livello del mare fino ai 600 metri, è un componente della macchia mediterranea sempreverde spesso in associazione con l'olivastro, la fillirea e il mirto; molto adattabile per il terreno cresce meglio però sui suoli silicei. La zona fitoclimatica di vegetazione è il *Lauretum*, in Italia è diffuso in Liguria, nella penisola e nelle isole, sul versante adriatico occidentale non si spinge oltre Ancona. In quello orientale risale molto più a Nord, arrivando a tutta la costa dell'Istria. È uno degli arbusti più diffusi e rappresentativi dell'*Oleo-ceratonion*, spesso in associazione con l'olivastro e il mirto. Grazie alla sua frugalità e ad una discreta resistenza agli incendi è piuttosto frequente anche nei pascoli cespugliati e nelle aree più degradate residue della macchia.

ANTESI



COLORE FIORE



Giallo o Arancio

Rosa, Rosso, Puro

UTILIZZO

Forestale: rimboscimento o imboschimento di pendii a seguito di incendio in quanto miglioratrice del terreno

Officinale: la resina generata, con altre sostanze naturali, concorre a ridurre infezioni all'apparato digerente

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



600 m



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-BASSO

0,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE

NO₂

MEDIO-BASSO

NO₂ 0,38 gr/sp/ggPM₁₀PM₁₀ 0,41 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,016



Pittosporum tobira - (Thunb.) W.T. Aiton - Pittosporo (Pittosporaceae R. Br.)



DESCRIZIONE

Arbusto o piccolo albero di 2-6 m, molto ramificato, a chioma arrotondata e compatta, espansa negli esemplari più vecchi; rametti giovani grigio-pubescenti. Foglie intere, coriacee e persistenti, senza stipole, spirali o disposte in pseudovercicilli all'apice dei rametti giovani. Infiorescenze in brevi cime corimbiformi terminali multiflori su pedicelli pubescenti di 10-15 mm. Il frutto è una capsula globosa pubescente, legnosa e giallo-verdastra a maturità, deiscente per 3 valve.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

Comunemente coltivata come ornamentale nei parchi, giardini e per formare siepi e bordure in quanto tollera molto bene le potature; specie rustica, ma preferisce terreni fertili ben drenati e alcalini, da 0 a 200 m s.l.m. In Italia risulta di tipo Neofita naturalizzata in gran parte delle regioni, isole maggiori comprese.

ANTESI



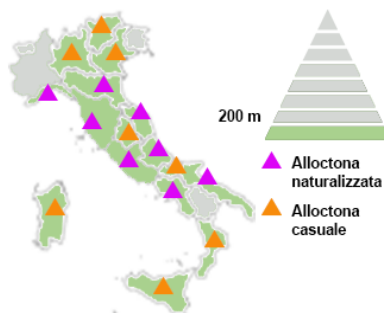
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di aree periurbane

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



BASSO

0,02 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



BASSO

NO₂ 0,02 gr/sp/gg



PM₁₀ 0,01 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001



Platanus orientalis - L. - Platano orientale (Platanaceae T. Lestib.)

DESCRIZIONE

E' una pianta che può raggiungere un'altezza di 30 metri, con tronco molto rastremato e con diametri notevoli. Le foglie sono caduche, alterne, con un lungo picciolo di 4-10 cm, palmato-lobate. I fiori sono molto piccoli riuniti in grappoli separati, con quelli maschili di colore giallo ed i femminili di colore rossastro. I frutti sono penduli con un unico peduncolo che ne unisce fino a 6, sono densi e di colore marrone.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

E' una pianta originaria del mediterraneo orientale, con una distribuzione che va dall'Italia meridionale ai Balcani meridionali da una parte, passando per l'Anatolia e spingendosi fino in Afghanistan e ai contrafforti occidentali dell'Himalaya mentre dall'altra scende fino alla regione palestinese. Per quanto riguarda l'Italia, è spontaneo da tempo immemorabile in Sicilia e nell'Italia meridionale, dove peraltro la sua presenza è in contrazione. Il suo habitat è rappresentato dalla zona che va dal *Lauretum* al *Castanetum*, dove vive in aree luminose e preferibilmente in terreni alluvionali ed in prossimità dei corsi d'acqua.

ANTESI



COLORE FIORE



Verde-Marrone

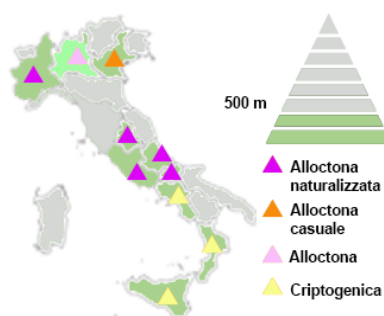


Rosa, Rosso, Purpureo

UTILIZZO

Forestale: imboscamento o rimboscimento di pendii e spazi periurbani per il rapido accrescimento

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-ALTO

1,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



ALTO

NO₂ 14,40 gr/sp/ggPM₁₀ 1,88 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,045



Platanus hispanica - Mill. ex Münchh. - Platano comune (Platanaceae T. Lestib.)  

DESCRIZIONE

E' un grande albero deciduo che può raggiungere i 20-30 metri di altezza nella norma e che eccezionalmente raggiunge anche i 40 metri, con un tronco di 3 metri e più di circonferenza. Le foglie sono palmate a lobi e rimandano (come suggerisce lo stesso nome) a quelle dell'acero. I fiori si concentrano in due infiorescenze dense e sferiche, separate tra maschi e femmine. I frutti maturano in sei mesi, presentano 2-3 cm di diametro e sono composti da un'achenio con numerosi peli che ne aiutano la dispersione aerea.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

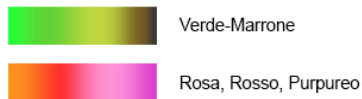
HABITAT

La specie si è formata da una ibridazione del XVII secolo tra il *P. orientalis* ed il *P. occidentalis*, piantumati uno in prossimità dell'altro. Questa ibridazione ebbe origine in Spagna, mentre secondo altre fonti essa sarebbe avvenuta nei Vauxhall Gardens di Londra dove John Tradescant il Giovane scoprì la pianta a metà del XVII secolo. E' particolarmente resistente sia all'inquinamento che alla compressione delle radici, motivo per cui esso divenne particolarmente popolare nelle grandi città inglesi di epoca vittoriana. Tollera infatti molto meglio il freddo rispetto al *P. orientalis* ed è molto meno suscettibile all'antracnosi rispetto al *P. occidentalis*.

ANTESI



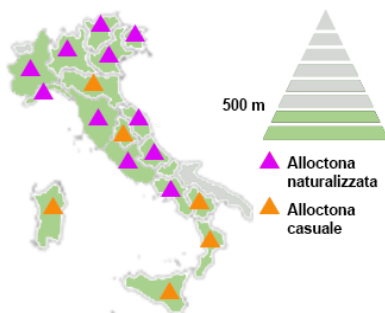
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii, spazi urbani e periurbani per l'elevata capacità di assorbimento di inquinanti atmosferici

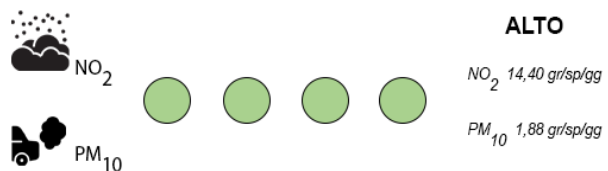
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,045



Populus canescens - Aiton - Pioppo canescente (Salicaceae Mirb.)**DESCRIZIONE**

Albero di prima grandezza dioico, a foglie decidue che a seconda delle condizioni ecologiche ed edafiche può raggiungere altezze da 20 a 50 m, gemme conico-ovoidali, rigonfie ad apice da \pm acuto a bruscamente acuto quindi ovoidi-affusolate-subacute. Foglie turionali, lamina 6-8 cm, triangolare-arrotondata od ovato-romboidea, mai palmata-aceriforme o deltoidea. Fiori amentati (gattici) semplici, mollemente penduli, cilindrici-caudati, mai incurvati, localizzati all'apice dei rami e lungo i nodi. Brattee lunghe 3-4 mm, lunghe quanto larghe, concoidee-uchiwiformi.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

Nonostante la notevole distribuzione regionale, questo taxon è raro. La ragione principale della mancanza di ibridazione di massa è considerata la differenza nelle date di fioritura di *Populus alba* L. e *Populus tremula* L.. È un elemento essenziale delle foreste della pianura alluvionale eurasiatica ed offre un notevole contributo alla conservazione della biodiversità in questo habitat. Copre l'Europa occidentale, la parte europea della Russia, la Crimea, il Caucaso, la penisola balcanica e l'Asia minore. Concorre con boschi alluvionali e ripariali misti meso-igrofilii, aree di pertinenza lacustre, paludi ed acquitrini, con suoli impermeabili o insufficientemente drenati, nei quali le acque piovane o i corsi d'acqua, (femi o debolmente fluenti), alimentano bacini di raccolta.

ANTESI**COLORE FIORE**

Pianta vascolare con fiori e semi (Angiospermae). Fiore senza perianzio

UTILIZZO

Rimboschimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi per le buone capacità di mitigazione ambientale

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE**ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2****ALTO**

3,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARENO₂**ALTO**NO₂ 9,20 gr/sp/ggPM₁₀PM₁₀ 0,25 gr/sp/gg**INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO****TS 0,133**

Populus nigra - L. - Pioppo nero (Salicaceae Mirb.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 30 metri di altezza con chioma stretta ovoidale o più stretta in funzione anche delle varietà. Le foglie sono decidue, semplici, triangolari-romboidali e con picciolo lungo e margine dentellato. Si tratta di una pianta dioica, con infiorescenze maschili riunite in amenti di 5-9 cm, di colore rossastro ed infiorescenze femminili riunite in amenti esili lunghi anche 12 cm di colore giallo-verde. I frutti sono delle capsule ovoidali che giunte a maturazione liberano dei semi piumosi.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie originaria dell'Europa, del Nord Africa e dell'Asia occidentale, in Italia questa pianta è molto diffusa in pianura ed in collina specialmente al nord e al centro. Il suo habitat è rappresentato spesso dalla rive dei corsi d'acqua. La pianta resiste bene al freddo ed al vento, è molto resistente all'inquinamento ed è per questo molto utilizzata per alberature stradali ma la si trova anche in modo spontaneo lungo le rive dei fossi o in zone alluvionali. Dal punto di vista pedologico preferiscono terreni ricchi in materia organica, leggeri e ben drenati, difficilmente si adattano a terreni inconsistenti e sterili; in natura prediligono le zone umide, vicino a fiumi e torrenti, poiché non tollerano le siccità di lunga durata.

ANTESI



COLORE FIORE

Pianta vascolare con fiori e semi (Angiospermae). Fiore senza perianzio

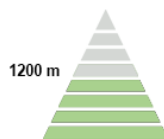
UTILIZZO

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà terapeutiche

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

Rimboscimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi per le buone capacità di mitigazione ambientale

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-BASSO

0,20 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,24 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,02 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,008



Prunus avium - L. - Ciliegio selvatico (Rosaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' una delle latifoglie nobili dei nostri boschi, è un albero medio, deciduo ed a rapido accrescimento. Le foglie sui rametti di accrescimento sono spiralate, alterne, semplici, penninervie, lunghe 5-15 cm, con margine serrato e con le nervature secondarie che si riuniscono prima di arrivare al margine. I fiori, che sono riuniti in ombrelle, sono ermafroditi, lungamente pedunculati, con calice verde e glabro, composto da 5 sepali che si piegano all'indietro. I frutti sono drupe tonde di circa 1 cm.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' presente in Europa, nord ovest dell'Africa, e a ovest in Asia, dalle Isole Britanniche a sud fino in Marocco e Tunisia (nelle zone più fredde della catena montuosa dell'Atlante), a nord fino a Trondheimsfjord (Norvegia) e in Svezia, Polonia, Ucraina, nel Caucaso, a nord dell'Iran e con una piccola popolazione nell'ovest dell'Himalaya. È una specie forestale poco abbondante e non è adatto come specie pioniera; è eliofila, rustica, plastica che si adatta anche a suoli carbonatici e molto resistente alle basse temperature; lo possiamo trovare sporadico o a piccoli gruppi nei querceti a Roverella e Cerro e negli Orno-Ostreti, sia al centro che al sud, nelle radure che colonizza molto facilmente, nel bosco misto caducifoglio ai margini delle faggete anche con *Abies alba*, ma soprattutto con *Acer pseudoplatanus*, *Ulmus glabra*, *Quercus petraea*.

ANTESI



COLORE FIORE



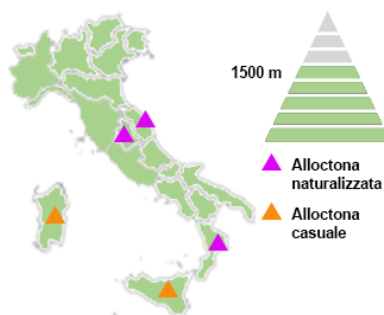
UTILIZZO

Commestibile: i frutti per marmellate e numerose pietanze

Forestale: imboscamento o rimboscimento a scopo produttivo

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

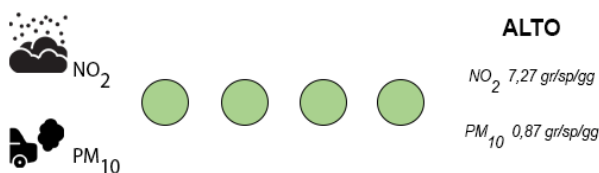
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,063



Prunus cerasifera - Ehrh. - Mirabolano (Rosaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere la dimensione di 8 metri, con fusto eretto, a volte contorto così come le sue ramificazioni, diviso e ramificato fin dalla base o in alto. Le foglie, lunghe 6-7 cm, sono decidue semplici a lamina ovoidale-ellittica con il margine seghettato. I fiori sono solitari, che si sviluppano in marzo-aprile su peduncoli di 1 centimetro, sono larghi più di 2 cm, con petali bianchi e rosei in alcune cultivar. Il frutto è una piccola drupa sferica, larga fino a 3 cm, di colore rosso o giallo roseo a maturità, dolce e succulenta.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

E' un albero con origini nell'area del Caucaso e dell'Asia occidentale, è stata introdotta in Europa in epoca preromana. È una specie archeofita naturalizzata, propria della boscaglia mesofila di latifoglie che si adatta indifferente al substrato, purché sia ben drenato; cresce dal piano sino a 600 m s.l.m.. E' un albero rustico, con bassa necessità di irrigazioni, resistente a molti parassiti e che non teme il freddo, resiste alle alte temperature ed è adattabile a diversi suoli.

ANTESI



COLORE FIORE

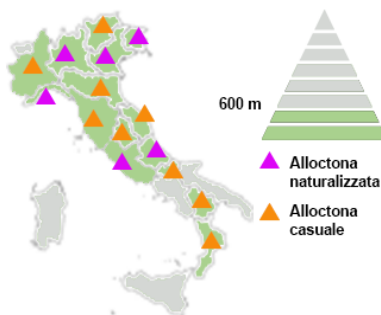


UTILIZZO

Commestibile: i frutti per la produzione di marmellate

Forestale: imboschimento o rimboschimento di aree periurbane a fini produttivi

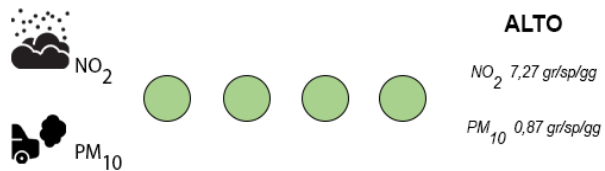
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,045



Prunus cerasus - L. - Amareno (Rosaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero di piccole dimensioni o arbusto stolonifero, alto fino a 6-10 m. Ha foglie alterne, sparse lungo i rametti, con un lungo picciolo quasi sempre sprovvisto di ghiandole, di color verde lucente e leggermente coriacee. I fiori hanno un diametro di 2-3 cm, ermafroditi, raccolti in corimbi peduncolati pauciflori di 2-4 elementi, portati da brachiblasti fogliosi. I frutti sono delle drupe globose, di 20-35 mm, glabre, non pruinose, appiattite alla base.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

Dovrebbe avere una origine (ad oggi incerta) intorno al Mar Nero. Per alcuni autori provrebbe dall'Asia occidentale, dall'Europa dell'est o dal Medio Oriente, dalle regioni dell'Armenia e del Caucaso, altri lo considerano endemico dell'Europa centro-orientale, in quanto numerosi semi di ciliegio sono stati rinvenuti in siti preistorici centro-europei. In Italia è presente in quasi tutte le regioni, è una specie coltivata ma talvolta inselvatichita in radure o boschi cedui radi, è presente dal piano sino a 500 m s.l.m.

ANTESI



COLORE FIORE



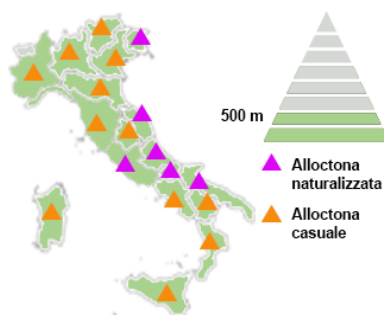
UTILIZZO

Commestibile: i frutti per la produzione di marmellate, sciroppi e liquori

Forestale: rimboschimento o imboschimento a fini produttivi

Ufficinale: i frutti contengono principi naturali dalle proprietà diuretiche e drenanti

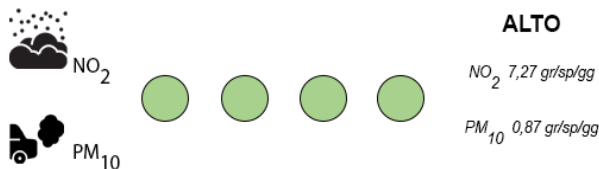
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,045



Prunus laurocerasus - L. - Lauroceraso (Rosaceae Juss.)



DESCRIZIONE

È un arbusto o albero di media altezza, che può raggiungere i 7 metri (max 15 m) di altezza. Le foglie sono verde scuro, molto più chiare e lucide quando giovani; spesse (1-1,5 mm) e coriacee; di forma oblunga, tondeggianti verso l'apice, lievemente seghettate verso l'esterno. I fiori sono bianchi, ermafroditi, disposti a racemo, dall'odore profumato, ma acido. I frutti sono drupe (1 cm ca.) rosse/viola quando acerbe, e nero-bluastre una volta raggiunta la maturazione.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
Asia occidentale

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

HABITAT

È originario dell'Asia minore e dell'Europa orientale ed è stato importato in Italia durante il secolo XVI. Predilige un terreno neutro (pH non superiore a 7.5) e umido, è presente in una altitudine non superiore ai 300 metri (ideali) o 600 metri (effettivi), predilige una zona soleggiata per almeno una parte del giorno ed è abbastanza resistente al freddo ed alle malattie.

ANTESI



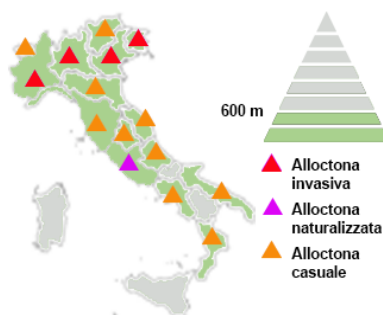
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscamento o rimboscimento di aree periurbane a scopi produttivi
Ufficinale: i frutti contengono principi naturali dalle proprietà drenanti
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

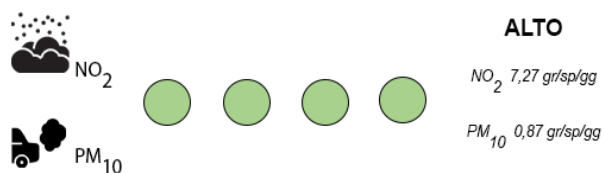
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,042



Prunus spinosa - L. - Pruno selvatico (Rosaceae Juss.)



DESCRIZIONE

Arbusto caducifoglio alto sino a 3 m, fusto a rami intricati di color bruno nerastro scuro, molto spinoso, foglie piccole, finemente dentate, color verde smorto, glabre sulla pagina superiore. Fiori ermafroditi, pedunculati, nascono isolati o raggruppati a piccoli mazzetti, hanno un calice lanceolato intero. I fiori che precedono le foglie, compaiono a febbraio-marzo. I frutti sono delle drupe sferiche di colore blu, coperti da una patina chiara detta pruina.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie rustica che si adatta a terreni poveri e sassosi, lo si può trovare lungo le strade, negli incolti e al limitare dei boschi. È fra i primi ad insediarsi nei terreni abbandonati, in Italia è pianta comune e vegeta fino a 1600 m s.l.m.

ANTESI



COLORE FIORE



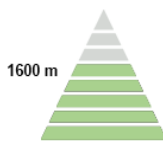
UTILIZZO

Commestibile: i frutti per la produzione di marmellate

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii, spazi urbani e periurbani

Ufficinale: i frutti contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



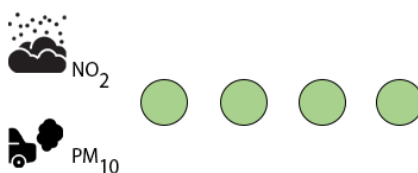
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-ALTO

1,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



ALTO

NO₂ 7,27 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,87 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,063



Punica granatum - L. - Melograno (Lythraceae J. St.-Hil.)

DESCRIZIONE

E' una specie arborea di piccola o media taglia, la quale presenta come frutto una bacca carnosa, denominata balausta, con buccia spessa, complesso, incluso nel tallo, con varie cavità polispermali separate da membrane. All'interno sono contenuti molti semi carnosì e succosi, di forma prismatica, con testa polposa e tegumento legnoso. Il frutto maturo è giallo-verde, con aree rossastre che occasionalmente occupano l'intera superficie.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie originaria dell'Asia sud-occidentale, in Asia è ampiamente coltivato nel Caucaso in Armenia, Azerbaigian, Iran, Afghanistan, Turchia, Israele, e nelle parti più aride del Sud-Est Asiatico, dall'Arabia al Pakistan, India, Malaysia, Indonesia; è inoltre coltivato nelle regioni aride dell'Africa tropicale. Nel Mediterraneo è presente da epoche remote ed è stato diffuso sia dai Fenici, dai Greci, dai Romani e in seguito dagli Arabi. La sua introduzione nell'America latina fu dovuta ai colonizzatori spagnoli nel 1769, attualmente è ampiamente coltivato in Messico, in California e in Arizona.

ANTESI



COLORE FIORE



Rosa, Rosso, Purpureo

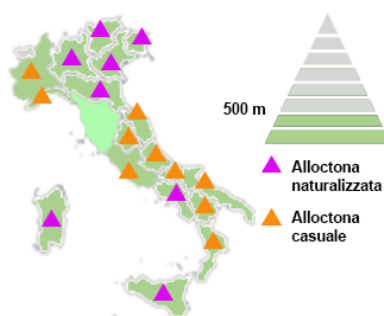
UTILIZZO

Commestibile: i frutti per marmellate, liquori e sciroppi

Forestale: imboscamento o rimboscamento a scopo produttivo

Ufficinale: i frutti contengono principi naturali dalle proprietà ringrescanti

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-BASSO

0,20 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,55 gr/sp/ggPM₁₀ 0,07 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,006



Pyrus communis - L. - Pero comune (Rosaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero che da giovane, presenta un fusto con corteccia bruna e una chioma a sviluppo piramidale. Ha un'altezza massima di 15-20 metri, con chioma di 7-8 metri di diametro, con foglie decidue, ovali con apice acuminato, lucide e con la pagina inferiore più chiara di quella superiore. I fiori sono ermafroditi, hanno 4 petali bianchi o rosati e sono raggruppati in corimbi di 4-12 fiori. Il frutto vero e proprio è il torsolo della pera che contiene, solitamente, 10 semi.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie originaria delle zone centrali ed orientali d'Europa, e delle aree sud-occidentali dell'Asia, prospera negli ambienti temperati ed umidi ed è in grado di adattarsi a situazioni opposte di clima. È la specie di *Pyrus* comunemente coltivata in Europa per la produzione delle comuni pere.

ANTESI



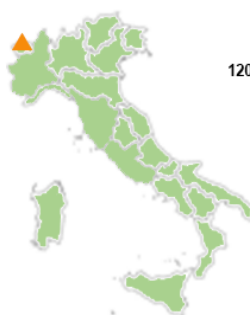
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Commestibile:** il frutto per la produzione di liquori, marmellate, sciroppi
- Forestale:** imboschimento o rimboschimento di aree periurbane a scopi produttivi
- Ufficinale:** il frutto contiene principi naturali dalle proprietà astringenti
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



Alloctona casuale



Alloctona casuale

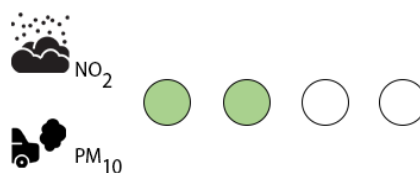
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-ALTO

1,00 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,85 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,09 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,039



Quercus cerris - L. - Cerro (Fagaceae Dumort.)

DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 35 metri di altezza, con una chioma ovale, allungata e mediamente compatta. Il tronco è diritto con corteccia dura, spugnosa, di colore grigio cenere e fessurata nelle piante adulte. Ha foglie caduche, di forma variabile, prima tomentose, poi opache e scabre nella parte superiore, pubescenti in quella inferiore, quasi coriacee. Le ghiande sono grandi circa 2,5 cm, poste sui rami dell'anno precedente, di colore bruno rossatro, con striature longitudinali.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

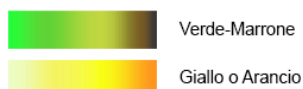
HABITAT

E' un albero originario dell'Europa sud-orientale e dell'Asia Minore. In Italia, lungo l'Appennino si trovano tra i più bei boschi di Cerro, l'areale di questa specie è diffuso nell'Europa meridionale. In Italia, oltre che nell'Appennino è molto frequente soprattutto nelle regioni centro-meridionali, dal piano sub-montano a quello sub-mediterraneo, mentre manca in Sardegna; nella gran parte dei querceti collinari e montani dell'Appennino Settentrionale e Centrale sono invece cerrete. E' una specie xerofila che vegeta su terreni argillosi e compatti, anche calcarei, anche se l'*optimum* è rappresentato dai terreni di origine vulcanica, a pH sub acido, profondo e fresco.

ANTESI



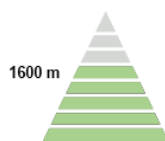
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii e aree pedemontane

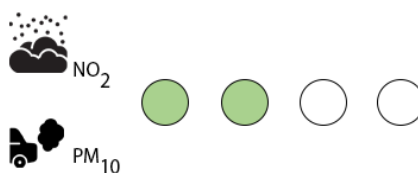
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-ALTO

2,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,91 gr/sp/ggPM₁₀ 0,09 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,094



Quercus ilex - L. - Leccio (Fagaceae Dumort.)



DESCRIZIONE

E' un albero sempreverde e latifoglie, con fusto raramente dritto, le foglie di questa specie sono semplici, a lamina coriacea a margine intero o dentato, molto variabile nella forma che va da lanceolata ad ellittica. I fiori maschili sono riuniti in amenti penduli, cilindrici e pubescenti, hanno perianzio con 6 lobi e 6-8 stami. I fiori femminili sono in spighe peduncolate composte da 6-7 fiori, ogni fiore ha perianzio esalobato e 3-4 stigmi. I frutti prendono il nome di ghiande (o lecce) e sono portate singole o in gruppi di 2-5.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

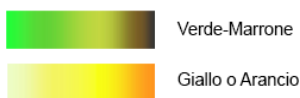
HABITAT

E' presente in tutto il bacino del Mediterraneo (con eccezione in Egitto); in Libia è stato probabilmente introdotto dall'uomo. Questa specie è comunque maggiormente diffusa nella parte occidentale, soprattutto in Algeria e Marocco, in tutta la penisola Iberica (dove costituisce uno dei componenti principali della dehesa), nella Francia mediterranea e in Italia, dove forma dei boschi puri anche di notevoli dimensioni. Nel settore orientale, a partire dai Balcani, invece, si trova in boschi misti ad altre essenze forestali, spesso ben distanti tra loro, e solo in stazioni con un'adeguata umidità. Si trova, sempre consociato, anche lungo le coste turche del Mar Nero. In Italia, il leccio, è diffuso soprattutto nelle isole e lungo le coste liguri, tirreniche e ioniche. Sul versante adriatico le popolazioni sono più sporadiche e disgiunte (tranne che in Puglia, Abruzzo e Marche). E' uno dei rappresentanti più tipici e importanti dei querceti sempreverdi mediterranei, ed è il rappresentante caratteristico del *Quercetum ilicis*.

ANTESI



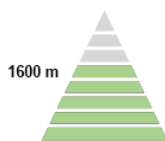
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscamento o rimboscimento di pendii, spazi urbani e periurbani
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



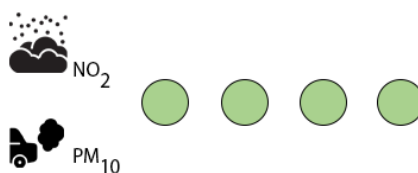
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-ALTO

1,80 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



ALTO

NO₂ 8,19 gr/sp/gg

PM₁₀ 12,58 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,070



Quercus pubescens - Willd. - Quercia pubescente (Fagaceae Dumort.)

DESCRIZIONE

È un albero che non supera i 20 metri di altezza e dalla caratteristica molto pollonifera. Il tronco è contorto, corto, con branche sinuose e rami sottili, con una corteccia grigio-brunstra, molto rugosa e fessurata. Le foglie sono decidue e semplici, con lamina ovoidale allungata, lobata a lobi arrotondati. È una pianta monoica che porta fiori unisessuali; il frutto è una ghianda con pericarpio ovoide, di colore bruno lucido a maturità.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

È una pianta originaria dell'Europa meridionale e dell'Asia Minore con una distribuzione vasta nel bacino del Mediterraneo. In Italia è la quercia più comune ed è presente ovunque, solo con esclusione delle zone più interne e più elevate, soprattutto nelle località più assolate, nei versanti esposti a sud ad un'altitudine compresa tra il livello del mare e i 1000 m s.l.m., dove forma boschi puri o misti, d'alto fusto o cedui. Cresce su suoli di diverso tipo, rifuggendo solo da quelli puramente argillosi, anche se spesso domina sulle formazioni calcaree.

ANTESI



COLORE FIORE

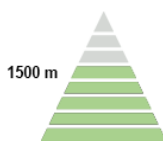


UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii, spazi urbani e periurbani

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-ALTO

2,40 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,91 gr/sp/ggPM₁₀ 0,09 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,094



Quercus suber - L. - Quercia da sughero (Fagaceae Dumort.)



DESCRIZIONE

E' una quercia sempreverde che può raggiungere i 20 metri d'altezza, con chioma di colore verde-grigiastro. Le foglie sono semipersistenti, semplici a lamina coriacea, ovoidali, con margine dentato e spinoso. I fiori maschili sono sessili con un perianzio diviso in 5-8 lobi e 5-6 stami riuniti in amenti lunghi 4-7 cm e pedunculati, compaiono in cima ai rami dell'anno precedente. Le ghiande hanno forma ovoidale e sono lunghe 2-3 cm e cupola con squame in rilievo.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

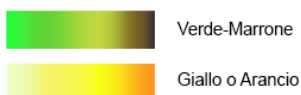
HABITAT

E' una pianta originaria del bacino del Mediterraneo, in un'area tra l'Europa sud-occidentale e l'Africa nord-occidentale; è una specie naturalizzata da tempi remoti e spontanea in tutto il bacino occidentale del mar Mediterraneo, in Italia si trovano sugherete in Sicilia, Lazio, bassa Toscana e soprattutto in Sardegna.

ANTESI



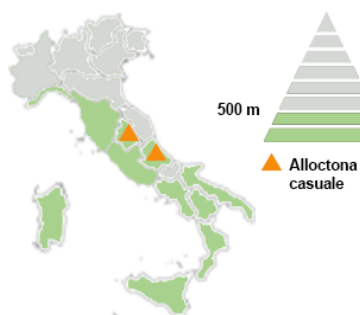
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii e aree periurbane a scopo ambientale e produttivo

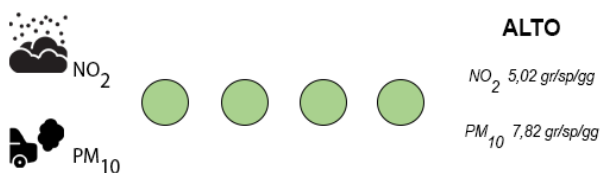
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS 0,070



Rhamnus alaternus - L. - Alaterno (Rhamnaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' un arbusto che si può sviluppare fino 5 m di altezza. Le foglie sono alterne, di 2-5 cm, a volte quasi opposte, di forma ovale o lanceolata, di consistenza coriacea, di colore verde lucido nella pagina superiore e verde-giallastre in quella inferiore. I fiori sono dioici piccoli e raccolti in un corto racemo ascellare di colorazione giallo-verdastro, con petali isolati o assenti, stili fessurati in 2-4 parti. Il frutto, di 4-6 mm, è una drupa obovoidale, di colore rosso-brunastro.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie arbustiva sempreverde tipica della macchia mediterranea e delle garighe delle regioni a clima mediterraneo che cresce dal livello del mare fino ai 500 m di altitudine. Questa pianta è diffusa dalla Spagna alla Crimea, all'Asia Minore e all'Africa settentrionale dove cresce anche in terreni aridi, calcarei e pietrosi.

ANTESI



COLORE FIORE



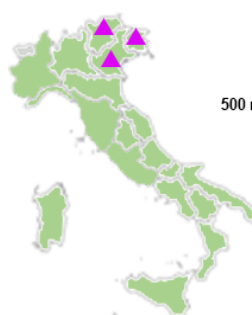
Verde-Marrone

UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii, spazi urbani e periurbani

Ufficinale: il miele prodotto contiene principi naturali dalle proprietà antiarterosclerotica ed antiossidante

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂**BASSO**

0,06 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE

**MEDIO-BASSO**NO₂ 0,43 gr/sp/ggPM₁₀ 0,30 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002

Robinia pseudoacacia - L. - Robinia (Fabaceae Lindl.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 25 m di altezza, con chioma slanciata ed eterogenea, spesso irregolare, di colore verde opaco. Le foglie sono decidue, alterne, lunghe fino a 30 cm, composte, imparipennate, formate da 13-15 segmenti ellittici, arrotondati all'apice, lunghi fino a 4 cm, un po' più chiari sotto. La pianta fiorisce nel periodo di maggio con fiori dal colore bianco e molto profumati; questi sono numerosi, riuniti in racemi penduli lunghi fino a 25 cm. Il frutto è un tipico legume, di colore nerastro, appiattito, lungo 5-10 cm, persistente sull'albero.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

HABITAT

E' una pianta originaria degli Stati Uniti centrorientali (regione dei Monti Allegheny), dove il suo habitat caratteristico è quello dei boschi mesofili misti di latifoglie. La specie fu introdotta in Europa nel XVII secolo dove ha dato origine a ecotipi differenti in grado di colonizzare dagli ambienti fresco-umidi di clima oceanico a quelli caldo-aridi di clima mediterraneo. In Italia è presente dal livello del mare fino a circa 1000 m di quota nel centro nord e fino a 1600 m nel meridione.

ANTESI



COLORE FIORE

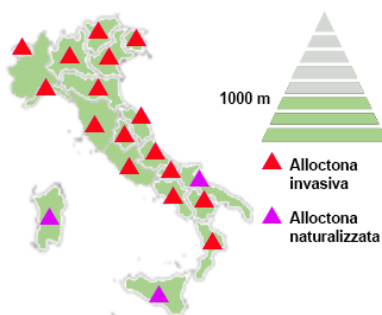


UTILIZZO

Ufficinale: il miele prodotto presenta principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

Rimboscimento: rivestimento per consolidazione di scarpate stradali, ferroviarie e argini di fiumi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



ALTO

3,20 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-ALTO

NO₂ 0,34 gr/sp/gg



PM₁₀ 0,07 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,083



Salix alba - L. - Salice comune (Salicaceae Mirb.)

DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 30 metri di altezza, le foglie sono decidue, semplici, lanceolate, lunghe fino a 10-11 cm, con pagina inferiore di colore bianco-grigiastro per la presenza di una densa peluria. Si tratta di una pianta dioica, con spighe fiorifere lineari: i fiori maschili sono caratterizzati da due stami con antere gialle, mentre quelli femminili sono di colore verde, con ovario allungato. Il frutto è a capsula oblungo-piriforme, che si apre in due valve per liberare dei piccoli semi a bastoncino provvisti di lunghi peli candidi.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una specie diffusa in Europa, Asia occidentale e Nordafrica. Il suo habitat tipico è quello dei suoli alluvionali, si trova facilmente nei boschi che crescono lungo i grandi fiumi ed è comune nei luoghi umidi e lungo i corsi d'acqua fino a 1000 metri di altitudine in tutta Europa. In Italia tollera le periodiche esondazioni, prediligendo terreni sciolti, limosi o sabbiosi, umidi, dal livello del mare a 1200 m (raramente fino a 1500).

ANTESI



COLORE FIORE

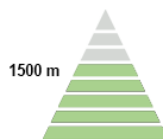
Pianta vascolare con fiori e semi (Angiospermae). Fiore senza perianzio

UTILIZZO

Forestale: rivestimento di pendii, aree urbane, periurbane e argini di fiumi

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi per il campo farmaceutico

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-ALTO

1,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,34 gr/sp/ggPM₁₀ 0,07 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,063



Sambucus nigra - L. - Sambuco comune (Viburnaceae Rafinesque)



DESCRIZIONE

Ha un portamento arbustivo legnoso e perenne, è una pianta caducifoglie e latifoglie, alto intorno a 4–6 m. Le foglie sono composte, di un colore verde scuro di 10–30 cm, sono imparipennate con un margine dentato-seghettato. I fiori sono ermafroditi e portati in corimbi molto vistosi di un color bianco panna, di 10–23 cm. La fioritura si ha nel periodo di aprile-maggio, mentre fruttifica, con bacche nerastre lucide (e con un seme piccolo e velenoso) in luglio-agosto.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una pianta tipica delle radure, al margine dei boschi umidi, scarpate, lungo i muri e sulle macerie, inserendosi rapidamente come "infestante" negli ambienti più antropizzati ed urbanizzati. Gradisce i suoli freschi e ricchi di nutrienti e di materia organica decomposta, la si può trovare dal livello del mare sino a 1.400 m s.l.m.

ANTESI



COLORE FIORE



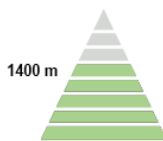
UTILIZZO

Commestibile: i frutti per marmellate e liquori

Forestale: imboscamento o rimboscamento di pendii, aree urbane e periurbane

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali contro bronchiti e infezioni polmonari

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-BASSO

0,26 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,41 gr/sp/gg



PM₁₀ 0,03 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,010



Schinus molle - L. - Pepe falso (Anacardiaceae R. Br.)

DESCRIZIONE

Il suo fusto può arrivare sino a 40 cm di diametro, le foglie sono aromatiche e lanceolate, pendule, alterne e pennate, sino a 30 cm di lunghezza. In estate produce pannocchie di piccoli fiori biancastri, che sbocciano all'ascella fogliare. In autunno i fiori lasciano il posto ai frutti: piccole bacche tondeggianti di colore rosso vivo, molto simili al pepe.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Sud

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' un albero originario degli altopiani di Bolivia, Perù e Cile, è una pianta che si è naturalizzata in tutto il mondo dove è stato piantato, noto per il suo legno forte usato per le selle. È una specie che tende ad essere invasiva in tutte le parti del mondo dove è stata introdotta.

ANTESI



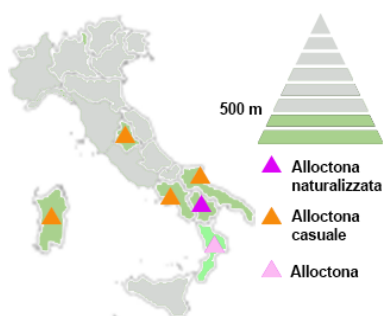
COLORE FIORE



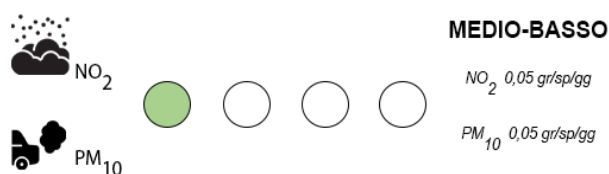
UTILIZZO

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà antisettiche

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,004

Sequoia sempervirens - (D. Don) Endl. - Sequoia (Cupressaceae Bartling)



DESCRIZIONE

La specie nelle zone di origine può raggiungere altezze notevoli, mentre in Europa non supera i 40-50 m. La chioma è leggera, svettante, colonnare piramidale. Le foglie sono aghiformi (lunghe 1-2 cm) e appiattite, persistenti, non pungenti, con due bande grigiastre sulla pagina inferiore; sono disposte su due file ai lati dei rametti. Si tratta di una specie monoica con coni laterali e terminali ovoidali, con quelli maschili gialli molto polliniferi ed i femminili verdi. Il frutto è un galbulo ovoidale o globoso, legnoso, lungo fino a 2 cm.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' un albero originario delle zone boschive e costiere del Nordamerica comprese tra la California e l'Oregon. Questa specie, in natura cresce in modo spontaneo lungo la fascia costiera che va appunto dalla California all'Oregon, nel raggio di 60 km dall'oceano Pacifico; la pianta predilige infatti un tipo di clima oceanico temperato ricco di umidità, non tollera invece climi continentali e temperature troppo rigide, è diffusa fino ad altitudini di 1.000 m. sul livello del mare, ma generalmente cresce ad altitudini inferiori ai 300 m. È stata introdotta in Europa a metà dell'Ottocento.

ANTESI



COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



ALTO

4,90 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-ALTO

NO₂ 1,07 gr/sp/gg



PM₁₀ 0,88 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,139



Sorbus aria - (L.) Crantz - Sorbo montano (Rosaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' una specie arborea che cresce in forma di alberello o albero fino a 12 m di altezza. Le foglie sono alterne, con picciolo, con forma da ellittica ad ovata con apice acuto e margini irregolarmente seghettati. La pagina superiore è di colore verde-scuro mentre quella inferiore è di colore argenteo. Produce infiorescenze riunite a corimbi eretti di 5-8 cm con fiori bianchi, mentre i frutti sono dei pomi ellissoidali di 1,5 cm, di colore rosso aranciato a maturità.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una pianta originaria dell'Europa centromeridionale e del Nord Africa, lo si trova fino a 1200 metri di quota, in particolare nella fascia dei querceti e nelle zone rocciose. In Italia è presente in tutte le regioni ed è una pianta che predilige suoli asciutti, crescendo bene anche in luoghi sassosi.

ANTESI



COLORE FIORE



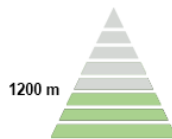
UTILIZZO

Commestibile: i frutti per la produzione di marmellate e gelatine

Forestale: imboschimento o rimboschimento di pendii, aree urbane e periurbane

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



BASSO

0,06 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-BASSO

NO₂ 0,66 gr/sp/gg



PM₁₀ 0,08 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002



Styphnolobium japonicum - (L.) Schott - Sofora (Fabaceae Lindl.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 25 metri di altezza, con chioma espansa in orizzontale. Le foglie sono decidue, picciolate, alterne, imparipennate, lunghe fino a 25 cm, con 7-13 segmenti ovato-acuti lunghi 5 cm, a margine intero, più chiari nella pagina inferiore. Ha fiori ermafroditi, dal delicato profumo, di colore giallo o biancastro in infiorescenze racemose. Il frutto è un lomento cilindrico, strozzato fra i semi, prima verde quindi giallo-bruno, ricco di polpa trasparente, i semi sono globosi.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
Asia orientale

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

E' una specie mesofilo-termofila originaria della Cina e della Corea. Introdotto in Giappone in epoca molto remota, ha cominciato ad essere utilizzato in Europa nel Settecento come pianta ornamentale, gradisce un clima non troppo rigido e suoli fertili.

ANTESI



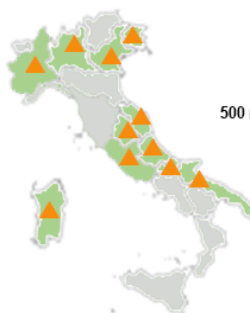
COLORE FIORE



UTILIZZO

Ufficinale: i semi contengono principi naturali dalle proprietà diuretiche e depurative
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



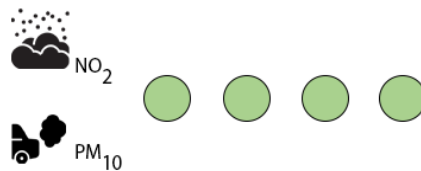
ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



MEDIO-ALTO

1,20 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



ALTO

NO₂ 5,00 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,79 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,038



Tamarix gallica - L. - Tamerice gallica (Tamaricaceae Link)



DESCRIZIONE

È un albero di media grandezza, potendo raggiungere altezze comprese tra i 20 e i 30 metri. I fusti giovani presentano una corteccia liscia e di colore grigio scuro e sono glabri. Le foglie sono alternate, di forma ellittica e delle dimensioni di circa 3 centimetri in larghezza e 5 centimetri in lunghezza. I fiori sono piccoli, ermafroditi e dotati di petali verdastri. L'apparato radicale è inizialmente fittonante, poi sviluppa molte radici laterali poco profonde.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

È una specie che cresce soprattutto negli ambienti litoranei, sui greti dei torrenti, sempre in terreni sciolti, sabbiosi o ghiaiosi. È una pianta che sopporta la salsedine e vegeta anche in terreni salini. La si trova spontanea nelle aree costiere del mediterraneo occidentale, dal livello del mare fino ai 600 metri s.l.m..

ANTESI



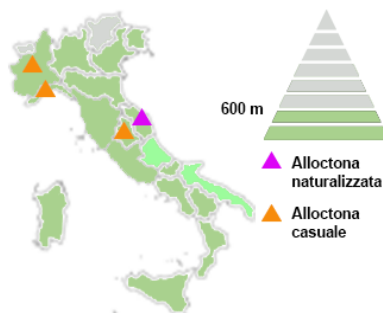
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Forestale:** imboscimento o rimboscimento di aree con terreno sabbioso e salato
- Ufficinale:** le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi

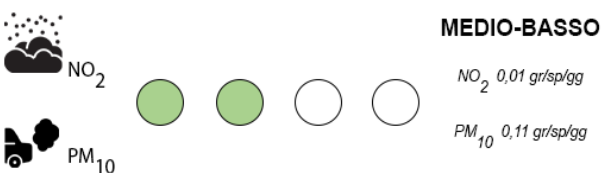
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,021



Taxodium distichum - (L.) Rich. - Cipresso calvo (Cupressaceae Bartling)



DESCRIZIONE

E' un albero molto longevo, che può vivere fino a 1000 anni e può raggiungere un'altezza di 40 metri con portamento piramidale. Le foglie sono aghi di colore verde chiaro, lunghe circa 2 cm; sono distiche, opposte nei rametti dell'annata. I coni maschili sono ovoidali e piccoli e riuniti in gruppi su spighe terminali; quelli femminili si trovano alla base delle spighe maschili, di colore verdastro e tondeggianti. I frutti sono galbuli sferici con un diametro di 1,5-3 cm), di colore verde-brunastro, che si sfaldano completamente a maturità.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' una pianta originaria degli Stati Uniti sudorientali, in un'area che va dalla baia del Delaware (tra il Delaware e il New Jersey) e dall'Indiana e l'Illinois meridionali fino alla Florida e al Texas orientale. La si ritrova nei boschi di pianura con clima oceanico mite, lungo i corsi fluviali o in zone paludose. È stata introdotta in Europa a metà del XVII secolo. Cresce in pianure umide, o allagate stagionalmente, nelle anse sabbiose e limose di fiumi e torrenti, anche in suolo paludoso, in cui sopravvive, anche in carenza di ossigeno, grazie alle radici respiratorie.

ANTESI



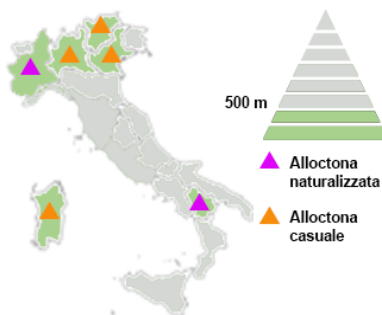
COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Forestale: imboscamento o rimboscamento di pendii, aree urbane e periurbane

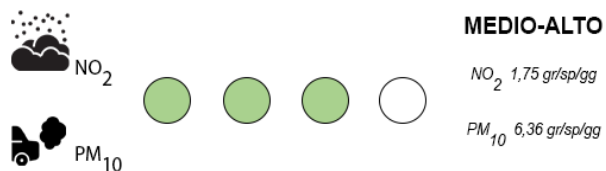
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS0,017



Thuja occidentalis L. Tuia occidentale (Cupressaceae Bartling)



DESCRIZIONE

Si tratta di un albero monoico, sempreverde, con la chioma piramidale, ad accrescimento piuttosto lento. I rametti, leggermente appiattiti, sono disposti sullo stesso piano a formare delle strutture ventagliiformi orizzontali, per lo più pendule. I fiori sono diclini, piccoli e apicali quelli maschili, colorati, prima gialli e poi bruni, quelli femminili. I corpi fruttiferi sono strobili ovoidali, di colore rosso-brunastri, formati di 6-8 squame ad apice liscio che a maturità si aprono a rosetta.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita casuale

HABITAT

Si adatta con facilità ai climi freddi, il suo habitat naturale si trova negli stati nordici dell'America (parte orientale di Canada e Stati Uniti d'America). Predilige terreni argillosi e calcarei e tollera discretamente gli ambienti urbani. Introdotta in Europa a scopo ornamentale, in Italia è frequentemente coltivata in parchi e giardini (esistono numerose cultivar diverse per colorazione del fogliame e portamento generale), e talvolta diffusa allo stato subspontaneo in Trentino-Alto Adige ed Umbria, dal livello del mare ai 600 m circa.

ANTESI



COLORE FIORE

Pianta vascolare priva di fiori con ovuli scoperti (Gymnospermae)

UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii e aree pedemontane

Ufficinale: l'olio estratto dalle foglie contiene principi naturali dalle proprietà antielmintici

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



▲ Alloctona casuale

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



ALTO

5,60 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



MEDIO-ALTO

NO₂ 1,00 gr/sp/gg



PM₁₀ 5,69 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,188



Tilia cordata - Mill. - Tiglio selvatico (Malvaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 40 metri di altezza, con portamento della chioma arrotondato-conico. Le foglie sono decidue, lunghe da 5 a 12 cm, alterne, picciolate, ovato-cordate e acuminate all'apice, un po' cuoriforme alla base. I fiori sono di colore giallognolo e profumati. Il frutto è una pseudosamara, con pericarpio subgloboso o piriforme con guscio spesso, tomentoso-vellutato, percorso da cinque coste prominenti.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una pianta con origini europee, nell'area del Caucaso, cresce nei boschi freschi e umidi dal piano ai 1.200 m. di altitudine, spesso in consociazione con carpino, farnia, olmo campestre, ontano nero, frassino maggiore, acero di monte, olmo montano e faggio. In Italia è molto comune allo stato spontaneo e lo si trova frequentemente in parchi e giardini.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

- Artigianale:** produzione di legno di ottima qualità
- Forestale:** imboschimento o rimboschimento di pendii e aree pedemontane
- Mellifera:** produzione di miele dalle proprietà rinfrescanti
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi

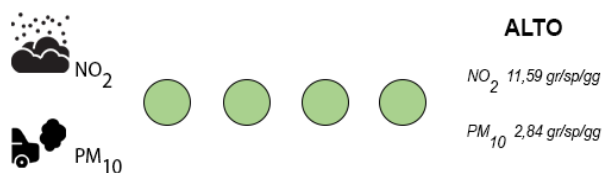
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,125



Tilia platyphyllos - Scop. - Tiglio nostrano (Malvaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 40 metri di altezza, con portamento della chioma arrotondato-conico. Le foglie sono decidue, lunghe da 5 a 12 cm, alterne, picciolate, ovato-cordate e acuminate all'apice, un po' cuoriforme alla base. I fiori sono di colore giallognolo e profumati. Il frutto è una pseudosamara, con pericarpio subgloboso o piriforme con guscio spesso, tomentoso-vellutato, percorso da cinque coste prominenti.

FORMA BIOLOGICA
FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

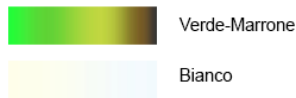
HABITAT

E' una pianta con origini europee, nell'area del Caucaso. cresce nei boschi freschi e umidi dal piano ai 1.200 m. di altitudine, spesso in consociazione con carpino, farnia, olmo campestre, ontano nero, frassino maggiore, acero di monte, olmo montano e faggio. In Italia è molto comune allo stato spontaneo e lo si trova frequentemente in parchi e giardini. Predilige terreni umidi e ben drenati, profondi e con ph tendenzialmente acido.

ANTESI



COLORE FIORE

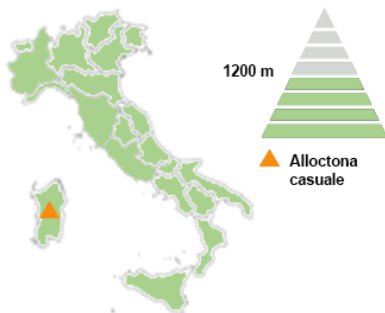


UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii, aree urbane e periurbane

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà sedative e antireumatiche

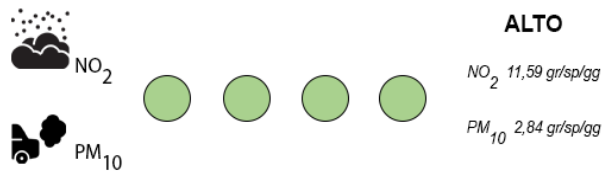
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS0,141



Tilia x europaea - Mill. - Tiglio ibrido (Malvaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' un grande albero deciduo alto fino a 15-50 m con un tronco di circonferenza fino a 2,5 m. Le foglie sono intermedie tra i genitori, lunghe 6-15 cm e larghe 6-12 cm, leggermente pelose sotto con ciuffi di peli più densi nelle ascelle delle nervature fogliari. I fiori sono prodotti in grappoli da quattro a dieci all'inizio dell'estate con una brattea frondosa giallo-verde sottende; sono fragranti e impollinati dalle api. Il frutto è una drupa secca simile a una noce di 8 mm di diametro, lanuginosa e leggermente costolata.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' un ibrido naturale tra *Tilia cordata* (tiglio dalle foglie piccole) e *Tilia platyphyllos* (tiglio dalle foglie grandi). Si trova allo stato selvatico in Europa e nelle località ove le due specie parentali da cui deriva l'ibrido siano entrambe autoctone.

ANTESI



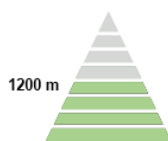
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii e aree pedemontane

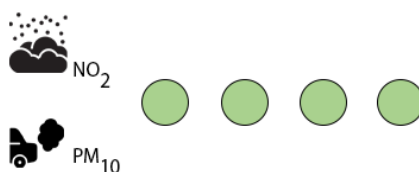
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

MEDIO-ALTO

1,70 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



ALTO

NO₂ 8,51 gr/sp/ggPM₁₀ 2,08 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,066



Ulmus glabra - Huds. - Olmo di montagna (Ulmaceae Mirb.)



DESCRIZIONE

E' un albero che può raggiungere i 30 m di altezza, con una chioma densa e ampia. Le foglie sono alterne, decidue, con un picciolo corto, obovate ellittiche, con margine doppiamente dentato, con la pagina superiore ruvida e di colore verde scuro e quella inferiore chiara e pelosa. I fiori sono bisessuali e compaiono prima delle foglie; sono numerosi, di piccole dimensioni e con breve peduncolo. I frutti sono delle samare, con seme al centro.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

E' una pianta di origine europea ed è distribuito in tutta Europa, dalla Spagna del Nord alla Scandinavia, ai Balcani fino ai monti Urali. In Italia lo si trova nelle Alpi e negli Appennini centrale e settentrionale ad una quota che varia dai 400 m ai 1200 m s.l.m. insieme ad altre latifoglie. Sono state inoltre trovate stazioni isolate sulle Madonie settentrionali e sui Nebrodi in Sicilia; tali stazioni rappresentano il limite meridionale di distribuzione areale della specie in Europa. E' una specie eliofila che predilige terreni non troppo compatti, fertili e areati, con reazione neutra oppure sub-alcalina.

ANTESI



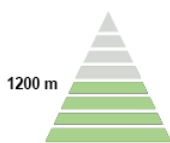
COLORE FIORE



UTILIZZO

- Forestale:** imboscimento o rimboscimento di pendii, aree urbane e periurbane
- Ufficinale:** le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti
- Ornamentale:** aree verdi urbane e parchi

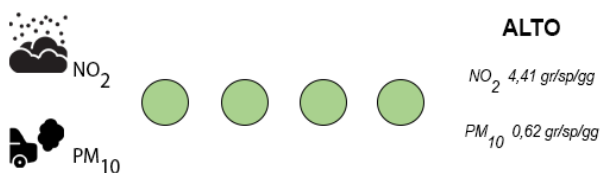
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO TS 0,234



Ulmus minor - Mill. - Olmo campestre (Ulmaceae Mirb.)

DESCRIZIONE

È un albero di media grandezza, potendo raggiungere altezze comprese tra i 20 e i 30 metri. I fusti giovani presentano una corteccia liscia e di colore grigio scuro e sono glabri. Le foglie sono alternate, di forma ellittica e delle dimensioni di circa 3 centimetri in larghezza e 5 centimetri in lunghezza. I fiori sono piccoli, ermafroditi e dotati di petali verdastri. L'apparato radicale è inizialmente fittonante, poi sviluppa molte radici laterali poco profonde.

FORMA BIOLOGICA
FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Europeo Caucasica

STATUS

Autoctona

HABITAT

Specie molto plastica, allo stato spontaneo lo possiamo trovare nei boschi xerofili a Roverella e in tutto l'orizzonte delle latifoglie eliofile, dal *Lauretum* sottozona fredda, fino a tutto il *Castanetum*. Negli Orno-ostrieti, con Leccio e Cerro, si trova sempre in modo sporadico, forse, potrebbe essere dovuto anche ad una azione antropica selettiva-negativa per il pregio del suo legname. Al Nord-Italia la sua naturale diffusione è nei boschi planiziali (Quercocarpineti planiziali) su suoli compatti, argillosi; si ritiene che questa specie sia addirittura pioniera su questo tipo di suoli. Si propaga bene sia per seme sia per polloni radicali e le varietà ornamentali invece, normalmente per talea o innesto; è stato molto usato per alberature stradali, come tutore della vite pertanto si trova facilmente nelle siepi ai bordi dei campi coltivati che se abbandonati, colonizza velocemente.

ANTESI



COLORE FIORE



UTILIZZO

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà astringenti, cicatrizzanti e depurative

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

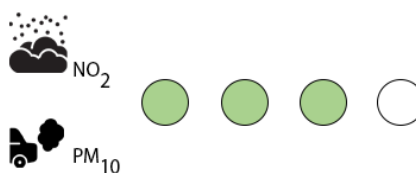
Rimboscimento: rivestimento di scarpate e argini di fiumi

Schermante: barriere antirumore e antivento

DISTRIBUZIONE REGIONALE E
ALTITUDINALEASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

4,00 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



NO₂ 2,70 gr/sp/gg

PM₁₀ 0,38 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,139



Viburnum tinus - L. - Viburno-tino (Viburnaceae Rafinesque)



DESCRIZIONE

Arbusto sempreverde, cespuglioso, di 1-3 m d'altezza. Foglie coriacee, con picciolo di 2-3 cm, lamina lanceolata, margine intero e cigliato, di colore verde scuro sopra più chiare sotto. Fiori numerosi, bianchi arrossati all'esterno, riuniti in cime corimbose. Frutto a drupa ovoide, di colore violaceo.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Mediterranea

STATUS

Autoctona

HABITAT

Nella macchia mediterranea forma consorzi, in base alla latitudine, con: *Quercus ilex*, *Phillyrea angustifolia* o *latifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Arbutus unedo*, *Myrtus communis*, *Juniperus phoenicea* o *oxycedrus*, *Erica arborea*, *Laurus nobilis* ecc. E' pianta ad elevata rusticità perchè in grado di adattarsi anche in ambienti con elevata siccità estiva.

ANTESI



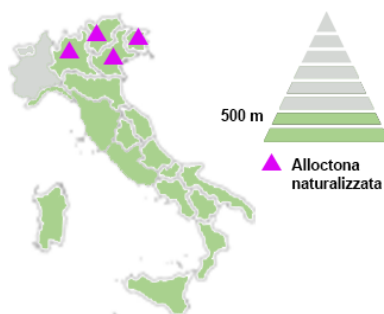
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii, aree urbane e periurbane
Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà rinfrescanti

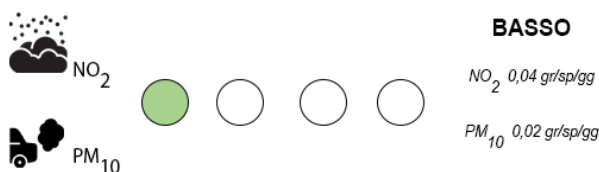
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001



Washingtonia robusta - H. Wendl. - Palma robusta (Arecaceae Bercht. & J. Presl)



DESCRIZIONE

E' una specie con robusto tronco colonnare, ricoperto dalla base alla cima dalla guaina delle foglie morte, che persistono a lungo sotto la chioma; il fusto è coronato da un ciuffo tondeggiante o ovoidale di foglie verde chiaro a ventaglio, finemente suddivise in segmenti allungati e appuntiti. I fiori bisessuali, color crema rosato, sono riuniti in infiorescenze pendule allungate, i frutti invece sono piccole drupe nerastre.

FORMA BIOLOGICA

P scap

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita naturalizzata

HABITAT

E' una palma tropicale ed il suo habitat naturale è rappresentato dai margini dei Deserti, in una fascia climatica temperata-subtropicale e si adatta perfettamente per crescere in un clima Mediterraneo, come quello di buona parte d'Italia. Presenta una buona resistenza al freddo e, soprattutto se secco, puà vivere anche in zone in cui vi siano gelate, più o meno sporadiche.

ANTESI



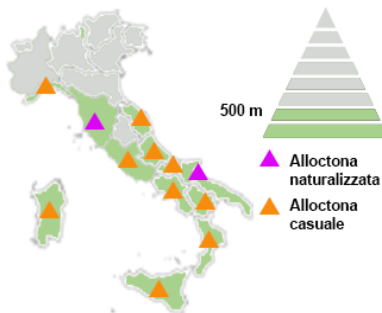
COLORE FIORE



UTILIZZO

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii
Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

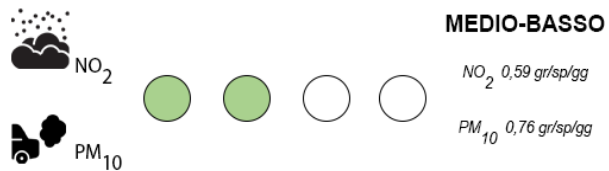
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001



Yucca gloriosa - L. - Jucca (Asparagaceae Juss.)



DESCRIZIONE

E' una fanerofita cespitosa caratterizzata da un fusto eretto, semplice o ramificato, che può raggiungere anche i 5 m di altezza. Le foglie sono lanceolate, di colore verde glauco, lunghe da 40 a 100 cm, con margine intero o leggermente dentellato. I fiori sono di colore bianco-candido, campanulati, profumati e riuniti in un'alta infiorescenza a pannocchia.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Aliena
America del Nord

STATUS

Alloctona
Neofita invasiva

HABITAT

E' una specie originaria delle aree costiere degli Stati Uniti sud-orientali, in un'area compresa tra gli Stati dell'Alabama, Georgia, Florida, Louisiana, Mississippi, Nord Carolina e Sud Carolina. Successivamente è stata introdotta come pianta ornamentale in numerosi paesi e si è naturalizzata in altri Paesi come: Gran Bretagna, Italia, Francia, Portogallo, Spagna, Turchia, Mauritius, Réunion, Guam, Puerto Rico, Argentina, Cile e Uruguay. Nei Paesi di introduzione viene coltivata quasi esclusivamente come pianta ornamentale. Pianta eliofila o in leggera ombra su terreno ben drenato da 0 a 500 m slm.

ANTESI



COLORE FIORE

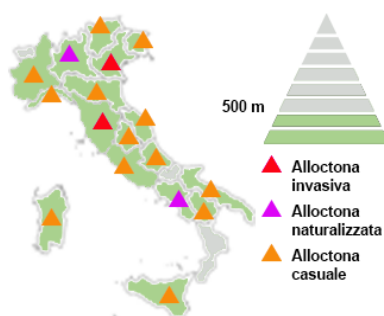


UTILIZZO

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà polifenoliche

Ornamentale: aree verdi urbane e parchi

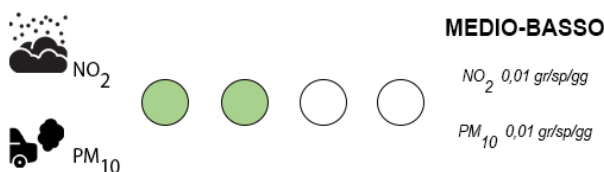
DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE



ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO2



CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,001



Ziziphus jujuba - Mill. - Giuggiolo comune (Rhamnaceae Juss.)

DESCRIZIONE

E' una specie arborea latifolia caducifolia che, in condizioni naturali può assumere il portamento di albero ed a volte quello di arbusto. Le foglie sono arrotondate, di colore verde chiaro e brillante. I fiori sono numerosi, di piccole dimensioni e con colorazione bianco verdastra; la fioritura è tra giugno ed agosto mentre i frutti maturano tra settembre e ottobre e sono delle drupe con un unico seme della grandezza di un'oliva, con esocarpo di colore dal rosso porpora al bruno ed endocarpo giallastro.

FORMA BIOLOGICA

P caesp

TIPO COROLOGICO

Euroasiatica

STATUS

Alloctona
Archeofita naturalizzata

HABITAT

E' una specie presente allo stato spontaneo in Asia centrale e nella regione del Caucaso. Fuori da questo areale, anche se naturalizzato, proviene da piante coltivate anche come presenza residua. La sua origine sembrerebbe invece da allocare tra l'Africa settentrionale e della Siria, e che sia stato successivamente esportato in Cina e in India, dove la sua coltivazione è in atto da oltre 4000 anni. E' un albero è in grado di sopravvivere ad inverni freddi, con temperature fino a -15 °C e non ha particolari esigenze di terreno.

ANTESI



COLORE FIORE



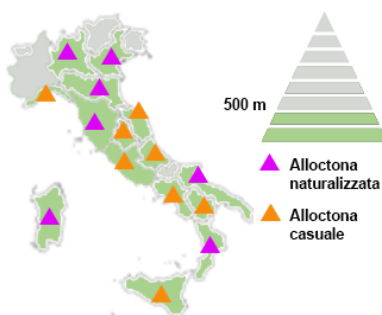
UTILIZZO

Commestibile: i frutti per la produzione di marmellate, confetture e liquori

Forestale: imboscimento o rimboscimento di pendii, aree urbane e periurbane

Ufficinale: le foglie e la corteccia contengono principi naturali dalle proprietà glucoside triterpenico

DISTRIBUZIONE REGIONALE E ALTITUDINALE

ASSORBIMENTO E STOCCAGGIO DI CO₂

BASSO

0,06 t/20a

CAPACITA' DI MITIGAZIONE AL TRAFFICO VEICOLARE



BASSO

NO₂ 0,01 gr/sp/ggPM₁₀ 0,01 gr/sp/gg

INDICE TASSONOMICO DI STOCCAGGIO

TS 0,002



Appendice 2

Le Schede dei Materiali Innovativi

Descrizione della scheda tipo dei materiali innovativi e sperimentali analizzati

I materiali analizzati nella presente Appendice e basati sul Rapporto di Legambiente "100 materiali per una nuova edilizia" (Legambiente, 2015) che ha posto l'obiettivo di analizzare 100 materiali al fine di aggiornare e fotografare i cambiamenti in corso nel modo di progettare e costruire nel settore del *green building*, presentano tre chiavi di analisi, naturali, provenienti da riciclo e soprattutto innovativi, permettendo di evidenziare i caratteri che la nuova edilizia assume come ruolo centrale nelle performance energetiche con basse emissioni di carbonio, in alcuni casi con la definizione di *negative carbon*. Tali materiali sono stati catalogati ed analizzati secondo l'impostazione di una scheda tematica articolata in tre sezioni al fine di evidenziare le caratteristiche tecniche, sensoriali ed ambientali fornendo un indicatore di sintesi di tipo parametrico a 5 valori.

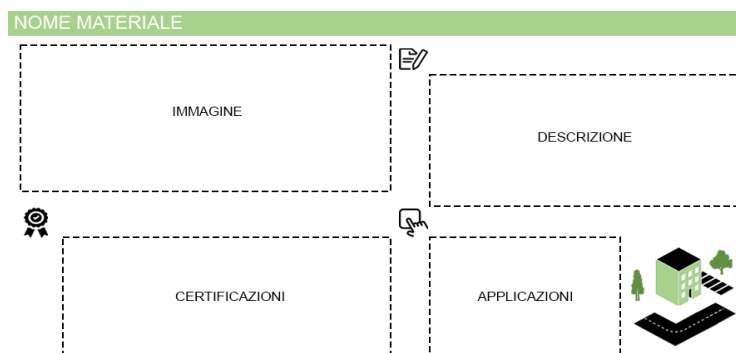
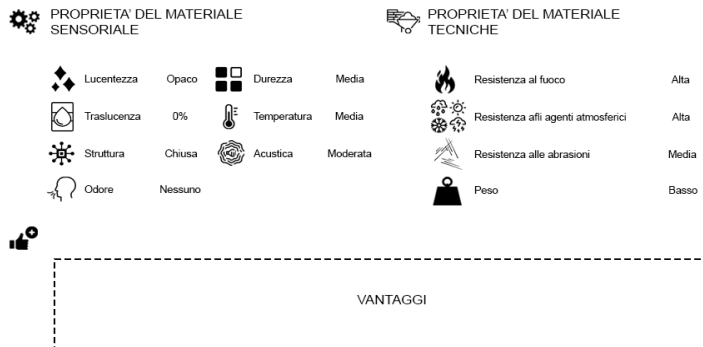


Figura 1 - Sezione 1 della scheda tipo del materiale innovativo.

Nella prima sezione della scheda sono presenti i dati principali del materiale innovativo quali il nome, una immagine di presentazione, una breve e sintetica descrizione delle qualità del materiale, le certificazioni conseguite¹ (in termini di gestione ambientale di processi di produzione e delle performance qualitative in fase di posa ed esercizio, tra cui Marcatura *CE*, *ICEA*, *ANAB*, marchi e enti certificatori sulla qualità del prodotto *LEED*, Norme *UNI*, Sistemi di gestione ambientale *ISO 14001*, Dichiarazione Ambientale *EPD*, *PEFC* e *FSC* per il legno, *BREEAM*, CasaClima, Certificazione ignifuga *EUROCLASSE*, *EMAS* e il campo di applicazione, seguito da una simbologia iconografia che si evidenzia secondo i campi di applicazione del materiale stesso (facciate, copertura, pavimentazioni interne ed esterne, superfici stradali e ciclopedonali, spazi aperti).

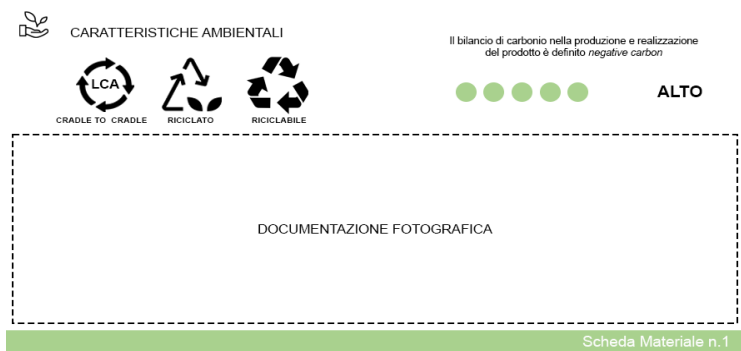
1. Per la scheda tematica relativa al materiale Carbifx2 tale sezione è stata sostituita con il processo innovativo del medesimo materiale analizzato.

Figura 2 - Sezione 2 della scheda tipo del materiale innovativo.



Nella seconda sezione sono introdotte le proprietà del materiale stesso dal punto di vista sensoriale (lucentezza, traslucenza, struttura atomica, odore, durezza, temperatura e acustica) e tecniche (resistenza al fuoco, agli agenti atmosferici, alle abrasioni e peso); ciò permette di identificare subito i punti di forza e di debolezza di un materiale secondo l'esigenza della committenza per il campo di applicazione. A seguire vi è la descrizione dei vantaggi, per il produttore e per il consumatore, riguardanti la composizione del prodotto stesso e la risposta alle sollecitazioni tecnico-energetiche.

Figura 3 - Sezione 3 della scheda tipo del materiale innovativo.



La terza sezione è caratterizzata dalla sintesi dei caratteri ambientali che contraddistinguono il materiale (capacità di assorbimento di inquinanti al pari di specie arboree, capacità di assorbimento degli inquinanti veicolari, capacità di assorbimento degli inquinanti atmosferici, prodotto riciclato, LCA "cradle to cradle", prodotto riciclabile/riutilizzabile, prodotto naturale), un indicatore finale caratterizzato da 5 parametri di qualità così impostati:

- Basso: materiale che non presenta nella sua filiera di produzione e realizzazione meccanismi, anche compensativi, per la riduzione della CO₂ in atmosfera;
- Medio-Basso: materiale che non presenta nella sua filiera di produzione e realizzazione meccanismi, anche compensativi, per la riduzione della CO₂ in atmosfera; il materiale presenta componenti riciclabili;
- Medio: materiale che presenta nella sua filiera di produzione e realizzazione meccanismi, anche compensativi, per la riduzione della CO₂ in atmosfera, come il riutilizzo di inerti e scarti di lavorazione; il materiale può presentare componenti riciclati e riciclabili; il prodotto presenta certificazioni ambientali;
- Medio-Alto: materiale che presenta componenti, parziali o totali, nella sua produzione, naturali, certificati, con caratteristiche *embodied carbon*, di capacità di assorbimento e stoccaggio di CO₂ o di processi per l'annullamento di nuove emissioni; il prodotto può risultare tra l'altro riciclato, riciclabile, con un processo di LCA "cradle to cradle" e la presenza di certificazioni ambientali;
- Alto: materiale con alte capacità di assorbimento e cattura di inquinanti, sia per caratteristiche 100% naturali *embodied carbon*, *negative carbon* o *natural carbon sink*, che per trattamenti industriali, come, ad esempio, il processo di fotocatalisi o di disgregazione chimica delle particelle inquinanti. Il prodotto può risultare tra l'altro riciclato, riciclabile, con un processo di LCA "cradle to cradle" e la presenza di specifiche certificazioni ambientali.

A conclusione della scheda vi è una sezione relativa alla documentazione fotografica di dettaglio del materiale stesso, del campo di applicazione e di casi di realizzazione di manufatti edilizi.

Nella successiva pagina:
Figura 4 - Scheda tipo del materiale
innovativo analizzato.


NOME MATERIALE

IMMAGINE


DESCRIZIONE












CERTIFICAZIONI

APPLICAZIONI



 PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

 PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

 Lucentezza	Opaco	 Durezza	Media	 Resistenza al fuoco	Alta
 Traslucenza	0%	 Temperatura	Media	 Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
 Struttura	Chiusa	 Acustica	Moderata	 Resistenza alle abrasioni	Media
 Odore	Nessuno			 Peso	Basso



VANTAGGI

 CARATTERISTICHE AMBIENTALI



CRADLE TO CRADLE



RICICLATO



RICICLABILE

Il bilancio di carbonio nella produzione e realizzazione del prodotto è definito *negative carbon*



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PITTURE FOTOCATALITICHE - "AIRLITE"



CERTIFICAZIONI

PROPRIETA' DEL MATERIALE
SENATORIALE

	Lucentezza Opaca/Lucida		Durezza	Bassa
	Traslucenza 0-100%		Temperatura	Bassa
	Struttura Aperta		Acustica	Bassa
	Odore		Nessuno	

DESCRIZIONE

Pitture in polvere per esterni e per interni ad alto rendimento e lunga durata capace, in presenza di luce, di catturare e distruggere le sostanze inquinanti organiche e inorganiche presenti nell'aria, di prevenire lo sviluppo di muffe e di distruggere virus e batteri. Assicura un'efficace soluzione anti-inquinamento e anti-sporco grazie alla trasformazione degli inquinanti atmosferici in sostanze idrosolubili e inerti.

APPLICAZIONI

Protezione permanente alle facciate degli edifici contro l'azione dirimpante dell'acqua, delle piogge acide e dello smog, mantenendo elevata traspirabilità e resistenza all'acqua della muratura.



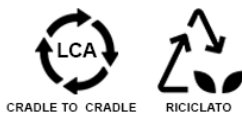
PROPRIETA' DEL MATERIALE
TECNICHE

	Resistenza al fuoco	Alta
	Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
	Resistenza alle abrasioni	Alta
	Peso	Basso

VANTAGGI

Le pitture in polvere Airlite non rilasciano nessuna sostanza nociva nell'aria, contrariamente a quanto avviene con le tradizionali pitture acriliche e a base d'acqua, hanno un minor peso e un minor volume, in quanto non viene trasportata l'acqua, che viene aggiunta localmente al momento dell'utilizzo, non producono scarti inquinanti, in quanto non è necessario il recupero dei recipienti di plastica sporchi, definiti rifiuti speciali altamente inquinanti.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Prodotto in grado di disgregare le particelle inquinanti tra i quali il carbonio, ottima soluzione anti-inquinamento

● ● ● ● ● ALTO



BLOCCHI CON COMPONENTI NATURALI - "BIOMATTONI - NATURAL BETON"



DESCRIZIONE

Il Natural Beton, componente del biomattone, è un materiale ottenuto combinando il truciolo vegetale di canapa con un legante a base di calce idrata e additivi naturali, che stabilizza la componente vegetale proteggendola dalla possibilità di decomporsi, di incendiarsi o di essere aggredita da insetti o roditori. È un materiale edilizio innovativo definito *negative carbon*.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Possibili applicazioni per costruzioni ex novo di muratura isolante, isolamento esterno a cappotto di edifici esistenti, isolamento interno di edifici esistenti, isolamento sottopavimento, vespaio areato.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

	Lucentezza	Opaco		Durezza	Media
	Traslucenza	0%		Temperatura	Media
	Struttura	Chiusa		Acustica	Moderata
	Odore	Nessuno			

PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

	Resistenza al fuoco	Alta
	Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
	Resistenza alle abrasioni	Media
	Peso	Basso

VANTAGGI

Il truciolo di canapa è caratterizzato da piccoli alveoli colmi di aria di dimensioni nanometriche, che permettono il susseguirsi di continui processi di micro-condensazione ed evaporazione, fornendo così al prodotto un elevato isolamento termo-acustico e igrometrico. Ulteriori caratteristiche sono: una buona inerzia termica, la capacità di accumulare calore e di rilasciarlo lentamente, la riciclabilità e biodegradabilità a fine del ciclo di vita, la capacità di traspirazione che evita la formazione umidità interstiziali, l'assenza di fumi tossici in caso di incendio e il basso consumo di energia durante la fabbricazione.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Il bilancio di carbonio nella produzione e realizzazione del prodotto è definito *negative carbon*



ISOLANTI CON PROPRIETA' EMBODIED CARBON - "CANAPA LITHOS1000"



DESCRIZIONE

Tra i biomateriali di nuova generazione, questo materiale è frutto della sintesi tra una biomassa in canapa e il legante Pappa Reale risultando un prodotto ad alte capacità di *embodied carbon*, è completamente slegato dalla filiera del petrolio e privo di formaldeide, si presenta in tipologie di pannelli di varie dimensioni, ciascuno studiato per rispondere alle specifiche esigenze in termini di isolamento termico e acustico.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Si presta ad essere utilizzato come controventatura, controparete interna ed esterna, copertura e solai.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

Lucentezza	Opaco	Durezza	Media
Traslucenza	0%	Temperatura	Media
Struttura	Chiusa	Acustica	Alta
Odore	Nessuno		

PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

Resistenza al fuoco	Medio-Alta
Resistenza agli agenti atmosferici	Media
Resistenza alle abrasioni	Bassa
Peso	Basso

VANTAGGI

La Canapa è un ottimo isolante termico e acustico, resistente a insetti, roditori e muffe, durevole nel tempo. Questo prodotto è stato studiato per essere utilizzato principalmente in sistemi coperture, solai, ottimo sostituto di altre pannellature lignee d'origine differenze e contropareti. Materiale caratterizzato da un bassissimo impatto ambientale, assenza totale di formaldeide, oil free, green friendly, renewable resources, water proof e wood tools. Il pannello si presenta con dimensioni massime 1890 x 3780 mm, con densità pari a 1000kg/m3, conduttività termica pari a 0,151W/mK e permeabilità al vapore $\mu=11$. Tolleranza su massa volumica +/- 5%, tolleranza dimensionale pannelli +/- 2 mm.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Prodotto naturale ad alta capacità *embodied carbon*



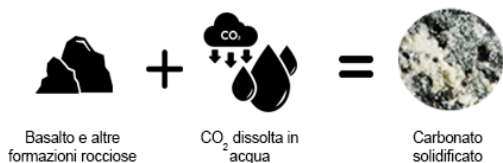
BLOCCHI CON ASSORBIMENTO ATTIVO DI CARBONIO - "CARBFIX2"



 DESCRIZIONE

Grandi quantità di carbonio sono immagazzinate naturalmente nelle rocce. Carbfix2 imita e accelera questi processi naturali, in cui l'anidride carbonica viene disciolta in acqua interagendo con formazioni rocciose reattive, come i basalti, per formare minerali in un processo naturale con una durata di 2 anni, fornendo quindi carbon sink permanenti.

 PROCESSO INNOVATIVO










 APPLICAZIONI





Si presta ad essere utilizzato sperimentalmente per chiusure verticali.



 PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

 Lucentezza	Opaco	 Durezza	Alta
 Trasparenza	0%	 Temperatura	Media
 Struttura	Aperta	 Acustica	Alta
 Odore	Nessuno		

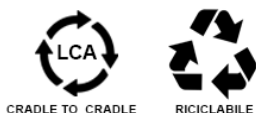
 PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

 Resistenza al fuoco	Alta
 Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
 Resistenza alle abrasioni	Media
 Peso	Alto

 VANTAGGI

L'adozione di tale materiale innovativo e fortemente sperimentale deriva dal processo di realizzazione del suddetto, definita mineralizzazione artificiale. La dissoluzione del carbonio prima o durante l'iniezione assicura che le reazioni chimiche tra la roccia ospite e il fluido iniettato avvengano immediatamente dopo l'iniezione. L'elevata reattività e composizione chimica della roccia ospite basaltica (fino al 25% del peso di calcio, magnesio e ferro) può combinarsi con la CO2 iniettata per formare minerali carbonati stabili, immagazzinando in modo efficiente e permanente le emissioni come minerali all'interno delle rocce basaltiche.

 CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Artificial Carbon Sink
Prodotto composto da carbonio iniettato nel sottosuolo

 ALTO



BLOCCHI CON ASSORBIMENTO ATTIVO DI CARBONIO - "CARBON BUSTER"



DESCRIZIONE

Questo mattone è in grado di catturare una quantità di anidride carbonica maggiore rispetto a quanta ne venga emessa nel corso del processo di lavorazione necessario per la sua produzione. Carbon Buster è costituito da oltre il 50% di materiali riciclati, i quali sono stati recuperati da parte della società Carbon8 per la creazione dello speciale mattone.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Si presta ad essere utilizzato come materiale sperimentale per chiusure verticali.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

	Lucentezza	Opaco		Durezza	Alta
	Traslucenza	0%		Temperatura	Alta
	Struttura	Chiusa		Acustica	Alta
	Odore	Nessuno			

PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

	Resistenza al fuoco	Alta
	Resistenza agli agenti atmosferici	Media
	Resistenza alle abrasioni	Media
	Peso	Medio

VANTAGGI

I materiali riciclati in questione sono costituiti, tra l'altro, da residui termici, i quali, uniti ad anidride carbonica ed acqua, sono stati utilizzati dai realizzatori per ottenere un aggregato adatto ad essere impiegato per la produzione dei mattoni, in sostituzione dei comuni materiali a cui si è soliti ricorrere in simili casi. La realizzazione di questo materiale innovativo è stata resa possibile grazie ad una ricerca condotta da parte della University of Greenwich's School of Science, che si è focalizzata proprio sul riuso dei residui termici prodotti dagli impianti per la produzione di energia.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Artificial Carbon Sink
Prodotto contenente materiali riciclati



ALTO



BLOCCHI CON COMPONENTI NATURALI - "CARRARA BLOCK"



DESCRIZIONE

Mattone ecologico che possiede tra le sue componenti principali la polvere di marmo, sottoprodotto di cavatura e segazione del marmo. È un mattone a basso impatto ambientale poiché prodotto con la totale soppressione delle emissioni inquinanti, tra cui la CO₂, poiché non necessita del processo di cottura in fornace e viene prodotto per sola compressione delle materie prime che lo compongono, opportunamente umidificate.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

I mattoni possono essere utilizzati per le realizzazioni di murature faccia vista, per la realizzazione di tamponamenti interni ed esterni.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

	Lucentezza	Opaco		Durezza	Alta
	Traslucenza	25%		Temperatura	Bassa
	Struttura	Chiusa		Acustica	Bassa
	Odore	Nessuno			

PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

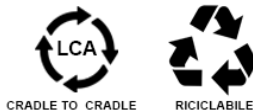
	Resistenza al fuoco	Alta
	Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
	Resistenza alle abrasioni	Medio-Alta
	Peso	Alto

VANTAGGI

Le materie prime che lo compongono sono in massima parte granulati e sabbie derivate dalla lavorazione del marmo con l'aggiunta del cemento bianco in una miscelazione brevettata. L'assenza di acqua quasi totale nell'impasto è connessa al sistema di produzione che prevede la compressione dei componenti per umidificazione. Questo materiale ha ottenuto un notevole apprezzamento per le qualità architettoniche ed ambientali derivanti dall'aspetto oltre che per le caratteristiche fisiche, anche per le qualità di recupero di materiali di scarti da lavorazione di caca, che lo rendono competitivo al mattone tradizionale faccia a vista.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Assenza di nuove emissioni di CO₂ derivate da cottura da altoforno.



● ● ● ● ○ **MEDIO-ALTO**



BLOCCO CON COMPONENTI NATURALI - "COCCIO BLOCCO"



DESCRIZIONE

È un blocco da costruzione costituito da materiali di riciclo con leganti e aggregati di origine naturale, a basso impatto ambientale. Innovativo è l'uso di un materiale storico come il cocciopesto (laterizi riciclati tritati) abbinato a leganti naturali a base di calce, ma aggiungendo biotriturato per ottenere un blocco leggero e prestante basato su materiali di recupero e demolizione.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Usando il prodotto nelle chiusure verticali viene mantenuto il comfort termo-igrometrico interno, limitando di impianti di condizionamenti invernali ed estivi con relative riduzioni energetiche e di emissioni di CO₂.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

Lucentezza	Opaco	Durezza	Medio-Alta
Traslucenza	0%	Temperatura	Alta
Struttura	Chiusa	Acustica	Bassa
Odore	Nessuno		

PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

Resistenza al fuoco	Medio-Alta
Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
Resistenza alle abrasioni	Medio
Peso	Medio

VANTAGGI

I vantaggi nella applicazione di tale materiale sono riassunti in un basso impatto ambientale, un minore spreco energetico, minori emissioni di CO₂ in quanto il prodotto proviene da un processo di riciclo e recupero.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Materiale basato su recupero di inerti da demolizione e scarti di lavorazioni edili

● ● ● ○ ○ **MEDIO**



ISOLANTI CON PROPRIETA' EMBODIED CARBON - "CORKPAN"



DESCRIZIONE

CORKPAN è il solo pannello di sughero per isolamento a possedere prestazioni tecniche, ambientali e di sicurezza certificate da Enti terzi. In conformità alle norme ISO 14040 e ISO 14044 e a quanto definito dallo Standard Generale ANAB (Associazione Nazionale Architettura Bioecologica per la certificazione dei Materiali per la Bioedilizia) e ICEA (Istituto per la Certificazione Etica e Ambientale).

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Si presta per essere utilizzato come isolamento per tetto ventilato in legno, come cappotto su muratura e su legno, su pavimenti flottanti in legno, su copertura sottocoppo, ventilata, piana, tetti verdi, facciate ventilate ed intercapedini.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

Lucentezza	Opaco	Durezza	Bassa
Trasparenza	0%	Temperatura	Bassa
Struttura	Chiusa	Acustica	Alta
Odore	Nessuno		

PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

Resistenza al fuoco	Media
Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
Resistenza alle abrasioni	Bassa
Peso	Basso

VANTAGGI

100% da risorsa rinnovabile di cui il 90% dell'energia per la sua produzione deriva da scarti usati come biomassa; 100% naturale senza aggiunta di colle di origine sintetica o fossile, 100% riciclabile o riutilizzabile a fine impiego.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Prodotto con elevate capacità di embodied carbon, 100% naturale

● ● ● ● ● ALTO



GUAINE CON COMPONENTI NATURALI - "DERBICOLOR OLIVINA"



DESCRIZIONE

Il DERBICOLOR FR Olivina è una membrana impermeabile realizzata con una selezione del migliore bitume e di plastomeri APP-TPO di elevata qualità con graniglia di olivina come strato di finitura. Il minerale olivina è un silicato di ferro e magnesio presente in natura che ha la capacità di assorbire CO₂ dall'atmosfera.

CERTIFICAZIONI



ATG 1502

APPLICAZIONI

Indicata per impermeabilizzare le coperture piane o a falda di manufatti edilizi.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

Lucentezza	Opaco	Durezza	Bassa
Traslucenza	0%	Temperatura	Alta
Struttura	Aperta	Acustica	Bassa
Odore	Nessuno		

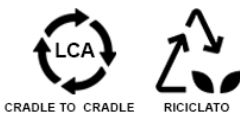
PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

Resistenza al fuoco	Medio-Alta
Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
Resistenza alle abrasioni	Media
Peso	Basso

VANTAGGI

La membrana DERBICOLOR FR Olivina rispetta l'ambiente aiutandolo a neutralizzare la CO₂. Il minerale olivina possiede naturalmente la capacità di neutralizzare la CO₂ presente in atmosfera; quando questa cade sulla superficie del manto, in occasione delle piogge, una semplice reazione chimica scioglie i legami molecolari che costituiscono la CO₂, dando come risultato solo sabbia, acqua e carbonato di magnesio, prodotti innocui per l'ambiente. 1 kg di graniglia di olivina ha la capacità di neutralizzare ed assorbire 1,25 kg di CO₂ (Fonte: Prof. Dott. Olaf Schuiling, Dipartimento di Scienze Della Terra dell'Università di Utrecht).

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Prodotto con olivina, alte capacità di cattura ed assorbimento di CO₂



GUAINE CON COMPONENTI NATURALI - "DERBIPURE TECHNOLOGY"



 DESCRIZIONE

DERBIPURE® è una membrana con mescola a base di legante vegetale, alternativa ai manti bituminosi o sintetici, è rinforzata con un'armatura composita in vetro/poliestere, è impregnata con un coating acrilico a elevata riflettività.

 CERTIFICAZIONI










 APPLICAZIONI





Il materiale polimerico è applicabile su coperture a falda o piane, praticabile e resistente ai carichi di esercizio sin dai primi minuti successivi alla posa in opera.



 PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

 Lucentezza	Opaco	 Durezza	Medio-Alta
 Traslucenza	25%	 Temperatura	Alta
 Struttura	Chiusa	 Acustica	Acustica
 Odore	Nessuno		

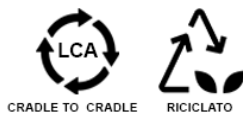
 PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

 Resistenza al fuoco	Media
 Resistenza agli agenti atmosferici	Alto
 Resistenza alle abrasioni	Medio
 Peso	Basso

 VANTAGGI

Cradle to Cradle Certificazione Basic: il prodotto è realizzato con prodotti vegetali a rapido rinnovamento residuo di altre lavorazioni, ed è totalmente riciclabile. I vantaggi di tale materiale possono sintetizzarsi in una materia prima riciclata fino al 30%, riciclabile al 100% e rifinito con olivina che neutralizza ed assorbe la CO₂ dall'atmosfera. La sua funzione di raffreddamento passivo comporta una riduzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione e/o la ventilazione, con conseguenti risparmi economici e riduzioni di emissioni di CO₂ durante il ciclo di vita in copertura. Inoltre, il prodotto è a pH neutro e permette così un recupero ottimizzato delle acque piovane.

 CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Prodotto riciclabile con finitura in olivina, con alte capacità di assorbimento e stoccaggio di Co2

 **MEDIO-ALTO**



ISOLANTI CON PROPRIETA' NEGATIVE CARBON - "EDILANA MAT"



 DESCRIZIONE

Materassino agugliato 100% pura lana vergine di pecora di Sardegna per l'isolamento termico-acustico e il benessere igrometrico.
Coibentazione termica di murature a cassa vuota, senza additivi, con trattamento antitarmico, rinnovabile eccedente non importata, 100% made in Italy.

 CERTIFICAZIONI










 APPLICAZIONI





Indicato per l'isolamento termoacustico di tetti ventilati e non ventilati, murature perimetrali, murature interne, solai, controsoffitti, per l'isolamento e il riempimento delle intercapedini del telaio di finestre e porte.



 PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

 Lucentezza	Opaco	 Durezza	Media
 Traslucenza	0%	 Temperatura	Media
 Struttura	Chiusa	 Acustica	Alta
 Odore	Nessuno		

 PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

 Resistenza al fuoco	Medio-Alta
 Resistenza agli agenti atmosferici	Media
 Resistenza alle abrasioni	Media
 Peso	Basso

 VANTAGGI

EDILANA MAT ha ottime capacità di isolamento acustico, presentandosi come efficace barriera al rumore. L'ingegneria industriale del processo produttivo mantiene integra l'uncinatura molto ricca e sinuosa della fibra, fortemente spiraliforme, che permette non solo di abbattere l'inquinamento uditivo, ma di agire sulla struttura del suono correggendone l'acustica. Per le sue qualità acustiche è stato certificato un abbattimento di 54 dB inserendo un solo strato di Mat 3 "D50" tra due laterizi rispettivamente da 8 e 12 cm con intonaco esterno. Durante il processo produttivo, tali isolanti termo-acustici, sono risultati carbon negative per la corta filiera, zero import e processo di lavorazione a Km0.

 CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Prodotto naturale con processo produttivo carbon negative

 ALTO



CALCESTRUZZO AD ASSORBIMENTO DI INQUINANTI "I.IDRO DRAIN"



DESCRIZIONE

I.idro DRAIN è un'innovativa formulazione di calcestruzzo in grado di drenare l'acqua. La colorazione chiara e la circolazione dell'aria negli alveoli garantita dalla struttura atomica consentono una riduzione del calore in superficie fino a 30°C rispetto a una pavimentazione in asfalto, offrendo un maggior benessere urbano.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Il prodotto può essere applicato sia per le sedi viarie a scorrimento veicolare che ciclopedonale.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

	Lucentezza	Opaco		Durezza	Alta
	Traslucenza	0%		Temperatura	Media
	Struttura	Aperta		Acustica	Bassa
	Odore	Nessuno			

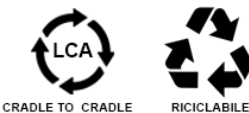
PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

	Resistenza al fuoco	Alta
	Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
	Resistenza alle abrasioni	Alta
	Peso	Alto

VANTAGGI

La capacità drenante varia in funzione della granulometria usata per la sua composizione. La creazione di vuoti, che possono variare dal 15% no al 25%, garantisce drenaggi da 200 litri/m²/minuto a oltre 1000 litri/m² /minuto, restituendo al terreno le acque piovane, ricaricando le falde acquifere, permettendo di convogliare le acque attraverso la realizzazione di specifici sotto servizi. A differenza delle pavimentazioni in asfalto drenante, non contiene oli ed altri agenti inquinanti che rischierebbero di essere trascinati dalla pioggia verso torrenti, fiumi e mari.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Il prodotto cattura agenti inquinanti atmosferici tra i quali il carbonio

● ● ● ● ○ **MEDIO-ALTO**



CALCESTRUZZO SEMI-TRASPARENTE - "I.LIGHT"



DESCRIZIONE

i.light è un pannello in calcestruzzo prefabbricato in grado di trasmettere la luce; realizzato combinando un'innovativa matrice cementizia con resine speciali, consente non solo di trasmettere la luce, ma permette anche di scorgere ciò che si trova al di là del manufatto, creando un effetto trasparenza e una notevole riduzione dei carichi energetici per illuminazione con annesse riduzioni di CO₂.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Il prodotto può essere applicato come chiusura verticale interna, come partizione interna tra due vani e come chiusura orizzontale per favorire l'illuminazione naturale.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

	Lucentezza	Lucido		Durezza	Alta
	Traslucenza	80%		Temperatura	Media
	Struttura	Chiusa		Acustica	Bassa
	Odore	Nessuno			

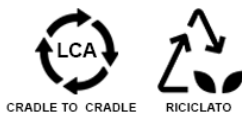
PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

	Resistenza al fuoco	Alta
	Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
	Resistenza alle abrasioni	Alta
	Peso	Alto

VANTAGGI

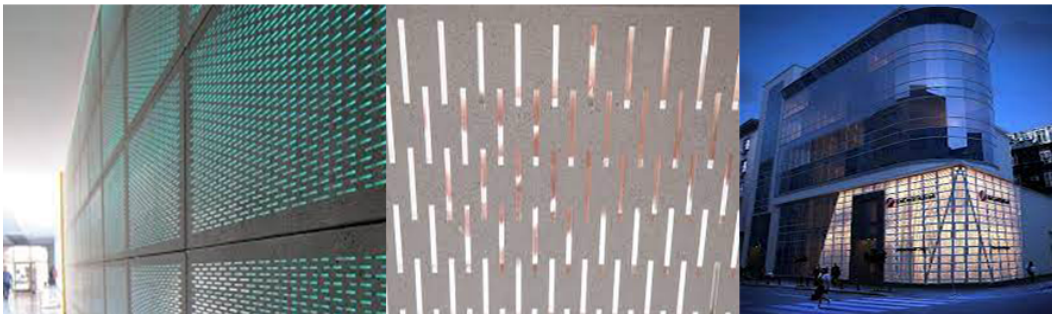
Da test effettuati, i pannelli in i.light risultano avere una durabilità paragonabile a un classico pannello prefabbricato, garantendo quindi un ciclo di vita pari a quello dello stesso edificio. Inoltre i.light, una volta dismesso, non richiede trattamenti speciali ed è completamente riciclabile, contribuendo all'abbattimento delle emissioni di carbonio nel settore fortemente emettitore come quello degli altiforni.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Il prodotto innovativo a fine vita è completamente riciclabile; permette una riduzione dei carichi energetici

● ● ● ○ ○ **MEDIO**



BLOCCHI CON COMPONENTI NATURALI - "ISOTEX"



DESCRIZIONE

Blocchi per pareti in conglomerato di legno cemento, abbinamento che permette di assorbire i rumori, poiché il materiale fibroso unito al calcestruzzo creando massa abbattano le richieste energetiche per raffreddamento e riscaldamento, ottenendo le certificazioni Classe A, A+ e Gold.; inoltre la presenza del legno attribuisce capacità di *embodied carbon* al prodotto stesso.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

I blocchi possono essere utilizzati per pareti interne portanti e non e solai; il lavoro di posa è semplice e veloce, garantendo ottimi risultati abbattendo al tempo stesso i tempi di costruzione.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

	Lucentezza	Opaco		Durezza	Alta
	Traslucenza	0%		Temperatura	Media
	Struttura	Aperta		Acustica	Alta
	Odore	Nessuno			

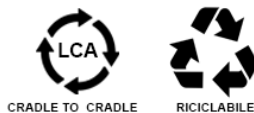
PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

	Resistenza al fuoco	Medio
	Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
	Resistenza alle abrasioni	Medio
	Peso	Medio

VANTAGGI

Il sistema costruttivo si caratterizza per velocità e semplicità di posa, ottime caratteristiche tecniche, resistenza al fuoco (REI120-REI240), sicurezza antisismica, massimo comfort abitativo e costi competitivi. In tutto il ciclo produttivo vengono utilizzati solo materiali naturali e senza l'aggiunta di prodotti chimici: legno 100% riciclato, cemento Portland puro al 99%.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Materiale con proprietà *embodied carbon*

● ● ● ● ● ALTO



ISOLANTI CON PROPRIETA' EMBODIED CARBON - "MAGRIPOL"



 DESCRIZIONE

Pannello in lino per l'isolamento acustico e termico a bassa conduttività, traspirante e ad alta resistenza in ambienti umidi. Il lino è una materia prima rinnovabile, alte capacità di *embodied carbon* e esente da proteine animali, altamente flessibile ed autoprotetto naturalmente senza trattamenti chimici.

 CERTIFICAZIONI





 APPLICAZIONI





Si presta ad essere utilizzato in intercapedini di pareti, in contro pareti perimetrali o pareti divisorie a secco, in copertura o sopra solai non pedonabili.



 PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

 Lucentezza	Opaco	 Durezza	Media
 Traslucenza	0%	 Temperatura	Media
 Struttura	Aperta	 Acustica	Alta
 Odore	Nessuno		

 PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

 Resistenza al fuoco	Media
 Resistenza agli agenti atmosferici	Medio-Alto
 Resistenza alle abrasioni	Bassa
 Peso	Basso

 VANTAGGI

Posa in opera veloce e facile, lavorazione a secco, ottima funzione termoregolatrice dell'umidità, materia prima innovabile e riciclabile. Le materie prime utilizzate per la produzione di questo prodotto sono fibre vegetali rinnovabili con un ciclo di rinnovamento rapido compreso tra uno e sei mesi, (legno 3-40anni). Inoltre, la produzione prevede un consumo minimo di energia elettrica con conseguenti riduzioni di CO₂ nell'atmosfera.

 CARATTERISTICHE AMBIENTALI

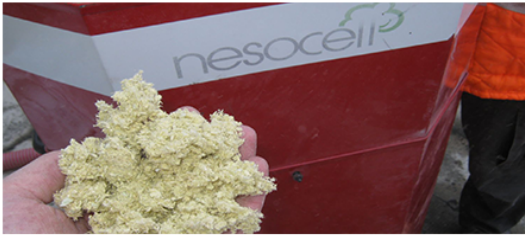


Prodotto con elevate capacità *embodied carbon*

 ALTO



ISOLANTI CON PROPRIETA' EMBODIED CARBON - "NESOLCELL"



DESCRIZIONE

I fiocchi di cellulosa, di cui è composto questo materiale, sono dotati di un'elevatissima traspirabilità e hanno una grande capacità di accumulo termico e igrometrico. Ogni chilogrammo di CO₂ immessa in ambiente in fase di produzione corrisponde a mancate emissioni date dal risparmio energetico conseguito pari o superiori a 220 kg di CO₂.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

I fiocchi di cellulosa Nesocell nascono per essere utilizzati nella coibentazione di pareti, tetti e sottotetti sia in nuove costruzioni, sia nelle riqualificazioni energetiche degli edifici esistenti.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

Lucentezza	Opaco	Durezza	Bassa
Traslucenza	0%	Temperatura	Bassa
Struttura	Aperta	Acustica	Alta
Odore	Nessuno		

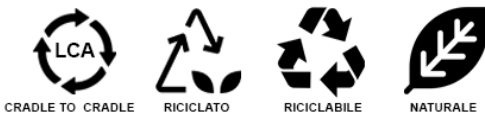
PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

Resistenza al fuoco	Media
Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
Resistenza alle abrasioni	Medio-Bassa
Peso	Basso

VANTAGGI

Il processo produttivo consente di proporre un prodotto naturale e riciclato caratterizzato da prestazioni e costi paragonabili ai prodotti di origine sintetica. Nesocell è un materiale sperimentale del Politecnico di Torino, Ateneo con il quale l'azienda produttrice collabora strettamente nella ricerca, l'innovazione e lo sviluppo.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Il bilancio di carbonio nella produzione e realizzazione del prodotto è definito *negative carbon*



ISOLANTI CON PROPRIETA' NATURAL CARBON SINK - "PAVATHERM"



DESCRIZIONE

Il sistema di isolamento in fibre di legno PAVATEX permeabile è un ottimo dispositivo tecnologico per la riduzione dei carichi termici invernali. In estate, invece, assorbe il calore, lasciando più a lungo gli ambienti interni della casa freschi. Tale materiale genera dei *natural carbon sink*, prolungando la funzione naturale di accumulo del legno e contribuendo alle riduzioni complessive di carbonio nell'atmosfera.

CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Sono utilizzati sia per le nuove costruzioni che per la ristrutturazione di tetti e risanamento degli involucri orizzontali esterni.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

Lucentezza	Opaco	Durezza	Alta
Traslucenza	0%	Temperatura	Media
Struttura	Aperta	Acustica	Alta
Odore	Nessuno		

PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

Resistenza al fuoco	Media
Resistenza agli agenti atmosferici	Media
Resistenza alle abrasioni	Media
Peso	Medio-Basso

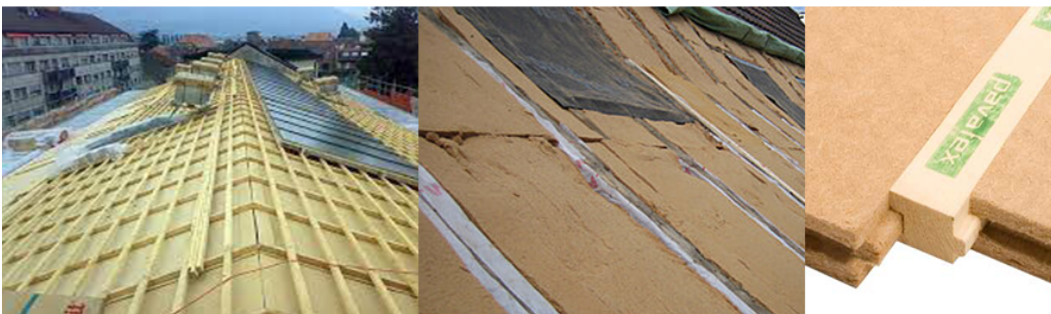
VANTAGGI

Questo materiale innovativo riduce considerevolmente il fabbisogno di energia per il riscaldamento di un edificio, ciò consente di risparmiare sui costi di riscaldamento riducendo le richieste energetiche del manufatto edilizio. L'applicazione di tali sistemi di coibentazione presentano ottimi valori di *embodied carbon*, in quanto nelle fibre di legno che lo compone è presente una grande quantità di anidride carbonica che durante la crescita viene assorbita dall'atmosfera. L'anidride carbonica così immagazzinata viene sottratta al ciclo globale, migliorando in questo modo il bilancio complessivo della CO₂.

CARATTERISTICHE AMBIENTALI



La composizione di tale materiale 100% naturale genera natural carbon sink



CONGLOMERATI A BASE DI MATERIE PRIME NATURALI - "REVSTONE"



 DESCRIZIONE

Il prodotto è realizzato mediante pressatura a secco di atomizzato ottenuto da impasti pregiati di materie prime naturali (argille, feldspati, ed inerti). Il supporto ottenuto viene successivamente smaltato e cotto a temperature superiori a 1200°C ottenendo una massa compatta, ingeliva, inassorbente e resistente agli attacchi chimici.

 CERTIFICAZIONI










 APPLICAZIONI





Il prodotto è applicato per finiture interne ed esterne con molteplici tonalità di colorazione e dimensione di lastra.



 PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

 Lucentezza	Lucido	 Durezza	Alta
 Traslucenza	25%	 Temperatura	Bassa
 Struttura	Chiusa	 Acustica	Bassa
 Odore	Nessuno		

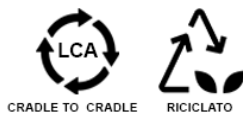
 PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

 Resistenza al fuoco	Alta
 Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
 Resistenza alle abrasioni	Media
 Peso	Alto

 VANTAGGI

Il truciolato di canapa è caratterizzato da piccoli alveoli colmi di aria di dimensioni nanometriche, che permettono il susseguirsi di continui processi di micro-condensazione ed evaporazione, fornendo così al prodotto un elevato isolamento termo-acustico e igrometrico. Ulteriori caratteristiche sono: una buona inerzia termica, la capacità di accumulare calore e di rilasciarlo lentamente, la riciclabilità e biodegradabilità a fine del ciclo di vita, la capacità di traspirazione che evita la formazione umidità interstiziali, l'assenza di fumi tossici in caso di incendio e il basso consumo di energia durante la fabbricazione.

 CARATTERISTICHE AMBIENTALI



Prodotto innovativo realizzato da impasti di materie prime naturali, compensando la produzione di CO₂

 **MEDIO**



FILM CON CAPACITA' DI ASSORBIMENTO INQUINANTI - "THE BREATH"



 DESCRIZIONE

La tecnologia del materiale si basa sulle proprietà di un tessuto multistrato di nuova concezione; è composto da due strati esterni in tessuto idrorepellente con proprietà battericide, antimuffa ed anti-odore e, uno intermedio in fibra adsorbente carbonica additivata da nanomolecole, capace di separare, trattenere e disgregare le micro particelle inquinanti e nocive presenti nell'atmosfera.

 CERTIFICAZIONI







 APPLICAZIONI





Applicazione come film protettivo indoor o outdoor sulle chiusure verticali al fine di intercettare inquinanti disgregandoli.



 PROPRIETA' DEL MATERIALE SENSORIALE

 Lucentezza	Opaco	 Durezza	Bassa
 Traslucenza	50%	 Temperatura	Media
 Struttura	Aperta	 Acustica	Bassa
 Odore	Nessuno		

 PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

 Resistenza al fuoco	Medio-Bassa
 Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
 Resistenza alle abrasioni	Alta
 Peso	Basso

 VANTAGGI

Il sistema "lavora" a impatto zero e in modalità del tutto passiva, ovvero non necessita di essere attivato né alimentato da fonti energetiche esterne, in quanto sfrutta unicamente la naturale circolazione dell'aria. Nello specifico il prodotto è progettato per attirare le molecole inquinanti all'interno della propria trama strutturale; grazie a nano molecole attivanti, gli inquinanti sono bloccati all'interno della struttura in tessuto senza possibilità di rilascio nell'ambiente. La tecnologia lavora grazie ad un sistema "three layer", ovvero tre parti attive con posizioni e ruoli differenti e complementari.

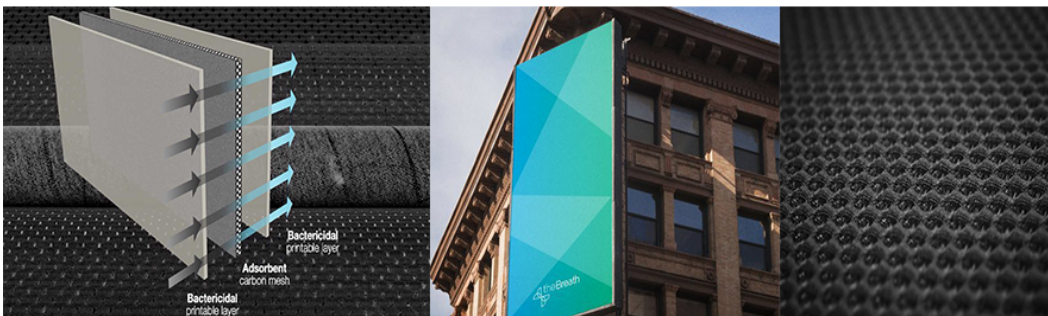
 CARATTERISTICHE AMBIENTALI



CRADLE TO CRADLE

Prodotto innovativo con elevate capacità di cattura e stoccaggio al suo interno di inquinanti

 MEDIO-ALTO



CALCESTRUZZO FOTOCATALITICO - "TX ACTIVE"



DESCRIZIONE

Azione catalitica generata dal biossido di Titanio nella forma anatasio e cemento, prodotto ecocompatibile certificato per malte, pitture, intonaci e pavimentazioni. Presente nelle specifiche di:

TX Aria (inquinamento) abbattimento del 30% della tossicità dell'aria;

TX Arca (estetica) ridurre l'effetto negativo dello sporco rappresentato da comuni particelle di polvere.



CERTIFICAZIONI



APPLICAZIONI

Può essere applicato in pavimentazioni in calcestruzzo, pavimentazioni in masselli autobloccanti, pavimentazioni a base di cemento e rivestimenti stradali, tegole in materiale cementizio, vernici per segnaletica stradale, tegole in calcestruzzo. In strutture verticali, rasanti e intonaci, pitture cementizie, pannelli prefabbricati, barriere di sicurezza e antrumore in calcestruzzo per strade, autostrade e in galleria.



PROPRIETA' DEL MATERIALE SENATORIALE

	Lucentezza	Lucido/Opaco		Durezza	Bassa
	Traslucenza	0-100%		Temperatura	Media-Alta
	Struttura	Aperta		Acustica	Bassa
	Odore	Nessuno			



PROPRIETA' DEL MATERIALE TECNICHE

	Resistenza al fuoco	Medio-Alta
	Resistenza agli agenti atmosferici	Alta
	Resistenza alle abrasioni	Media
	Peso	Basso



VANTAGGI

Grandi potenzialità per la sua funzione di abbattimento degli inquinanti (NOx).

Esempi d'utilizzo: per manti stradali (Borgo Palazzo, Bergamo) per gallerie con il sistema di vernice più lampade UV (Galleria Umberto I, Roma), per cementi autopulenti (Chiesa Dives in Misericordia, Roma) e per tegole cementizie.



CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Prodotto con azione fotocatalitica per la presenza del Biossido di Titanio in grado di disgregare il carbonio



ALTO



