

ABSTRACT TESI: La neutralità climatica entro il 2050 è un obiettivo prioritario e ridurre le emissioni di gas serra, aumentare l'efficienza energetica, e migliorare i processi di circolarità delle risorse sono gli imperativi che ricorrono negli strumenti normativi ed economici attuali. La presente Tesi, a partire dal tema centrale della mitigazione delle cause del cambiamento climatico, si pone al centro delle linee di Ricerca volte alla neutralità climatica focalizzandosi, attraverso l'applicazione dei principi della *circular economy*, quale presupposto alla *green economy*, sulla *Deep Energy-Zero Emission Renovation* attraverso il miglioramento dei processi di circolarità delle risorse idriche nella loro integrazione con quelle energetiche e sull'ottimizzazione della gestione all'interno dei Distretti Urbani, per misurarne la capacità effettiva di contribuire a ridurre le emissioni di gas serra in fase di uso e distribuzione da rete idrica. A partire da una sistematizzazione e da una sintesi delle informazioni acquisite ed elaborate durante tutto l'iter di Ricerca, la parte conclusiva della Tesi di Dottorato porta a delineare la fase di *output* divulgativo-scientifico dei risultati della Ricerca: il *tool* di calcolo e le linee guida, a servizio degli utenti finali e degli esperti del settore, per operare nei Distretti Urbani collocati in zone che subiscono un impatto di media criticità sui parametri climatici, al fine di migliorare il processo di circolarità della risorsa idrica e di ridurre in termini quantitativi le emissioni climalteranti correlate, con interventi che coinvolgono la dimensione dell'acqua, del suolo e dell'energia, in un'ottica sistemica di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e dei Distretti Urbani.

ABSTRACT THESIS: *Climate neutrality by 2050 is a priority objective and reducing greenhouse gas emissions, increasing energy efficiency, and improving the circularity processes of resources are the imperatives that recur in the regulatory and economic instruments. This Thesis, starting from the central theme of the mitigation of the causes of climate change, is at the centre of the Research lines aiming at climate neutrality by focusing, through the application of the principles of the circular economy, as a prerequisite for the green economy, on Deep Energy-Zero Emission Renovation through the improvement of the circularity processes of water resources in their integration with the energetic ones and on the optimization of the management within the Urban Districts, to measure their effective capacity to contribute to reduce energy and greenhouse gas emissions during water use and distribution. Starting from a systematization and a synthesis of the information acquired and processed throughout the Research process, the concluding part of this PhD Thesis leads to an outline of the output phase of the Research results: in parallel the calculation tool and the guidelines, at the service of users and experts, to operate in the most coherent way possible in Urban Districts located in areas that suffer an impact of medium criticality on climatic parameters, in order to improve the circularity process of the resource and to reduce the related climate-altering emissions in quantitative terms, with interventions involving the dimension of water, soil and energy, in a systemic perspective of decarbonisation of the existing building stock and urban districts.*

Deep Energy-Zero Emission Renovation
attraverso la circolarità delle risorse idriche

DOTTORANDO
Giada Romano

Dottorato di Ricerca
Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura

Sapienza Università di Roma | SAPIENZA UNIVERSITY OF ROME | ciclo CYCLE XXXV | nov. 2019 - jan. 2023
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 | Prof.ssa arch. Laura Ricci

Curriculum PROGETTAZIONE TECNOLOGICA AMBIENTALE
Curriculum ENVIRONMENTAL TECHNOLOGICAL DESIGN
Coordinatore Curriculum | Curriculum Chair
Prof. arch. Fabrizio Tucci

Deep Energy-Zero Emission Renovation

attraverso la circolarità delle risorse idriche nei Distretti Urbani

Dottorando | PhD Candidate Giada Romano
Supervisore | Supervisor Prof. arch. Fabrizio Tucci
Consulenti esterni | External advisors Prof.ssa arch. Serena Baiani
e Prof. ing. Francesco Mancini
Dipartimento Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura

Ciclo | Cycle XXXV
Novembre 2019 - Gennaio 2023



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

DOTTORATO DI RICERCA
Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura

COORDINATORE
Prof.ssa arch. Laura Ricci

CURRICULUM
Progettazione Tecnologica Ambientale

COORDINATORE CURRICULUM
Prof. Fabrizio Tucci

DEEP ENERGY-ZERO EMISSION RENOVATION

attraverso la circolarità delle risorse idriche nei Distretti Urbani

DOTTORANDO
Giada Romano

SUPERVISORE
Prof. arch. Fabrizio Tucci

CONSULENTI ESTERNI
Prof.ssa arch. Serena Baiani, Dipartimento PDTA
Prof. ing. Francesco Mancini, Dipartimento PDTA

CICLO XXXV
Novembre 2019 - Gennaio 2023



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Italy License.

Ringraziamenti

Primi tra tutti vorrei ringraziare i Docenti che mi hanno affiancato in questo percorso di Dottorato. Il professor Fabrizio Tucci che, dall'inizio del Dottorato mi ha inserito nel suo team di Ricerca facendomi entrare nel vivo di una delle tematiche più attuali della Progettazione Tecnologica Ambientale e che, percepita da subito la mia attenzione e sensibilità verso la risorsa idrica nonchè la mia propensione verso il settore energetico, mi ha proposto la "sfida" più stimolante che potessi auspicare di portare avanti, la presente Tesi di Dottorato; la professoressa Serena Baiani, la Docente con cui ho avuto la fortuna e l'opportunità di lavorare fianco a fianco durante tutto il triennio di Dottorato e che ha riconosciuto in me qualità e attitudini accademiche prima ancora che potessi scoprirle io stessa e mi ha dato lo spazio per lasciarle germogliare ed esprimerle, grazie all'autonomia che mi ha concesso, che mi ha permesso di crescere ed arricchirmi di conoscenza ed esperienze formative ogni giorno di più. Senza il suo costante supporto accademico, oltre che umano, probabilmente non sarei riuscita ad avere le sicurezze che ora sento di avere; il professor Francesco Mancini per avermi instillato la curiosità nei confronti del mondo della Ricerca universitaria già all'indomani della discussione della Tesi di Laurea, permettendomi di collaborare con lui su fronti accademici multidisciplinari e alimentando ulteriormente in me l'interesse per la Fisica Tecnica Ambientale e gli Impianti Tecnici.

Grazie ai colleghi di Dottorato con i quali ho avuto un interscambio e una stretta collaborazione continua, che si è trasformata nell'entusiasmo di condividere Ricerche, di maturare insieme accademicamente e nel piacere di intrecciare un rapporto di sincera stima reciproca.

Un ringraziamento al mio compagno Lorenzo e ai membri della mia famiglia che "da qui o dall'alto" partecipano ai miei piccoli traguardi quotidiani e che mi guardano crescere, rinunciando talvolta a del tempo trascorso insieme, perché condividono e rispettano l'impegno che sto portando avanti. In particolare un ringraziamento a mio nonno che, per primo, da quando ha saputo dell'ammissione al concorso di Dottorato ha creduto fermamente nelle mie potenzialità e mi ha supportato, finchè ne ha avuto le forze, gioendo delle mie soddisfazioni, come fossero le sue.

E grazie a Shila, Helios, Biscotto e Mora che mi hanno tenuto pazientemente compagnia sonnecchiando cullati dalla mia digitazione costante sui tasti del computer.

Ci si dimentica che il ciclo dell'acqua e il ciclo della vita sono una cosa sola.

Jacques-Yves Cousteau

INDICE

PARTE I INQUADRAMENTO DELLA RICERCA

CAPITOLO 1 INQUADRAMENTO DELLA RICERCA

- p. 21 1.1 Obiettivi della Ricerca e definizione delle Parole Chiave della Ricerca
- p. 23 1.2 Formulazione delle Questioni Chiave
- p. 25 1.3 Innovatività e scopo della Ricerca
- p. 27 1.4 Metodo di definizione della Ricerca
- p. 32 1.5 Struttura sintetica della Ricerca

PARTE II DEEP ENERGY-ZERO EMISSION RENOVATION, CIRCULAR E CLIMATE-NEUTRAL CITIES: CONTESTO LEGISLATIVO E PANORAMA INTERNAZIONALE DI RIFERIMENTO

CAPITOLO 2 QUADRO CONOSCITIVO DI RIFERIMENTO

- p. 41 2.1 Il Contesto legislativo in ambito internazionale
 - 2.1.1 Il Green Deal europeo, la definizione degli obiettivi al 2050 e i fondi economici a sostegno dello strumento legislativo
 - 2.1.2 Gli strumenti direttivi internazionali per l'attuazione del Green Deal europeo
 - 2.1.2.1 Le linee di azione mirate al Clima
 - 2.1.2.2 Le linee di azione mirate all'Energia
 - 2.1.2.3 Le linee di azione mirate ad Ambiente e Oceani
 - 2.1.3 Il Piano d'azione per l'Economia Circolare: il settore delle costruzioni e dell'edilizia e le azioni trasversali mirate alla neutralità climatica
 - 2.1.4 Le politiche specifiche dell'Unione Europea mirate alla risorsa idrica: acque superficiali, acque potabili, acque reflue urbane e strategie di riuso
- p. 67 2.2 Il contesto legislativo in ambito nazionale
 - 2.2.1 Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) e il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR): il recepimento delle direttive europee in ambito nazionale
 - 2.2.2 Regolazione della Qualità Tecnica del Servizio Idrico Integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI)
 - 2.2.2.1 La famiglia delle norme ISO 14060: ISO 14064 *Greenhouse gases* e ISO 14067 *Carbon footprint of the products*
 - 2.2.3 I Criteri Ambientali Minimi del settore edile e le specifiche progettuali a tutela della risorsa idrica
- p. 87 2.3 Considerazioni sul contesto legislativo nazionale ed internazionale
- p. 91 *References*

CAPITOLO 3 DEEP ENERGY-ZERO EMISSION RENOVATION, CIRCULAR E CLIMATE-NEUTRAL CITIES

- p. 99 3.1 La *Deep Energy-Zero Emission Renovation* degli edifici e dei Distretti Urbani
- p. 106 3.2 La Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e la Circolarità delle Risorse nel Distretto Urbano nell'ottica della *circular e climate-neutral city*
- p. 116 3.3 Il Rapporto "Verso la neutralità climatica delle Green City: approcci, indirizzi, strategie e azioni"

3.3.1 L'individuazione delle "100 città nella loro trasformazione sistemica verso la neutralità climatica" sulla scia della Missione europea "100 Climate-neutral cities by 2030 – by and for the citizens"

3.3.2. La definizione degli "assi strategici" per la *Deep Energy-Zero Emission Renovation* e la Circolarità delle Risorse nei Distretti Urbani

3.3.2.1 L'asse strategico "*Energy Transition*"

3.3.2.2 L'asse strategico "*Resources circularity and self-sufficiency*"

3.3.2.3 L'asse strategico "*CO₂ subtraction and storage*"

p. 125 3.4 Il ruolo della Circolarità della Risorsa Idrica per il raggiungimento dell'obiettivo di Decarbonizzazione del Distretto Urbano

3.4.1 Il settore idrico, l'obiettivo *net-zero* e le architetture *off-grid*

p. 149 3.5 Considerazioni sulle *circular e climate-neutral cities*

p. 151 *References*

CAPITOLO 4 ANALISI DEI CASI STUDIO SIGNIFICATIVI

- p. 161 4.1 Analisi dei 100 Casi Studio significativi. Definizione dei criteri di riferimento
- p. 168 4.2 Criterio 1: La risorsa idrica e la compresenza degli assi tematici *energy transition, natural resources circularity e CO₂ subtraction and storage*
- p. 172 4.3 Criterio 2: Apporto qualitativo delle risorse idriche nella riduzione delle emissioni di CO₂ a livello distrettuale
- p. 175 4.4 Criterio 3: Apporto quantitativo delle risorse idriche nella riduzione delle emissioni di CO₂ a livello distrettuale
 - 4.4.1 Caso Studio 1: Distretto di La Fleuriaye a Carquefou in Francia
 - 4.4.1.1 L'asse strategico "*Energy Transition*"
 - 4.4.1.2 L'asse strategico "*Resources circularity and self-sufficiency*"
 - 4.4.1.3 L'asse strategico "*CO₂ subtraction and storage*"
 - 4.4.2 Caso Studio 2: Quartiere di Hammarby a Stoccolma in Svezia
 - 4.4.2.1 L'asse strategico "*Energy Transition*"
 - 4.4.2.2 L'asse strategico "*Resources circularity and self-sufficiency*"
 - 4.4.2.3 L'asse strategico "*CO₂ subtraction and storage*"
- p. 199 4.5 Confronto e considerazioni sulle soluzioni emerse dall'approfondimento dei Casi Studio
- p. 203 *References*

CAPITOLO 5 PROBLEMATICHE EMERSE RISPETTO AGLI AMBITI TEMATICI DELLA RICERCA

- p. 209 5.1 Problematiche di origine antropica
 - 5.1.1 Il circolo vizioso dello spreco dell'acqua in ambito urbano: dai gestori del servizio idrico agli utenti finali
 - 5.1.2 Il potenziale noto ma sottovalutato della risorsa idrica nel processo di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e dei Distretti Urbani
- p. 218 5.2 Problematiche di origine naturale
 - 5.2.1 Mitigare le cause del cambiamento climatico e affrontarne in maniera adeguata le conseguenze
 - 5.2.2 I parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici: situazione attuale e proiezioni future

	5.2.2.1 Piovosità Annuale e stagionale		7.1.3.1 Calcolo delle emissioni di CO ₂ legate al fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
	5.2.2.2 Frequenza dei periodi di siccità		7.1.3.2 Calcolo delle emissioni di CO ₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
	5.2.2.3 Tasso di umidità contenuta nel suolo		
	5.2.2.4 Ricarica delle acque di falda		
	5.2.2.5 Tasso di evapotraspirazione stagionale		
p. 235	5.3 Considerazioni di sintesi sulle problematiche emerse e sui parametri ambientali analizzati	p. 316	7.2 Strumento di calcolo
p. 239	References		7.2.1 Fogli di calcolo del <i>tool</i>
			7.2.1.1 F. idrico_d.u. "varie"
			7.2.1.2 Emissioni_d.u. "varie"
			7.2.1.3 F. idrico_distretto urbano
			7.2.1.4 F. energetico_distretto urbano
			7.2.1.5 Emissioni_distretto urbano
PARTE III	STRATEGIE E SOLUZIONI DI INTERVENTO	p. 327	7.3 Individuazione e scelta del caso di studio in base ai parametri ambientali che subiscono un medio impatto dei cambiamenti climatici: il Quartiere INCIS-Decima situato nel quadrante sud-occidentale della città di Roma, Italia
CAPITOLO 6	DETERMINAZIONE DELLE STRATEGIE D'INTERVENTO E DELLE SOLUZIONI TECNOLOGICHE E IMPIANTISTICHE		7.3.1 Analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano allo stato di fatto
p. 248	6.1 Risparmio idrico e miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche attraverso una gestione sostenibile e il "responsible behaviour" degli utenti finali		7.3.1.1 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso <i>indoor</i> per edifici a destinazione d'uso residenziale
p. 260	6.2 Massimizzazione dell'efficienza energetica dei sistemi attivi a servizio del ciclo idrico integrato del Distretto Urbano, in funzione dei parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici		7.3.1.2 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso <i>indoor</i> per edifici a destinazione d'uso non residenziale
p. 265	6.3 Riduzione delle emissioni di CO ₂ legate al ciclo idrico integrato attraverso soluzioni tecnologiche e impiantistiche a scala dell'edificio e dell'intero Distretto Urbano		7.3.1.3 Calcolo della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale
p. 269	References		7.3.1.4 Calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate
CAPITOLO 7	DEFINIZIONE DEL METODO DI RICERCA, APPLICAZIONE AL CASO DI STUDIO E DEFINIZIONE DEI RISULTATI ATTESI		7.3.1.5 Calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi
p. 275	7.1 Metodo di Ricerca: il calcolo dei consumi idrici, dei consumi energetici legati al fabbisogno idrico e delle emissioni di CO ₂		7.3.1.6 Calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica
	7.1.1 I consumi idrici nei protocolli di sostenibilità: Itaca, Leed, Breeam		7.3.1.7 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano
	7.1.2 Metodo di calcolo adottato per il fabbisogno idrico del Distretto Urbano		7.3.1.8 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
	7.1.2.1 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso <i>indoor</i> per edifici a destinazione d'uso residenziale		7.3.2 Analisi delle emissioni di CO ₂ legate alle risorse idriche nel Distretto Urbano allo stato di fatto
	7.1.2.2 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso <i>indoor</i> per edifici a destinazione d'uso non residenziale		7.3.2.1 Calcolo della quantità di CO ₂ emessa nel segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale
	7.1.2.3 Calcolo della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale		7.3.2.2 Calcolo delle emissioni di CO ₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
	7.1.2.4 Calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate		7.3.3 Discussione dei risultati ottenuti dall'analisi dello stato di fatto e considerazioni sullo stato di fatto del Distretto Urbano a livello di risorse idriche
	7.1.2.5 Calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi	p. 354	7.4 Definizione dei 3 Scenari di riqualificazione
	7.1.2.6 Calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica		7.4.1 Scenario 1: <i>Light Energy-Zero Emission Renovation</i>
	7.1.2.7 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano		7.4.1.1 Definizione delle strategie di intervento e determinazione delle soluzioni progettuali alla scala dell'edificio e del Distretto Urbano
	7.1.2.8 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano		
	7.1.3 Metodo di calcolo della quantità di CO ₂ emessa nel segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale		

- 7.4.2 Scenario 2: *Medium Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.4.2.1 Definizione delle strategie di intervento e determinazione delle soluzioni progettuali alla scala dell'edificio e del Distretto Urbano
- 7.4.3 Scenario 3: *Deep Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.4.3.1 Definizione delle strategie di intervento e determinazione delle soluzioni progettuali alla scala dell'edificio e del Distretto Urbano
- p. 360 7.5 Applicazione del metodo allo Scenario 1: *Light Energy-Zero Emission Renovation* nel Quartiere INCIS-Decima
- 7.5.1 Analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Light Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.5.1.1 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale
- 7.5.1.2 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale
- 7.5.1.3 Calcolo della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale
- 7.5.1.4 Calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate
- 7.5.1.5 Calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi
- 7.5.1.6 Calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica
- 7.5.1.7 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano
- 7.5.1.8 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
- 7.5.2 Analisi delle emissioni di CO₂ legate alle risorse idriche nel Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Light Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.5.2.1 Calcolo della quantità di CO₂ emessa dal segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale
- 7.5.2.2 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
- 7.5.2.3 Calcolo della quantità di CO₂ risparmiata
- 7.5.3 Analisi economica degli interventi di *Light Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.5.4 Discussione dei risultati ottenuti e considerazioni sulle condizioni del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Light Energy-Zero Emission Renovation*
- p. 380 7.6 Applicazione del metodo allo Scenario 2: *Medium Energy-Zero Emission Renovation* nel Quartiere INCIS-Decima
- 7.6.1 Analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.6.1.1 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale
- 7.6.1.2 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale
- 7.6.1.3 Calcolo della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale
- 7.6.1.4 Calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate
- 7.6.1.5 Calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi
- 7.6.1.6 Calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica
- 7.6.1.7 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano
- 7.6.1.8 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
- 7.6.2 Analisi delle emissioni di CO₂ legate alle risorse idriche nel Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.6.2.1 Calcolo della quantità di CO₂ emessa dal segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale
- 7.6.2.2 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
- 7.6.2.3 Calcolo della quantità di CO₂ risparmiata
- 7.6.3 Analisi economica degli interventi di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.6.4 Discussione dei risultati ottenuti e considerazioni sulle condizioni del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*
- p. 403 7.7 Applicazione del metodo allo Scenario 3: *Deep Energy-Zero Emission Renovation* nel Quartiere INCIS-Decima
- 7.7.1 Analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.7.1.1 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano
- 7.7.1.2 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
- 7.7.2 Analisi delle emissioni di CO₂ legate alle risorse idriche nel Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*
- 7.7.2.1 Calcolo della quantità di CO₂ emessa dal segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale
- 7.7.2.2 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano
- 7.7.2.3 Calcolo della quantità di CO₂ risparmiata
- 7.7.3 Analisi economica degli interventi di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*

vation

7.7.4 Discussione dei risultati ottenuti e considerazioni sulle condizioni del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*

p. 417 7.8 Discussione dei risultati ottenuti: i tre scenari di *Light, Medium e Deep Energy-Zero Emission Renovation* a confronto

p. 425 *References*

CAPITOLO 8 OUTPUT DELLA RICERCA

p. 431 8.1 Il foglio di calcolo come strumento a servizio degli utenti finali e degli esperti del settore

p. 433 8.2 Le linee guida a servizio degli esperti per interventi di *Light, Medium e Deep Energy-Zero Emission Renovation* attraverso il miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche nei Distretti Urbani in zone che subiscono un impatto di media criticità in riferimento ai parametri climatici

PARTE IV CONCLUSIONI

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE DI RICERCA

p. 445 Conclusioni

p. 448 Prospettive future di ricerca

PARTE V REFERENCES

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI

p. 455 *References*

PARTE VI APPARATI DI SUPPORTO

p. 477 Pubblicazioni di rilevanza scientifica

p. 479 Attività scientifica, didattica e di Ricerca

Elenco delle Abbreviazioni

ARERA - Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente
BEWARE - BETter Water-management for Advancing Resilient-communities in Europe
BRE - Building Research Establishment
COM – Comunicazione della Commissione Europea
EA - Environment Agency
EC – Commissione Europea
EEA - European Environment Agency
EERE – Energy Efficiency & Renewable Energy
GBC – Green Building Council
GBPN - Global Buildings Performance Network
GUCE – Gazzetta Ufficiale Comunità Europea
GURI – Gazzetta Ufficiale Repubblica Italiana
GUUE – Gazzetta Ufficiale Unione Europea
I4C – Italy for Climate
IEA - International Energy Agency
IRENA - The International Renewable Energy Agency
IRP - International Resource Panel
IPCC – International Panel on Climate Change
MASE - Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
MATTM - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
MEF - Ministero dell'Economia e delle Finanze
MIT - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
MITE – Ministero della Transizione Ecologica
OJEU - Official Journal of the European Union
ONU – Organizzazione delle Nazioni Unite
SDG – Sustainable Development Goal
UN-WWAP - United Nations World Water Assessment Programme
UNEP - United Nations Environment Programme
WAREG - European Water Regulator
WE - Water Europe
WEF - World Economic Forum
WINT - Water intelligence
WWC - World Water Council

PARTE I

Inquadramento della Ricerca

CAPITOLO 1 Inquadramento della Ricerca

ABSTRACT (INGLESE)

The pandemic crisis that has affected most of the planet and which still continues to leave its mark, has highlighted, especially in Italy, the crucial importance that the house, the building in which we live, assumes in daily life: it has been an office for teleworkers, a nursery school or classroom for children, a place for shopping or digital entertainment for many; schools had to adapt to distance learning, health infrastructures were put to the test and we had to forcefully adapt to social distancing. Some effects of the pandemic risk lasting for a long time have created new needs that buildings, regardless of their intended use, must satisfy and which affect their energy profile and the sustainable use of resources. For this reason, it is even more necessary to renovate them in depth and on a large scale.

Cities are growing rapidly as well. Over the next three decades, almost 85% of Europe's population is expected to live in cities and globally, urban areas will see an increase to almost 7 billion people, which will be more than two-thirds of all humanity. Yet in this period cities will be less liveable due to climate change, unstable weather conditions and extreme weather events, and, in part, they already are; for this reason, it is necessary to focus on criteria that have a green and low carbon approach, aiming at encouraging broad-spectrum strategies, improving the existing building stock to jointly address the climate crisis and the relaunch of sustainable development based on the principles of the green economy.

It is therefore urgent that we focus on how to make not only buildings, but the entire urban environment, more efficient in terms of energy, exploitation and careful circularity of natural resources, less carbon intensive throughout their life and more sustainable. For this to happen, the application of the principles of the circular economy, as a prerequisite for the green economy, is essential for tackling the problem of the sustainable use of natural resources, which makes it possible to decouple the level of consumption of resources from that of economic activities and constitutes the key strategy for a profound redevelopment of urban districts, with the ultimate aim of reducing greenhouse gas emissions associated with the entire system.

The architectural and urban renewal, based on the Green City model, aims at improving, recovering and reusing the existing heritage, adopting an integrated approach through measures aiming at increasing the ecological characteristics of buildings and Urban Districts.

ABSTRACT

La crisi pandemica che ha investito la maggior parte del Pianeta e che tuttora continua a lasciare il proprio segno, ha messo in luce, in particolare modo in Italia, l'importanza cruciale che la casa, l'edificio in cui si abita, assume nella vita quotidiana: è stata un ufficio per i telelavoratori, una scuola materna o un'aula per i bambini, un luogo di acquisti o intrattenimento digitale; le scuole hanno dovuto adattarsi alla didattica a distanza, le infrastrutture sanitarie sono state messe a dura prova e ci si è dovuti forzatamente adattare al distanziamento sociale. Alcuni effetti della pandemia rischiano di permanere a lungo creando nuovi bisogni che gli edifici, indipendentemente dalla loro destinazione d'uso, devono soddisfare e che toccano il loro profilo energetico e l'uso sostenibile delle risorse, per questa ragione è ancora più necessario ristrutturarli in profondità e su vasta scala. Inoltre, le città stanno crescendo rapidamente. Nei prossimi tre decenni, si prevede che quasi l'85% della popolazione europea vivrà nelle città e che, su scala mondiale le aree urbane vedranno un aumento fino a quasi 7 miliardi di persone, che saranno più di due terzi dell'intera umanità. Eppure in questo periodo le città saranno meno vivibili a causa dei cambiamenti climatici, delle condizioni meteorologiche instabili e degli eventi meteorologici estremi, ed in parte già lo sono; per questo motivo è necessario puntare su criteri che abbiano un *green e low carbon approach*, volti ad incentivare strategie ad ampio spettro volte al miglioramento del patrimonio edilizio esistente per affrontare congiuntamente la crisi climatica e il rilancio dello sviluppo sostenibile basato sui principi della *green economy*. È pertanto urgente che ci si concentri su come rendere non soltanto gli edifici, ma l'intero ambito urbano, più efficiente sotto il profilo energetico, dello sfruttamento e di un'attenta circolarità delle risorse naturali, a minore intensità di carbonio durante tutto il loro ciclo di vita e più sostenibili. Perché questo accada, l'applicazione dei principi della *circular economy*, quale presupposto alla *green economy*, risulta fondamentale per affrontare il nodo dell'utilizzo sostenibile delle risorse naturali, che consente di disaccoppiare il livello del consumo di risorse da quello delle attività economiche e costituisce la strategia chiave per una riqualificazione profonda dei Distretti Urbani, con il fine ultimo di ridurre le emissioni di gas serra associate all'intero sistema. Il rinnovamento architettonico e urbano secondo il modello della *Green City* mira a migliorare, recuperare e riutilizzare il patrimonio esistente, adottando un approccio integrato attraverso misure volte ad incrementare le caratteristiche ecologiche degli edifici e dei Distretti Urbani.

1.1 Obiettivi della Ricerca e definizione delle Parole Chiave della Ricerca

La definizione dei macro-obiettivi della Ricerca è stata delineata a partire dalle esperienze di ricerca in cui, fin dall'inizio del Dottorato, il coinvolgimento è stato molto importante. La partecipazione al Gruppo di Ricerca del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale PRIN 2017 «TECH-START - *Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy - Convergent innovation in the open space/building system for Climate Mitigation*» (2019-2021), di cui è Responsabile Scientifico dell'Unità Operativa Roma-Sapienza il prof. Fabrizio Tucci, ha permesso di identificare la mitigazione delle cause del cambiamento climatico, come tema centrale del lavoro di tesi, per definire strategie, azioni e soluzioni, rigorosamente connesse ai principi della *green economy*, orientate a rafforzare l'assorbimento e la rimozione dei gas ad effetto serra, per affrontare, nella filiera delle costruzioni, la sfida determinata dalla crisi climatica, nell'ottica della *Green City* e dell'*eco-district*.

La definizione, nell'ambito della prima fase di ricerca del progetto PRIN, di un'attenta e scrupolosa *review* della letteratura scientifica e degli strumenti normativi europei più urgenti, ha permesso di definire le questioni aperte e determinare l'obiettivo-cardine della Ricerca su cui si è inserito lo sviluppo della tesi di dottorato: la Decarbonizzazione del patrimonio edilizio e dei Distretti Urbani, nella loro dimensione multi-scalare, con target di riduzione delle emissioni di CO₂ del 50% al 2030 ed azzeramento al 2050. A partire dalla *literature review* sono, infatti, emersi i concetti chiave del campo di ricerca, i confini concettuali degli argomenti emersi, i 10 assi strategici del *green city approach*, e la definizione delle 9 parole-chiave, su cui lavorare.

In particolare, i 4 assi strategici del *green city approach* che guidano la presente Ricerca e che, a partire dagli assi strategici definiti nell'ambito della Ricerca PRIN, sono stati poi ripensati e caratterizzati per il lavoro di Ricerca di Dottorato, sono riconducibili a:

1. Attuazione dei processi di *Deep Energy Renovation* della città, nell'ambito e nella scala del *District*, verso il modello *Zero Emission*;
2. Attuazione dei processi di *Mass Energy and Bioclimatic Retrofit* del patrimonio architettonico esistente, verso il modello *Decarbonization*;
3. Attuazione dei processi di gestione circolare delle risorse fisiche naturali, in particolare idriche;
4. Valorizzazione della componente naturale blu come *Green-Blue Ecosystem Service*, nell'ambito e nell'ottica dell'*Eco-District* e della *Green City*, in particolare nel rapporto tra risorsa idrica e capacità di riduzione delle emissioni di CO₂.

Tali assi strategici hanno portato poi alla definizione delle Parole Chiave di pertinenza della Ricerca: *Deep Energy-Zero Emission Renovation* e Gestione Circolare delle Risorse Idriche.

1.2 Formulazione delle Questioni Chiave

A seguito della definizione degli obiettivi strategici, degli assi strategici e parallelamente alla definizione delle Parole Chiave della Ricerca, sono state formulate le Questioni Chiave a partire da quesiti aperti e trasversali a più temi di ricerca, condotti all'interno del GdR Roma-Sapienza.

La Questione Chiave attorno alla quale si articola la presente Ricerca deriva dalla definizione di strategie e azioni su due assi di intervento che trovano applicazione nella dimensione del Distretto Urbano, operando su piani distinti e correlati, entrambi in risposta al quesito sulle modalità per ottenere una reale e consistente Decarbonizzazione nell'architettura e nello spazio urbano (con target del 50% al 2030 e di azzeramento al 2050).

Il primo asse di intervento comprende la sottrazione, la conversione e lo stoccaggio di CO₂ da fonte antropica urbana, con riferimento alle categorie di soluzioni "*green*" e "*grey*", l'altro, sviluppato nella Tesi di dottorato, è orientato alla diminuzione delle emissioni di CO₂ da fonte antropica, con particolare riferimento alla circolarità delle risorse naturali, specificatamente idriche, attraverso azioni di *self-sufficiency* nella gestione sostenibile dell'acqua in relazione a *environmental awareness*, *responsible behaviour* degli utenti e dei cittadini, nonché ai temi di riduzione del fabbisogno e efficientamento energetico.

Ridurre le emissioni nocive, aumentando l'*environmental awareness* e il *responsible behaviour* degli utenti e dei cittadini per ottenere maggiore consapevolezza e maggior benessere sono obiettivi strettamente connessi: il miglioramento delle condizioni abitative e una maggiore integrazione dell'edificio nell'ambiente che lo circonda, uniti alla necessità di garantire un elevato livello di qualità interna degli ambienti ed il miglioramento dei processi di circolarità delle risorse naturali assumono un ruolo di fondamentale importanza e sono requisiti che manifestano quanto sia indispensabile cominciare a muoversi verso una progettazione *green* e *low carbon* fortemente integrata da criteri e soluzioni volti ad ottenere elevate prestazio-

ni alle varie scale di intervento, dal ciclo integrato dell'acqua nelle varie fasi fino alla scala del Distretto Urbano e del singolo edificio, attraverso l'attivazione di circoli virtuosi di produzione-uso-produzione, che considerino infrastrutture e risorse naturali come strumenti da re-immettere in un nuovo ciclo senza essere dispersi.

1.3 Innovatività e scopo della Ricerca

Dalla definizione dei concetti degli obiettivi-cardine della Ricerca e delle Parole Chiave della Ricerca PRIN, sopra esposti, si arriva a delineare, secondo un approccio olistico, un tool per sperimentare nuove soluzioni per la riqualificazione profonda, a zero emissioni, degli edifici esistenti e nella rigenerazione dei Distretti Urbani, approfondendo gli effettivi benefici che la circolarità delle risorse idriche, in una gestione consapevole e sostenibile, determina nella riduzione delle emissioni di CO₂, attraverso un sistema integrato di linee di azione fra loro combinate.

In particolare, le risorse idriche possono essere misurate secondo diversi parametri e a diverse scale: il settore idrico nasconde un elevato potenziale nell'ottica della riduzione delle emissioni di carbonio. Progettare il ciclo integrato delle acque in maniera resiliente e smart significa sfruttare l'energia incorporata nei flussi idrici per promuovere una gestione delle acque reflue a emissioni zero e contribuire al raggiungimento dell'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050, integrando i diversi flussi che attraversano il sistema urbano, per realizzare pienamente i principi dell'economia circolare.

Coerentemente da quanto emerge dall'approfondimento del quadro normativo di riferimento, l'efficienza idrica, dopo l'efficienza energetica, costituisce la prima linea di azione europea, in cui individuare le strategie di intervento per una decarbonizzazione dei Distretti Urbani a partire dal contributo delle risorse idriche.

Obiettivo della Ricerca è, in tale contesto, esplicitare i molteplici rischi legati al consumo non corretto delle risorse idriche, che non vanno più considerate come un bene esauribile, da salvaguardare nell'ottica della circolarità per rendere chiare le modalità di valorizzazione di una risorsa poliedrica e preziosa, da utilizzare per molteplici scopi: da elemento passivo per la sottrazione di CO₂ dall'ambiente a strumento attivo, in quanto produttore di energia interamente da fonte rinnovabile.

L'innovatività e la potenzialità di avanzamento delle conoscenze che la ricerca sottende, risiedono nella misura e nell'analisi della ridu-

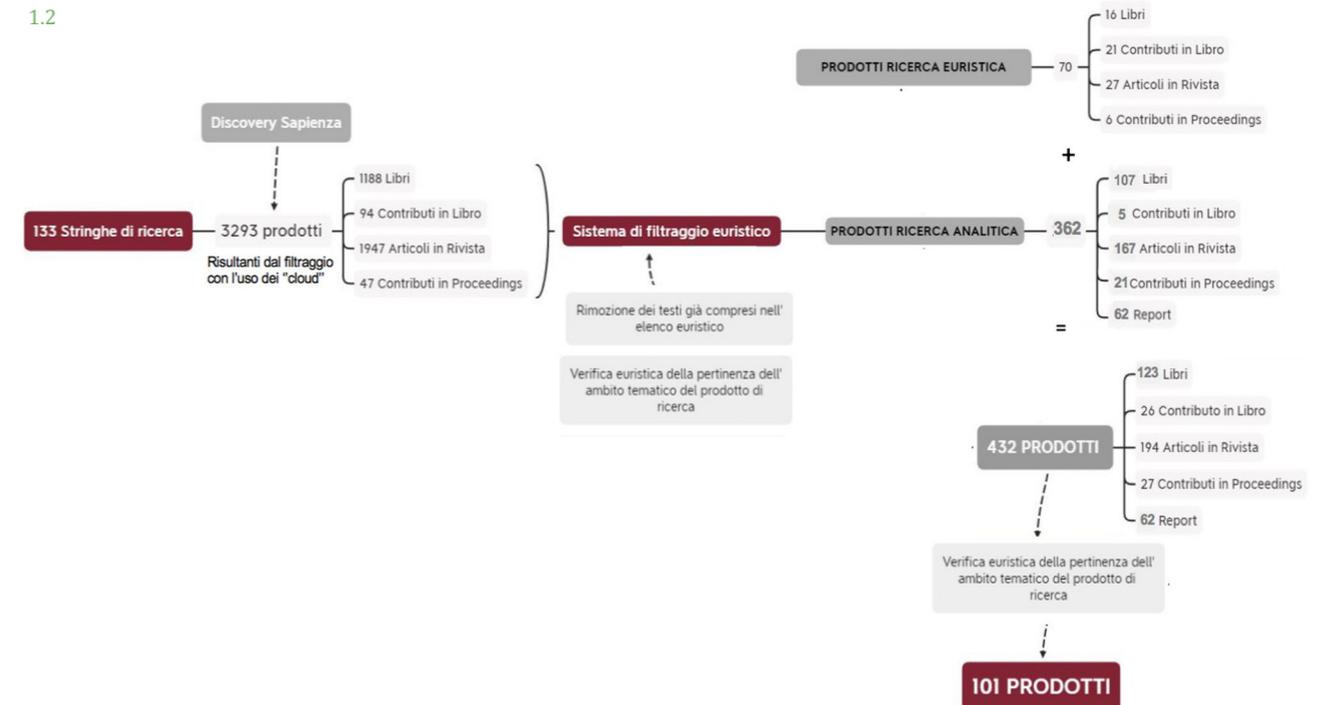
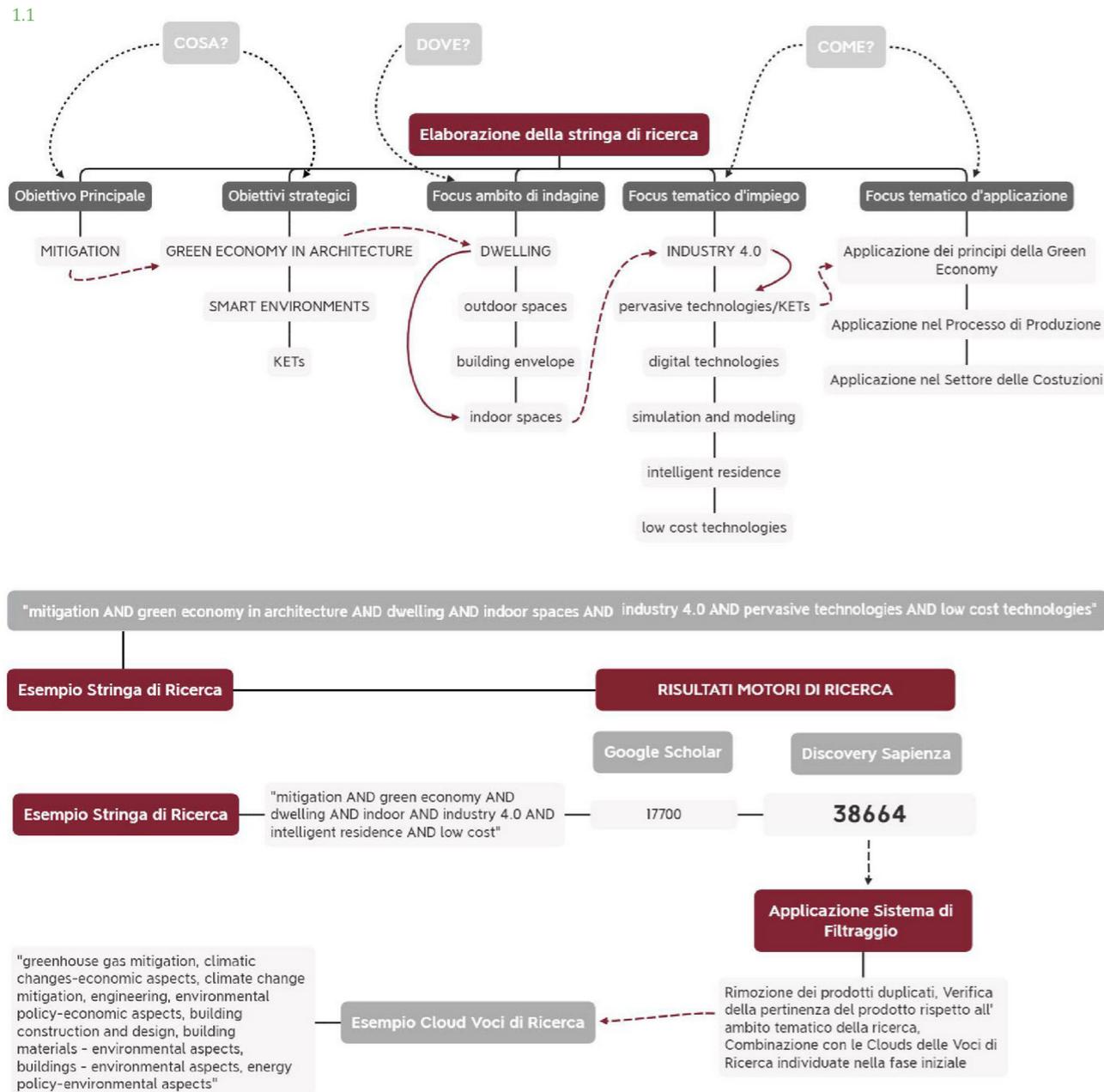
zione degli sprechi idrici, nella duplice ottica di limitare la perdita di una risorsa scarsa e di ridurre, allo stesso tempo, la quantità di energia utilizzata e di gas serra emessi nell'uso dell'acqua, non solo secondo un sistema di soluzioni tecniche già note, ma definendo le strategie di intervento in base ai parametri antropici e climatici locali, validate su casi pilota, per misurare gli effettivi dati di sottrazione di CO₂ che possono essere raggiunti: per valutare l'impatto che il miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche e dell'energia ha in termini di decarbonizzazione e di ottimizzazione delle condizioni di comfort ambientale, sulla base dell'analisi dei parametri climatici di precipitazioni annue, dei periodi di siccità, dell'umidità del suolo della disponibilità delle acque di falda e del tasso di evapotraspirazione stagionale.

I prodotti della Ricerca sono riferibili a due livelli di strumenti: un *tool* di calcolo che sia di supporto nell'analisi dei fabbisogni idrici e delle emissioni di CO₂ legate alla gestione del singolo edificio e al ciclo integrato delle acque alla scala del Distretto Urbano; un quadro di strategie replicabili, integrate, di conservazione dell'acqua, efficienza energetica, riutilizzo e gestione sostenibile della risorsa a basso impatto ambientale, mirate a ridurre i consumi di energia e le emissioni di gas serra, fondamentali nel progetto e come strumento di divulgazione per accrescere il *responsible behaviour* di utenti e cittadini.

1.4 Metodo di definizione della Ricerca

Il processo metodologico del progetto di Ricerca si articola in quattro fasi: la prima fase istruttoria e la seconda fase analitico-interpretativa, che definiscono la lettura del contesto scientifico e dei presupposti teorici per la definizione del campo d'indagine, l'analisi del panorama culturale e l'approfondimento dei riferimenti normativi, a livello nazionale e comunitario, utili alla definizione degli obiettivi e delle questioni chiave; la terza fase, strumentale-applicativa, approfondisce la definizione dei criteri di selezione e la scelta dei casi studio significativi, per la riqualificazione profonda a zero emissioni del patrimonio edilizio esistente, nel panorama nazionale ed internazionale; la quarta fase sintetico-valutativa individua i temi strategici e il focus di indagine su cui svolgere la sperimentazione al fine di trarre delle conclusioni critiche, a partire dai dati acquisiti, attraverso la programmazione di un tool di calcolo semplificato e la formulazione di best practices a supporto degli esperti nel settore.

La fase istruttoria, a partire dal posizionamento della Ricerca e delle priorità dell'Unità di Ricerca della Sapienza all'interno del PRIN, è articolata su due livelli distinti: il primo livello è basato su un metodo di ricerca euristica, ovvero un'impostazione iniziale della *literature review* e delle domande iniziali della Ricerca attraverso il background conoscitivo individuale di tutti i membri componenti dell'Unità di Ricerca. La ricerca analitica, attraverso la definizione di stringhe di ricerca da inserire sui motori di ricerca inter-ateneo, nazionali e internazionali, amplia la ricerca alle aree multidisciplinari fino ad arrivare a circoscriverla e a specializzarla rispetto all'area tecnica di ingegneria-architettura. La combinazione dei dati acquisiti attraverso entrambi i livelli di ricerca euristica e analitica ha portato all'individuazione di oltre 55 mila prodotti tra libri, singoli contributi in libri, articoli in rivista e contributi in atti di convegni: tali prodotti sono successivamente stati oggetto di approfondimento e selezione critica, dapprima da parte dei membri esperti dell'Unità di Ricerca, e poi dall'autrice che, nella seconda fase della ricerca, la fase analitico-interpretativa ha esercitato una ulteriore selezione



più mirata e dettagliata rispetto agli obiettivi, alle questioni-chiave e agli ambiti tematici della presente Ricerca. Questi documenti saranno condivisi, esplicitati nel dettaglio e discussi nei Capitoli 2 e 3.

Una volta dichiarati gli obiettivi della Ricerca legati alla mitigazione delle cause del cambiamento climatico e alla decarbonizzazione dei Distretti Urbani nella dimensione multi-scalare con target di riduzione delle emissioni di CO₂ del 50% al 2030 e azzeramento al 2050, delineate le questioni chiave su cui si sofferma la Ricerca, analizzata la *literature review* di pertinenza e definito lo scopo ultimo della Ricerca, nella fase successiva, la terza fase strumentale-applicativa, sono stati individuati, analizzati e scelti 100 casi studio significativi, con particolare riferimento all'ambito della riqualificazione profonda del patrimonio edilizio esistente e dell'impatto ambientale legato alla riduzione delle emissioni di CO₂ grazie al miglioramento dei processi di circolarità delle risorse nei Distretti Urbani, nell'ambito del Programma "100 Climate-neutral cities by 2030 - by and for the citizens" della Commissione Europea finalizzato a supportare,

Didascalia alle immagini.
1.1. Workflow della ricerca analitica dei documenti durante la fase istruttoria.
1.2. Definizione delle stringhe di ricerca e selezione euristica dei prodotti trovati attraverso la ricerca analitica

promuovere e mostrare cento città europee nella loro trasformazione sistemica verso la neutralità climatica, rendendole degli *hub* di innovazione che possano ispirare altre città attraverso una vera e propria missione di trasformazione seguendo un approccio olistico. In questo senso sono varie le soluzioni adottate dalle città e dai Distretti Urbani, a dimostrazione della multi-scalarità degli interventi attuabili e dei molteplici benefici raggiungibili grazie agli interventi alle varie scale, per questa ragione, dopo una analisi dei 100 casi si è resa necessaria la definizione di un criterio di selezione per arrivare a restringere il numero dei casi studio di Distretti Urbani e quartieri in base alla pertinenza con il tema specifico di Ricerca e alle strategie di intervento legate al miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche. Tale selezione ha permesso di restringere ulteriormente il numero di casi a 7 e successivamente a 2 casi studio, entrambi ultimati ed entrambi europei, che poi saranno esplicitati e descritti nel dettaglio all'interno del Capitolo 4.

Al termine della fase strumentale-applicativa si è delineato l'ambito tematico della Ricerca: la riqualificazione profonda a zero emissioni di edifici esistenti attraverso la valorizzazione del ruolo delle risorse idriche per l'individuazione di strategie volte all'integrazione delle soluzioni passive più prettamente tecnologiche, con le soluzioni attive legate alla sfera impiantistica, con l'intento di farle coesistere e collaborare l'una con l'altra per la riduzione delle emissioni di CO₂. Questo intento è stato poi ulteriormente perfezionato, alla luce dell'analisi delle problematiche emerse durante la quarta fase di ricerca, la fase sintetico-valutativa che ha portato alla definizione dei temi strategici, nonché assi portanti, della ricerca proposta: il miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche attraverso una gestione sostenibile e il responsible behaviour di utenti e cittadini; la massimizzazione dell'efficienza energetica dei dispositivi attivi a servizio del ciclo idrico integrato in funzione dei parametri antropici e climatici annui dei Distretti Urbani e la riduzione delle emissioni di CO₂ legate al ciclo integrato delle acque in ambito urbano.

A seguito della definizione dei Temi Strategici, sempre durante la fase di ricerca sintetico-valutativa, è avvenuta la circoscrizione del focus di indagine con la definizione del metodo di ricerca e dell'applicazione di tale metodo, che hanno reso necessaria una ulteriore articolazione in quattro sotto-fasi per arrivare poi alla definizione

dei Risultati attesi: 1) scelta del caso pilota in base ai parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici in misura media (quali la piovosità annua e stagionale, la frequenza dei fenomeni di siccità, il tasso di umidità contenuta nel suolo, la ricarica delle acque di falda e il tasso di evapotraspirazione stagionale). Una volta individuata l'area geografica del caso pilota si è proceduto con l'analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano individuato allo stato di fatto, nonché al calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla fase di distribuzione e uso nel servizio acquedotto del ciclo integrato delle acque, attraverso il reperimento di informazioni a livello nazionale e europeo e l'elaborazione dei dati reperiti tramite un tool di calcolo creato espressamente per lo scopo; 2) realizzazione dei tre scenari di riqualificazione: *light, medium e deep* a zero emissioni del patrimonio edilizio esistente attraverso operazioni di recupero, riciclo e riuso delle acque piovane basate su un ciclo integrato di soluzioni tecnologiche e impiantistiche, di scenario in scenario sempre più efficiente, in stretta correlazione con le condizioni climatiche attuali e previste, con il ciclo naturale di precipitazioni, scorrimento superficiale e scorrimento sotterraneo per la posizione geografica individuata; 3) analisi, organizzazione e restituzione dei risultati ottenuti in termini di riduzione delle emissioni di carbonio per ciascuno degli scenari di riqualificazione applicati sul caso pilota scelto, sintesi critica ottenuta dall'incrocio dei risultati emersi e divulgazione dei risultati raggiunti; 4) condivisione del tool di calcolo semplificato utilizzato per il calcolo degli indicatori e parametri di misurazione del fabbisogno idrico e delle emissioni di CO₂ correlate a livello del singolo edificio, degli edifici suddivisi per destinazione d'uso e dell'intero Distretto Urbano, come strumento di calcolo a supporto di studenti di master e laureandi, dell'intera comunità scientifica, degli utenti finali e degli esperti nel settore.

1.5 Struttura sintetica della Ricerca

La struttura della Tesi di Dottorato riflette l'articolazione dell'intera Ricerca in tutte le fasi, descritte nel paragrafo precedente, delineate, affrontate, approfondite e sperimentate nel corso dei tre anni.

Il Capitolo 1 anticipa l'iter della Ricerca, a partire dagli Obiettivi fino all'Innovatività e allo Scopo, illustrandone anche il Metodo adottato e la Struttura.

Il Capitolo 2 esamina quanto emerso dalla *literature review* svolta durante la fase analitico-interpretativa della ricerca e si concentra, in particolare, sul quadro conoscitivo della legislazione di riferimento, all'interno del quale sono riportate le attuali normative vigenti, i requisiti e i futuri obiettivi programmati, sia in ambito internazionale che nazionale, sui temi della sostenibilità ambientale, della riduzione dell'impatto antropico fino ad arrivare ad un "impatto climatico zero", della circolarità delle risorse naturali e, in particolare, delle risorse idriche. Il capitolo rappresenta la cornice legislativa, a partire dalle Direttive Europee fino ad arrivare alle acquisizioni e ai recepimenti su scala nazionale, all'interno del quale la Tesi va ad inserirsi.

Il Capitolo 3 definisce, nell'ambito della *literature review*, lo stato dell'arte sui temi principali della Ricerca: aspetti definitivi, strategie e soluzioni orientate alla *Deep Energy-Zero Emission Renovation* mirata alla Decarbonizzazione dei Distretti Urbani; flussi circolari delle risorse naturali nei Distretti Urbani (con una lettura a carattere internazionale) per delineare un posizionamento nazionale delle *circular e climate-neutral cities*, su due focus tematici: il Rapporto "Verso la neutralità climatica delle *Green City*: approcci, indirizzi, strategie e azioni" le cui ricerche dei 100 casi studio e degli approcci utilizzati da Distretti Urbani e Quartieri, per la riduzione delle emissioni di CO₂, sono state svolte all'interno del Dipartimento PDTA; il ruolo della circolarità della risorsa idrica in ambito urbano e i setto-

ri chiave, legati al ciclo integrato delle risorse idriche e all'approvvigionamento idrico urbano, per l'abbattimento delle emissioni di gas serra, fino al raggiungimento dell'obiettivo *net-zero water*.

All'interno del Capitolo 4 vengono individuati i casi studio significativi, a partire dal *database* di cento casi raccolti per la stesura del Rapporto citato nel Capitolo 3, tra Distretti Urbani e Quartieri, in parte ancora in costruzione e in parte già realizzati e in fase avanzata di sperimentazione, con una forte vocazione *green* rivolta alla neutralità climatica. A partire dai cento casi studio, sono illustrati i criteri di selezione che hanno portato fino all'individuazione di 2 casi studio, i più significativi ai fini dell'indagine, di cui è esposto un approfondimento di dettaglio, per individuare, in modo chiaro, strategie, soluzioni, parametri dimensionali e dati numerici che ne definiscono l'apporto quantitativo, oltre che qualitativo, per il conseguimento dell'obiettivo di *climate-neutral District*.

Il Capitolo 5 introduce la quarta fase, sintetico-valutativa, della Ricerca, attraverso l'esposizione e l'analisi delle problematiche che sono state evidenziate dalla lettura e dall'analisi del quadro normativo di riferimento, nell'attuale dello stato dell'arte, per definire gli obiettivi della Ricerca dal punto di vista antropico e climatico: le problematiche emerse, di origine antropica, si legano prevalentemente agli sprechi e alla scorretta gestione della risorsa idrica nell'intero processo edilizio, dalla costruzione all'uso da parte dell'utente finale, nonché alla mancanza di uno strumento legislativo che regoli e definisca in maniera chiara e univoca, l'impronta idrica e il ruolo della risorsa idrica all'interno del quadro di strategie di riduzione degli impatti antropici. Le problematiche, maggiormente collegate alla risorsa naturale nel quadro dei cambiamenti climatici, si concentrano sulla necessità di affrontare le cause e le conseguenze dello stress idrico, attraverso l'applicazione di strategie appropriate per la mitigazione e lo studio mirato della definizione della situazione attuale e delle proiezioni future dei parametri ambientali, da cui dipendono direttamente le risorse idriche, che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici (parametri di piovosità annua e stagionale, frequenza dei fenomeni di siccità, tasso di umidità contenuta nel suolo, ricarica delle acque di falda e tasso di evapotraspirazione stagionale), parametri-cardine per la definizione e la scelta del caso pilota sviluppato nella fase applicativa.

Il Capitolo 6 illustra, in maniera puntuale, i temi strategici della fase applicativa della Ricerca, definiti sulla base delle analisi, articolati su tre aspetti che hanno forti ricadute dal punto di vista ambientale, sociale ed economico: il miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche; l'efficientamento energetico dei dispositivi attivi a servizio dell'intero ciclo idrico integrato, in base alla posizione geografica e alle condizioni climatiche del Distretto Urbano; la riduzione delle emissioni di CO₂ connesse all'intero ciclo idrico integrato. Il quadro delle macro-strategie di intervento, così elaborato, è sotto articolato in sotto-strategie di carattere operativo e in soluzioni tecnologiche e impiantistiche, finalizzate ad attuare quanto delineato nelle strategie-chiave.

Nel Capitolo 7 è approfondito il focus di indagine, con la definizione del metodo di sperimentazione e calcolo, verificato sul Quartiere INCIS-Decima, il caso pilota, situato nel quadrante sud-occidentale della città di Roma, selezionato per le caratteristiche specifiche di quartiere di Edilizia Residenziale Pubblica, poi privatizzata, e per la localizzazione nel centro-Italia, una delle Zone a criticità media per l'impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche.

Esplicitato il metodo e lo strumento utilizzato per il calcolo del fabbisogno idrico del Distretto Urbano e della quantità di CO₂ emessa, nella fase di distribuzione e uso, dal ciclo integrato delle acque, a livello distrettuale, questo è applicato al caso pilota, in due fasi.

La prima per l'analisi dello stato attuale del fabbisogno idrico e delle emissioni di CO₂; successivamente per delineare tre scenari di intervento: *Light Energy-Zero Emission Renovation* (articolato in interventi possibili per gli utenti finali, e in interventi necessari da parte dei gestori del servizio idrico); *Medium Energy-Zero Emission Renovation*; *Deep Energy-Zero Emission Renovation*. Gli scenari si differenziano nella definizione delle strategie e nella simulazione degli effetti, in fase applicativa, delle soluzioni corrispondenti al livello *Light*, *Medium* e *Deep*, mirate alla riduzione del fabbisogno idrico e delle emissioni di CO₂.

Al termine della sperimentazione è costruita una analisi articolata dei costi di ogni intervento. I risultati ottenuti sono discussi in riferimento alle valutazioni specifiche degli interventi proposti in ogni scenario. I risultati derivanti dai tre livelli di sperimentazione sono messi a confronto, nella fase finale del lavoro, per una corretta interpretazione dei dati emersi.

Il Capitolo 8 restituisce i prodotti della Ricerca. Il *tool* di calcolo semplificato, programmato e utilizzato nella sperimentazione sul caso pilota, è illustrato in modo dettagliato, parallelamente alla definizione delle linee guida (a servizio degli utenti finali e degli esperti del settore) a supporto della scelta di azioni per il miglioramento della circolarità delle risorse idriche nei Distretti Urbani, in base ai diversi scenari di intervento di riqualificazione.

Le conclusioni aprono alle prospettive future di ricerca che richiedono necessariamente una valutazione dello strumento in localizzazioni geografiche diverse, per valutare gli impatti specifici dei cambiamenti climatici, evidenti sui parametri ambientali in esame, ampliando la sperimentazione su aree che, nella proiezione al 2100, subiscono forti o limitati/nulli impatti.

I riferimenti bibliografici, riportati al termine di ogni Capitolo per facilità di lettura, sono raccolti a chiusura del lavoro per restituire un quadro ampio dello stato dell'arte analizzato. Gli apparati di supporto completano il lavoro, attraverso l'elenco delle pubblicazioni, di rilevanza scientifica, che restituiscono la disseminazione dei risultati *in progress* della Ricerca e gli esiti di ulteriori ricerche affrontate su temi complementari e il dettaglio dell'attività scientifica, didattica e di Ricerca svolta durante il triennio di Dottorato.

PARTE II

*Deep Energy-Zero Emission Renovation,
circular e climate-neutral cities*

contesto legislativo e panorama internazionale di riferimento

CAPITOLO 2 Quadro conoscitivo di riferimento

ABSTRACT (INGLESE)

In the plan for the 2030 Climate Objective, the European Commission proposes to reduce net greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030 compared to 1990 levels and, to tackle these climate-related and environmental challenges in a concrete way, Through the European Green Deal, Europe aims at achieving the goal of climate neutrality by 2050. It is a new growth strategy that aims at transforming the EU into a resource-efficient society where there are no net emissions of greenhouse gases in 2050 and in which economic growth is decoupled from the exploitation of resources, as also clearly outlined in the Action Plan for the Circular Economy. Among the clean energy objectives of the European Green Deal are those of: interconnecting energy systems and more effectively connecting/integrating renewable energy sources into the grid; promoting innovative technologies and modern energy infrastructure; increasing energy efficiency; decarbonising the gas and energy sector and promoting smart integration between the different sectors. To achieve these ambitious goals, action is needed: energy production and use account for over 75% of EU greenhouse gas emissions and 40% of our energy consumption is from buildings. A renovated and upgraded building stock in the EU will help pave the way for a decarbonised and clean system, but only 1% of the buildings undergo energy-efficient renovation each year, so effective action is crucial to make Europe climate neutral by 2050. To cut emissions by 55% by 2030, the EU would need to reduce greenhouse gas emissions from buildings by 60% and their final energy consumption by 14%: currently the annual percentage of the EU building stock undergoing some level of refurbishment is only 11%, and very rarely works concern the energy performance of buildings. In the EU as a whole, every year only 0.2% of the building stock undergoes deep renovations that reduce energy consumption by at least 60% and aim at the circularity of natural resources. Furthermore, among the various environmental challenges that cities have to face is that of the increase in water stress which is not limited only to drought: the excessive abstraction of water, in particular for irrigation purposes, but also for urban development, are among the main threats to the EU's aquatic environment. Since 2012, regulatory instruments have been implemented by the European Commission, updated with respect to the water framework directive, and aimed at safeguarding water resources since it is believed that the reuse of water for irrigation or domestic purposes has a lower environmental impact, with an important contribution in reducing the load of pollutants and potentially lower costs and lower energy consumption compared to other alternative water supplies.

ABSTRACT

Nel piano per l'Obiettivo Climatico 2030, la Commissione Europea propone di ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 e, per affrontare queste sfide legate al clima e all'ambiente in maniera concreta, l'Europa, attraverso il *Green Deal* europeo, mira a raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050. Si tratta di una nuova strategia di crescita che mira a trasformare l'UE in una società in cui non ci siano emissioni nette nel 2050 e in cui la crescita economica sia disaccoppiata dallo sfruttamento delle risorse, come delineato nel Piano di Azione per l'Economia Circolare. Tra gli obiettivi per l'energia pulita del *Green Deal* quelli di: interconnettere i sistemi energetici e integrare più efficacemente alla rete le fonti di energia rinnovabili; promuovere le tecnologie innovative e l'infrastruttura energetica moderna; aumentare l'efficienza energetica; decarbonizzare il settore del gas e dell'energia e promuovere un'integrazione intelligente tra i diversi settori. Per conseguire questi ambiziosi obiettivi sono necessarie azioni quali: la produzione e l'uso dell'energia rappresentano oltre il 75% delle emissioni di gas serra dell'UE e il 40% dei consumi energetici riguarda gli edifici. Un parco immobiliare rinnovato nell'UE contribuirà a spianare la strada a un sistema decarbonizzato, ma solo l'1% degli edifici viene sottoposto ogni anno a riqualificazioni energetiche efficienti, quindi un'azione efficace è fondamentale per rendere l'Europa climaticamente neutra entro il 2050. L'UE dovrebbe ridurre entro il 2030 le emissioni degli edifici del 60% ed il loro consumo di energia finale del 14%: oggi la percentuale annua del parco immobiliare dell'UE sottoposta a un certo livello di riqualificazione è solo dell'11%, e in tutta l'UE ogni anno solo lo 0.2% degli immobili è sottoposto a riqualificazioni profonde che riducono il consumo di energia di almeno il 60% e che mirano alla circolarità delle risorse naturali. Inoltre, tra le varie sfide di carattere ambientale che le città si trovano a dover affrontare c'è quella dell'aumento dello stress idrico che non si limita soltanto alla siccità: l'eccessiva estrazione di acqua, in particolare a fini irrigui, ma anche per lo sviluppo urbano, sono tra le principali minacce per l'ambiente idrico dell'UE. Già dal 2012 sono stati messi in atto strumenti normativi, aggiornati rispetto alla direttiva quadro sulle acque, e volti alla salvaguardia delle risorse idriche poiché si ritiene che il riutilizzo dell'acqua a fini irrigui o domestici abbia un impatto ambientale inferiore, con un importante contributo nella riduzione del carico degli inquinanti e costi potenzialmente inferiori e minori consumi energetici rispetto ad altri approvvigionamenti idrici alternativi.

2.1 Il contesto legislativo in ambito internazionale

2.1.1 Il Green Deal europeo, la definizione degli obiettivi al 2050 e i fondi economici a sostegno dello strumento legislativo

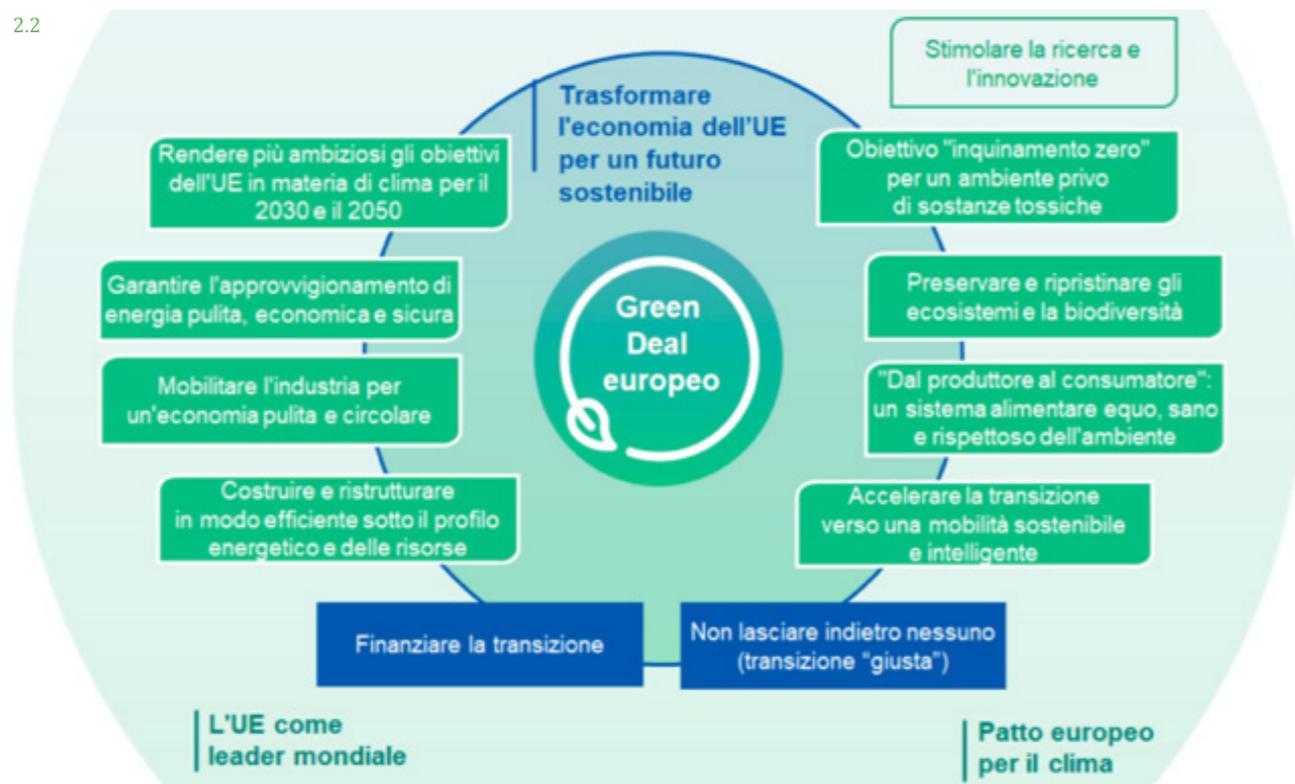
Il Green Deal europeo è la risposta della Commissione Europea per affrontare i problemi legati al clima e all'ambiente. Si tratta di una nuova strategia di crescita mirata a trasformare l'UE in una società giusta e prospera, dotata di un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva che nel 2050 non genererà emissioni nette di gas a effetto serra e in cui la crescita economica sarà dissociata dall'uso delle risorse.

Nell'ambito del *Green Deal* la Commissione intende riorientare il processo di coordinamento macro-economico del semestre europeo per integrarvi gli Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite (ONU, 2015), al fine di porre la sostenibilità e il benessere dei

Didascalie alle immagini.
2.1. Obiettivi di Sviluppo Sostenibile definiti dalle Nazioni Unite (immagine tratta da ONU, 2015)



2.2



cittadini al centro della politica economica e rendere gli obiettivi di sviluppo sostenibile il fulcro della definizione delle politiche e degli interventi dell'UE.

Per conseguire gli obiettivi sopra riassunti nell'immagine 2.2 è essenziale aumentare il valore attribuito alla protezione e al ripristino degli ecosistemi naturali, all'uso sostenibile delle risorse e al miglioramento della salute umana. Il *Green Deal europeo*, in questo senso, accrescerà il benessere e migliorerà la salute dei cittadini e delle generazioni future offrendo i vantaggi descritti nell'immagine 2.3 nella pagina accanto.

Il *Green Deal europeo* punta, dunque, in primis alla neutralità climatica dell'Europa entro il 2050 e, per conseguire gli obiettivi della decarbonizzazione, occorre ridurre le emissioni in tutti i settori, dall'industria all'energia, dai trasporti all'agricoltura.

I cambiamenti climatici costituiscono una minaccia a livello mondiale e possono essere affrontati soltanto con una risposta globale.

Didascalie alle immagini.

2.2. Assi principali delineati nel Green Deal Europeo come applicazione degli Obiettivi di Sviluppo sostenibile (immagine tratta da COM, 2019a)

2.3



Per questo motivo l'UE si impegna attivamente con azioni di mitigazione, e parallelamente con misure in materia di adattamento ai cambiamenti climatici per far fronte agli inevitabili impatti di tale fenomeno.

Con questo scopo, la Commissione Europea ha già delineato un programma per conseguire la neutralità climatica entro il 2050, che costituisce la base della strategia di lungo termine che l'UE ha presentato alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici: secondo le stime della Commissione per conseguire gli obiettivi 2030 in materia di clima ed energia serviranno investimenti supplementari dell'ordine di 260 miliardi di euro l'anno, finanziamenti specifici per incentivare gli investimenti sostenibili e proposte volte a creare un contesto più favorevole agli investimenti verdi. La Commissione ha proposto di portare al 25% l'obiettivo di integrazione degli aspetti climatici in tutti i programmi dell'UE (COM, 2019a).

Didascalie alle immagini.

2.3. Vantaggi previsti a partire dal Green Deal europeo (immagine tratta da COM, 2019a)

Tuttavia nel Piano viene denunciato che, mantenendo le attuali politiche, la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra sarà limitata al 60% entro il 2050.

Per questa ragione lo sforzo attuale non è sufficiente ma è fondamentale intensificare l'impegno in materia di resistenza ai cambiamenti climatici e per sviluppare la resilienza, la prevenzione e la preparazione. Un'ulteriore decarbonizzazione del sistema energetico, secondo il *Green Deal* europeo, è fondamentale per conseguire gli obiettivi 2030 e 2050 in materia di clima. La produzione e l'uso dell'energia nei diversi settori economici rappresentano oltre il 75% delle emissioni di gas a effetto serra dell'UE. Di conseguenza, guardando in maniera mirata al settore delle costruzioni, la Commissione mira ad aggiornare rigorosamente la normativa relativa alla prestazione energetica (GUUE, 2010) a partire da una valutazione delle strategie nazionali di ristrutturazione a lungo termine degli Stati membri, andando a lavorare alla possibilità di includere le emissioni degli edifici negli scambi di quote di emissioni e sul regolamento sui prodotti da costruzione (GUUE, 2011) che dovrebbe assicurare che tutte le fasi della progettazione di edifici nuovi e ristrutturati siano in linea con le esigenze dell'economia circolare e comportino una maggiore digitalizzazione e un parco immobiliare sempre più resiliente ai cambiamenti climatici.

Un obiettivo fondamentale dunque, mirato al settore dell'edilizia, è quello di organizzare gli sforzi di ristrutturazione in blocchi di dimensioni maggiori affinché possano beneficiare di condizioni di finanziamento più vantaggiose. Indicando come oggetto di particolare attenzione, su scala internazionale, la ristrutturazione dell'edilizia sociale.

Il *Green Deal* europeo costituisce inoltre la chiave di salvezza per finanziare la ripresa economica dopo la crisi pandemica da SARS-CoV-2. Per questa ragione, dal punto di vista economico, un terzo dei 1800 miliardi di euro di investimenti del piano per la ripresa di *NextGenerationEU* e il bilancio settennale dell'UE andranno a finanziare il *Green Deal* europeo.

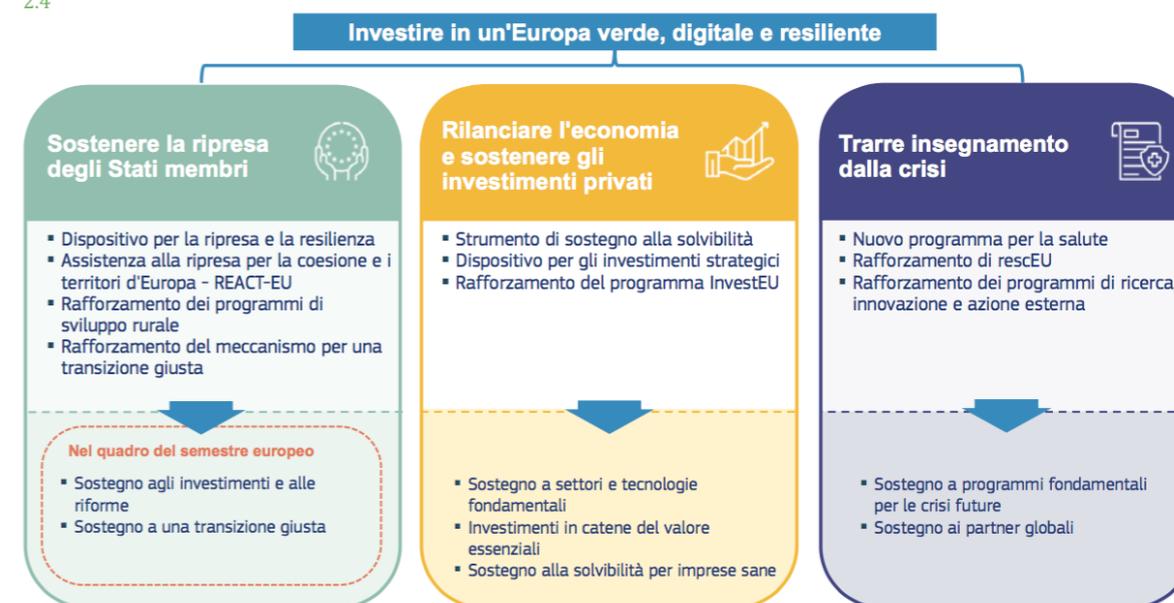
Il *NextGenerationEU* è proprio il fondo che si pone come motore del piano per la ripresa europea e mira a dare una risposta ambiziosa in termini di investimenti in un'Europa che sia sempre più verde, digitale e resiliente e da ulteriore sostegno rispetto ai fondi destina-

ti al periodo 2021-2027 rispetto alla ripresa economica degli stati membri per consegnare alle prossime generazioni un futuro migliore (COM, 2020a; COM, 2020b).

2.1.2 Gli Strumenti direttivi internazionali per l'attuazione del Green Deal europeo

La complessità e l'articolazione del *Green Deal* europeo ha determinato la necessità di definire delle linee di azione e dei piani mirati a

2.4



Fonte: Commissione europea

ciascuno dei settori specifici interessati dallo strumento normativo. In particolare, ai fini della definizione di un quadro di riferimento internazionale, si citano all'interno di questa trattazione, le linee di azione del *Green Deal* europeo mirate agli ambiti "Clima", "Energia" e "Ambiente e Oceani". Rispettivamente le azioni mirate al Clima si snodano nella Legge europea sul Clima, nella definizione delle strategie di Adattamento, nelle posizioni emerse alla conferenza COP26 e alla conferenza COP27 sui cambiamenti climatici e sul Patto europeo per il clima; le azioni mirate all'Energia si articolano nelle

Didascalie alle immagini.
2.4. Tre Pilastri sui quali si articola il Piano Economico *NextGenerationEU* (immagine tratta da COM, 2020a)

strategie per l'integrazione del sistema energetico, la modifica della direttiva sull'efficienza energetica negli edifici e la conseguente ondata di ristrutturazioni del patrimonio edilizio esistente; la terza categoria di azioni del *Green Deal*, di pertinenza della materia oggetto della trattazione, riguarda l'Ambiente e gli Oceani con il piano d'azione per l'inquinamento zero, l'ottavo programma di azione per l'ambiente, il piano di azione per l'economia circolare quello sul riutilizzo delle acque e sul trattamento delle acque reflue urbane.

L'aggiornamento dei piani nazionali per l'energia e il clima a partire dal *Green Deal* da parte degli Stati membri, il cui avvio è previsto dall'anno in corso, deve tenere necessariamente conto dei nuovi obiettivi in materia di clima, fissati e in corso di aggiornamento costante (anche in questi mesi concomitanti con la stesura della presente Tesi), perché solo tramite l'integrazione delle energie rinnovabili, l'efficienza energetica e altre soluzioni sostenibili in tutti i settori si riuscirà a contribuire al conseguimento dell'obiettivo della decarbonizzazione al minor costo possibile.

2.1.2.1 Le linee di azione mirate al Clima

Per conseguire gli obiettivi della decarbonizzazione, occorre ridurre le emissioni in tutti i settori, dall'industria all'energia, dai trasporti all'agricoltura. I cambiamenti climatici costituiscono una minaccia a livello mondiale e possono essere affrontati soltanto con una risposta globale. Per questo motivo l'UE si impegna sull'azione per il clima, in particolare attraverso la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) (GUUE, 1994) e l'Accordo di Parigi (GUUE, 2016).

A partire dall'urgenza determinata dalla registrazione delle temperature più elevate di sempre a livello mondiale nel quinquennio 2014-2019 (IPCC, 2018a) con i conseguenti effetti incontestabili del riscaldamento globale quali siccità, forti precipitazioni e eventi meteorologici estremi, insieme con la definizione degli obiettivi di costruzione di un'economia e una società verde e forte e nell'ottica della neutralità climatica dell'Europa entro il 2050 prevista dal *Green Deal*, è stato posto un traguardo climatico intermedio al 2030 (COM, 2020c). Per rendere questo obiettivo giuridicamente vincolante, la Commissione ha proposto una normativa europea sul clima (GUUE, 2021), che trascrive in legge il nuovo e più ambizioso obiettivo fissato nel *Green Deal* europeo per l'economia e la società europee di diventare climaticamente neutre entro il 2050 e fissa anche

l'importante obiettivo intermedio di ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990. La neutralità climatica entro il 2050 significa raggiungere zero emissioni nette di gas serra per i paesi dell'UE nel loro insieme, principalmente riducendo le emissioni, investendo in tecnologie verdi e proteggendo l'ambiente naturale. Tale legge mira inoltre a garantire che tutte le politiche dell'UE contribuiscano a questo obiettivo e che tutti i settori dell'economia e della società facciano la loro parte, a partire dal settore dell'edilizia, attualmente responsabile del 40% dell'energia finale e del 36% delle emissioni di gas a effetto serra dell'UE, con un vasto potenziale di riduzione efficiente in termini di costi alla luce del fatto che oggi il 75% del parco immobiliare dell'UE è inefficiente sotto il profilo energetico (GUUE, 2021).

Tra le linee di azione sul Clima, a seguire rispetto alla Legge europea, è stato lanciato il Patto Europeo per il Clima che costituisce un'opportunità per le persone, le comunità e le organizzazioni di partecipare all'azione per il clima in tutta Europa attraverso la conoscenza dei fenomeni che generano i cambiamenti climatici, lo sviluppo e l'implementazione di soluzioni e le connessioni con gli altri membri aderenti al patto per massimizzare l'impatto di queste soluzioni; il Patto mira a creare uno spazio vivo per condividere informazioni, dibattere e agire sulla crisi climatica e offrire sostegno a un movimento europeo per il clima per crescere e consolidarsi: la stessa Commissione ha aderito attivamente al Patto Europeo per il Clima, e nella Comunicazione (EC, 2022d) divulgata in occasione della giornata della Terra nell'aprile 2022, la Commissione si è impegnata in primis a ridurre gradualmente le proprie emissioni di gas a effetto serra di almeno il 60% rispetto al 2005 e a compensare nel 2030 le emissioni residue con assorbimenti di anidride carbonica certificata di elevata qualità, a partire dalla riqualificazione degli edifici che, al 2019, contribuivano per il 43% alle emissioni di CO₂ generate dalla Commissione (EC, 2022d).

Parallelamente alle azioni di mitigazione, l'UE ha messo in campo anche misure in materia di adattamento ai cambiamenti climatici per far fronte agli inevitabili impatti di tale fenomeno e in questi termini sono state divulgate le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici (COM, 2018b; COM, 2021b): in tale documento vengono proposte azioni che formino le barriere della conoscenza sull'adattamento in modo da poter raccogliere sempre maggiori e migliori dati sui rischi e le perdite legati al clima, rendendoli disponibili e alla portata di tutti: dalle famiglie che acquistano, costruisci

scono e ristrutturano case, alle imprese nelle regioni costiere o agli agricoltori che pianificano i loro raccolti; tra le strategie si prevede anche il potenziamento e l'ampliamento della piattaforma europea per la conoscenza dell'adattamento *Climate-ADAPT*, e l'aggiunta di un osservatorio sanitario dedicato per tracciare, analizzare e prevenire meglio gli impatti dei cambiamenti climatici sulla salute. La Commissione si impegna inoltre a sostenere l'ulteriore sviluppo e l'attuazione di strategie e piani di adattamento con tre priorità trasversali: integrazione dell'adattamento nella politica macro-finanziaria, soluzioni di adattamento basate sulla natura e azione di adattamento locale (COM, 2021b).

La 26a conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP26) che si è tenuta a Glasgow, in Scozia, dal 31 ottobre al 12 novembre 2021, ha permesso di tessere le fila per far accelerare le misure messe in campo dalla Commissione, e non solo, ai fini del conseguimento degli obiettivi dell'accordo di Parigi e della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici. Al termine del vertice della COP26, la Commissione europea ha sostenuto il consenso raggiunto da oltre 190 paesi dopo due settimane di intensi negoziati, arrivando al completamento del corpus normativo dell'accordo di Parigi di cui sono stati mantenuti gli obiettivi, fornendo la possibilità di limitare il riscaldamento globale a 1,5 gradi Celsius. Durante tale evento oltre 100 paesi hanno aderito all'impegno globale per la riduzione delle emissioni di metano, un'iniziativa UE-USA, sono stati creati nuovi partenariati per sostenere i paesi nella transizione verso l'energia pulita e sono stati compiuti progressi in materia di finanziamenti per il clima volti a stimolare i mercati internazionali del carbonio (EC, 2021b); mentre la 27a conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP27) ha delineato parallelamente i quattro obiettivi chiave del vertice e le cinque aree chiave imprescindibili.

Gli obiettivi si articolano in mitigazione, adattamento, finanze e collaborazione e, in particolare i primi due di questi vengono definiti come:

- Mitigazione: tutte le parti, in particolare quelle in grado di "dare l'esempio", sono esortate a intraprendere "azioni audaci e immediate" e a ridurre le emissioni per limitare il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C;
- Adattamento: garantire che la COP27 compia i "progressi assolutamente necessari" verso il miglioramento della resilienza ai cam-

biamenti climatici e l'assistenza alle comunità più vulnerabili del mondo;

mentre le cinque aree chiave imprescindibili sono: natura, cibo, acqua, decarbonizzazione e adattamento climatico (WEF, 2022a), tre delle quali, acqua, decarbonizzazione e adattamento climatico, sono temi oggetto della presente Trattazione.

2.1.2.2 Le linee di azione mirate all'Energia

Parallelamente alle azioni mirate al Clima si trovano quelle legate all'Energia, tenendo in considerazione che la produzione e l'utilizzo di energia rappresentano oltre il 75% delle emissioni di gas a effetto serra dell'UE. La decarbonizzazione del sistema energetico dell'UE costituisce, pertanto, una delle strategie fondamentali per conseguire gli obiettivi climatici per il 2030 (COM, 2020c) e realizzare la strategia a lungo termine dell'UE che punta a conseguire la neutralità in termini di emissioni di carbonio entro il 2050.

Il *Green Deal* europeo si concentra su 3 principi fondamentali per la transizione verso l'energia pulita, che concorrono per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra e per il miglioramento della qualità della vita dei cittadini: il primo principio si concentra sul garantire un approvvigionamento energetico dell'UE sicuro e a prezzi accessibili, il secondo sulla necessità di sviluppare un mercato dell'energia pienamente integrato, interconnesso e digitalizzato, mentre il terzo mira a dare la priorità all'efficienza energetica, migliorare il rendimento energetico dei nostri edifici e sviluppare un settore energetico basato in larga misura sulle fonti rinnovabili. In particolare il terzo principio è quello che guida l'approfondimento in materia di pertinenza della trattazione; a tal fine, i principali obiettivi della Commissione legati, direttamente o trasversalmente, al terzo principio per la transizione verso l'energia pulita sono i seguenti:

- costruire sistemi energetici interconnessi e reti meglio integrate per sostenere le fonti energetiche rinnovabili;
- promuovere le tecnologie innovative e una infrastruttura energetica moderna;
- incrementare l'efficienza energetica e promuovere la progettazione ecocompatibile dei prodotti;
- decarbonizzare il settore del gas e promuovere l'integrazione in-

telligente tra i settori;

- promuovere gli standard e le tecnologie dell'UE nel campo dell'energia a livello mondiale.

Per conseguire questi obiettivi la Commissione ha messo in campo strumenti normativi che regolino l'integrazione del sistema energetico e che la intendano come pianificazione e funzionamento del sistema energetico "nel suo complesso", ossia dei suoi molteplici vettori energetici, infrastrutture e settori di consumo, attraverso la creazione di connessioni più forti tra questi elementi con il fine ultimo di offrire servizi energetici a basse emissioni di carbonio, affidabili ed efficienti sotto il profilo delle risorse e al minor costo possibile per la società (COM, 2020d). Questa idea abbraccia due dei concetti che tra loro sono complementari e sinergici e che riguardano tanto il settore dell'edilizia quanto quello della gestione del sistema idrico integrato: in primo luogo, un sistema energetico più circolare, imperniato sull'efficienza energetica, in cui sia data priorità alle scelte meno "energivore" e siano riutilizzati a fini energetici i flussi di rifiuti inevitabili che, pur essendo già in uso negli impianti di cogenerazione o attraverso l'uso di determinati rifiuti e residui, nasconde un potenziale ulteriore tuttora inespresso rappresentato, ad esempio, dal riutilizzo dell'energia prodotta a partire dai rifiuti organici o negli impianti di trattamento delle acque reflue; in secondo luogo, una maggiore elettrificazione diretta dei settori d'uso finale possibile grazie alla rapida crescita e al costo competitivo della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili che può contribuire a soddisfare in misura sempre maggiore la domanda di energia, per esempio utilizzando pompe di calore per il riscaldamento degli ambienti (EC, 2020a), considerando che il riscaldamento, il raffrescamento e l'acqua calda sanitaria rappresentano l'80% dell'energia che i cittadini consumano.

Già da questi concetti emerge chiaramente quanto il comparto edile, responsabile di circa 40% del consumo energetico dell'UE e del 36% delle emissioni di gas serra legate all'energia sia tra i principali consumatori di energia in Europa (EC, 2021c) e sia fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi energetici e ambientali dell'UE in quanto edifici migliori e più efficienti dal punto di vista energetico possono contribuire concretamente nel miglioramento della qualità della vita dei cittadini, apportando anche benefici di carattere sociale aggiuntivi, come salute e migliori livelli di comfort *indoor*, posti di lavoro ecologici, per l'economia e la società.

Per questa ragione le direttive sull'efficienza energetica (GUUE, 2018c) e sulla prestazione energetica nell'edilizia (GUUE, 2018b), revisionate nel 2018 a partire dalle direttive 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e sull'efficienza energetica 2012/27/UE, che già promuovevano politiche per raggiungere un parco immobiliare altamente efficiente dal punto di vista energetico e decarbonizzato entro il 2050, creare un ambiente stabile per le decisioni di investimento e consentire ai consumatori e alle imprese di fare scelte più informate per risparmiare energia e denaro nel settore edile, a seguito dell'emanazione del *Green Deal* sono state revisionate, ampliate e rinfuse.

Tale aggiornamento si è reso necessario per riflettere le ambizioni più elevate e i bisogni più urgenti in materia di clima e azione sociale, fornendo al contempo ai paesi dell'UE la flessibilità necessaria per tenere conto delle differenze nel parco immobiliare in tutta Europa. Stabilisce inoltre come l'Europa possa raggiungere un parco edilizio a emissioni zero e completamente decarbonizzato entro il 2050, aumentando il tasso di ristrutturazione, in particolare per gli edifici con le prestazioni peggiori in ciascun paese. La direttiva rivista mira a modernizzare il parco immobiliare, rendendolo più resiliente e accessibile e sostiene una migliore qualità dell'aria, la digitalizzazione dei sistemi energetici per gli edifici e il lancio di infrastrutture per la mobilità sostenibile.

Al fine di garantire che gli edifici siano idonei all'ambizione climatica rafforzata, come presentato nel piano per gli obiettivi climatici per il 2030, la nuova proposta della Commissione¹ mira a contribuire al raggiungimento dell'obiettivo di almeno -60% di riduzione delle emissioni nel settore edile entro il 2030 rispetto al 2015 e raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 (COM, 2021e), lavorando di pari passo con altre iniziative del pacchetto del *Green Deal* europeo, in particolare con il pacchetto "*Fit for 55%*" (COM, 2021c), la revisione della proposta di un nuovo sistema di scambio di emissioni per i combustibili utilizzati negli edifici, la direttiva sull'efficienza energetica, la direttiva sulle energie rinnovabili e il regolamento sulle infrastrutture dei combustibili alternativi.

Le principali misure di tale nuova proposta (COM, 2021e) sono:

- la progressiva introduzione di standard minimi di prestazione energetica per avviare la ristrutturazione degli edifici con le peggiori prestazioni;
- un nuovo standard per i nuovi edifici e una visione più ambiziosa

1. La proposta di revisione della direttiva è ora all'esame del Consiglio e del Parlamento europeo e, presumibilmente, arriverà all'approvazione a seguito della consegna della presente Trattazione.

per gli edifici a emissioni zero;

- strategie rafforzate di ristrutturazione a lungo termine, da rinominare Piani nazionali di ristrutturazione edilizia;
- maggiore affidabilità, qualità e digitalizzazione degli Attestati di Prestazione Energetica con classi di prestazione energetica basate su criteri comuni;
- una definizione di ristrutturazione profonda e l'introduzione di passaporti di ristrutturazione edilizia;
- ammodernamento degli edifici e dei loro sistemi e migliore integrazione dei sistemi energetici (per riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, ricarica dei veicoli elettrici, energie rinnovabili).

Vista la rilevanza data all'interno del *Green Deal* al ruolo degli edifici nel conseguimento dell'obiettivo della decarbonizzazione, l'altro strumento messo in campo, parallelamente alle strategie per l'integrazione del sistema energetico e la proposta di rifusione delle direttive sull'efficienza energetica e sulla prestazione energetica degli edifici è la *Renovation Wave*, l'Ondata di Ristrutturazioni del parco immobiliare dell'UE che punta a migliorare l'efficienza energetica guidando al contempo la transizione verso l'energia pulita.

La ristrutturazione degli edifici pubblici e privati è un'azione essenziale, individuata nel *Green Deal* europeo come un'iniziativa chiave per promuovere da una parte l'efficienza energetica nel settore e raggiungere gli obiettivi, dall'altra la manodopera del settore edile a livello locale, che può anche svolgere un ruolo cruciale nella ripresa economica europea dopo la pandemia di COVID-19.

Per perseguire questa duplice ambizione di guadagni energetici e crescita economica, nel 2020 la Commissione ha pubblicato la strategia "Un'ondata di rinnovamento per l'Europa: rendere più verdi i nostri edifici, creare posti di lavoro, migliorare la vita" (COM, 2019b) con la quale mira a raddoppiare i tassi annuali di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nei prossimi 10 anni, oltre a ridurre le emissioni e migliorare la qualità della vita delle persone che vivono e utilizzano gli edifici e creare posti di lavoro ecologici nel settore edile.

Il parco immobiliare europeo è obsoleto e cambia molto lentamente: più di 220 milioni di unità immobiliari, vale a dire l'85% del parco immobiliare dell'UE, sono state costruite prima del 2001, e l'85-95% degli edifici odierni sarà ancora in uso nel 2050 e non è efficiente sotto il profilo energetico (EC, 2020c). La crisi della COVID-19 ha portato alla ribalta l'importanza degli edifici nella vita

quotidiana, palesandone anche i punti deboli, per cui diviene questo strumento normativo evidenza ancora di più la necessità di ristrutturarli in profondità e su vasta scala. Per abbattere le emissioni del 55% entro il 2030 l'UE è dunque necessario ridurre le emissioni di gas serra degli edifici del 60%, il loro consumo di energia finale del 14% e il consumo energetico per riscaldamento e raffrescamento del 18% (COM, 2019b).

Trasversalmente alle linee d'azione mirate al Clima e all'Energia ci sono i piani nazionali per l'energia e il clima (PNEC) che vengono citati come altro strumento operativo del *Green Deal* in quanto introdotti dal regolamento sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima (UE) 2018/1999 (COM, 2019c), concordato nell'ambito del pacchetto Energia pulita per tutti gli europei adottato nel 2019 (EC, 2019), per far fronte alle sfide energetiche globali del 21° secolo, e lottare per un sistema energetico più sicuro, competitivo e sostenibile che affronterà la sfida esistenziale della contemporaneità: il cambiamento climatico. Nello specifico il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) italiano viene esplicitato e descritto in maniera più dettagliata e approfondita nel paragrafo 2.2.

2.1.2.3 Le linee di azione mirate ad Ambiente e Oceani

Sullo stesso piano delle linee di azione mirate al Clima e all'Energia si trovano le azioni mirate all'Ambiente e agli Oceani, in particolare, ai fini di questa trattazione, quelle mirate all'Ambiente. In primis il Piano di Azione Inquinamento Zero (COM, 2019d) che evidenzia quanto l'inquinamento danneggi la salute e l'ambiente: attualmente costituisce la principale causa ambientale di molteplici malattie mentali e fisiche e di morti premature, soprattutto tra i bambini, le persone con determinate condizioni patologiche e gli anziani; per altro, oltre a incidere sulla salute delle persone, l'inquinamento è una delle ragioni principali della perdita di biodiversità andando a ridurre la capacità degli ecosistemi di fornire servizi naturali impliciti come il sequestro del carbonio e la decontaminazione.

La visione di inquinamento zero per il 2050, in ottemperanza con gli obiettivi a lungo termine del *Green Deal* è quella di ridurre l'inquinamento di aria, acqua e suolo a livelli ormai considerati dannosi per la salute e gli ecosistemi naturali affinché rispettino i confini con cui il nostro pianeta può far fronte, creando così un ambiente privo

2. La proposta di revisione della direttiva è ora all'esame del Consiglio e del Parlamento europeo e, presumibilmente, arriverà all'approvazione a seguito della consegna della presente Trattazione.

di sostanze tossiche.

Ciò si traduce in obiettivi chiave intermedi per il 2030 per accelerare la riduzione dell'inquinamento alla fonte attraverso il miglioramento della qualità dell'aria, per ridurre del 55% il numero di morti premature causate dall'inquinamento atmosferico; il miglioramento della qualità dell'acqua, riducendo i rifiuti, i rifiuti di plastica in mare (del 50%) e le microplastiche rilasciate nell'ambiente (del 30%); il miglioramento della qualità del suolo, riducendo del 50% le perdite di nutrienti e l'uso di pesticidi chimici; la riduzione del 25% degli ecosistemi dell'UE, dove l'inquinamento atmosferico minaccia la biodiversità (EC, 2021a). Con questi obiettivi la Commissione, dall'entrata in vigore del piano nel 2020 fino all'ottobre 2022, ha proposto norme sempre più severe e stringenti sugli inquinanti atmosferici, superficiali e sotterranei e sul trattamento delle acque reflue urbane, a quest'ultima proposta di revisione dello strumento normativo² viene dedicato un approfondimento specifico nel paragrafo 2.1.4.

Da un punto di vista cronologico, parallelamente alla *roadmap* per il Piano di Azione Inquinamento Zero, nell'ottobre del 2020 è stata presentata anche la proposta per l'8° Programma d'Azione per l'Ambiente (COM, 2020g), in aggiornamento e sostituzione del 7° Programma d'Azione per l'Ambiente, già in vigore dal 2014 e parte della serie di programmi d'azione che forniscono all'UE quadri strategici, producono risultati e garantiscono un'azione prevedibile e coordinata per la politica europea in materia di ambiente e cambiamenti climatici. L'8° Programma, che entra ufficialmente in vigore nel maggio del 2022 (GUUE, 2022), ribadisce la visione a lungo termine dell'UE per il 2050 di vivere bene, entro i confini del pianeta, stabilisce gli obiettivi prioritari per il 2030 e le condizioni necessarie per raggiungerli e, basandosi sul *Green Deal* europeo, mira ad accelerare la transizione verso un'economia climaticamente neutra ed efficiente sotto il profilo delle risorse e richiede, inoltre, il coinvolgimento attivo di tutte le parti interessate a tutti i livelli di *governance*, per garantire che le leggi dell'UE in materia di clima e ambiente siano efficacemente attuate, attraverso un sistema di indicatori chiave finalizzati al monitoraggio attraverso cui verranno misurati, e divulgati con cadenza annuale, i progressi degli obiettivi ambientali e climatici (COM, 2022a). Costituisce la base dell'UE per il raggiungimento degli Obiettivi di sviluppo sostenibile contenuti nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, attraverso 6 obiettivi tematici prioritari interconnessi mirati al 2030 (GUUE, 2022):

- raggiungere l'obiettivo 2030 di riduzione delle emissioni di gas serra e la neutralità climatica entro il 2050;
- migliorare la capacità di adattamento, rafforzare la resilienza e ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici;
- avanzare verso un modello di crescita rigenerativa, dissociare la crescita economica dall'uso delle risorse e dal degrado ambientale e accelerare la transizione verso un'economia circolare;
- perseguire un'ambizione di inquinamento zero, anche per l'aria, l'acqua e il suolo;
- proteggere la salute e il benessere degli europei;
- proteggere, preservare e ripristinare la biodiversità e valorizzare il capitale naturale riducendo le pressioni ambientali e climatiche legate alla produzione e ai consumi (in particolare nei settori dell'energia, dell'industria, degli edifici e delle infrastrutture, della mobilità, del turismo, del commercio internazionale e del sistema alimentare).

Altra azione rivolta all'ambiente, che ha un grosso peso all'interno delle iniziative del *Green Deal* è l'adozione di un nuovo piano per l'economia circolare. Si definisce nuovo in quanto un precedente piano, mirato all'economia circolare, era stato adottato nel 2015 già un Primo Piano per l'Economia Circolare (COM, 2014a), successivamente assorbito e adattato rispetto agli obiettivi del *Green Deal* nel nuovo Piano per l'Economia Circolare nell'ottobre 2020. Il nuovo piano d'azione per l'economia circolare (COM, 2020e; COM, 2020f) contribuisce a modernizzare l'economia dell'UE e a valorizzare le opportunità dell'economia circolare al livello europeo e mondiale e comprende una politica per i "prodotti sostenibili" al fine di sostenere la progettazione circolare di tutti i prodotti sulla base di una metodologia e di principi comuni, dando priorità alla riduzione e al riutilizzo dei materiali prima del loro riciclo, promuovendo nuovi modelli di sviluppo e fissando requisiti atti a prevenire l'immissione sul mercato dell'UE di prodotti nocivi per l'ambiente e rafforzando anche la responsabilità estesa del produttore. Se, da un lato, il piano per l'economia circolare guiderà la transizione di tutti i settori, dall'altro gli interventi si concentreranno in particolare su settori ad alta intensità di risorse come quello dell'edilizia. Dato il forte impatto che questo piano ha all'interno del settore delle costruzioni dell'edilizia e, indirettamente, anche sulla presente Tesi, gli si dedica all'interno della trattazione l'intero paragrafo successivo, il paragrafo 2.1.3., al fine di approfondirne e delinearne gli aspetti legati alla

circolarità delle risorse in ambito urbano.

2.1.3 Il Piano d'Azione per l'Economia circolare: il settore delle costruzioni e dell'edilizia e le azioni trasversali mirate alla neutralità climatica

Il Piano d'azione per l'economia circolare, come già anticipato sinteticamente nel paragrafo precedente, stabilisce un programma orientato al futuro per costruire un'Europa più pulita e competitiva in co-creazione con gli operatori economici, i consumatori, i cittadini e le organizzazioni della società civile. Mira ad accelerare il profondo cambiamento richiesto dal *Green Deal* europeo (COM, 2019a), sulla base delle azioni in materia di economia circolare attuate dal sin dal 2015. Questo piano intende provvedere alla razionalizzazione del quadro normativo rendendolo adatto ad un futuro sostenibile, garantendo l'ottimizzazione delle nuove opportunità derivanti dalla transizione e riducendo al minimo gli oneri per le persone e le imprese. Il piano presenta delle iniziative destinate a realizzare un quadro strategico per i prodotti, che venga attuato progressivamente e sia concentrato sulle catene di valore dei prodotti ritenuti chiave in questo sistema volto alla riduzione dei rifiuti e garantire il buon funzionamento del mercato interno dell'UE per le materie prime e secondarie di alta qualità (COM, 2020e; COM, 2020f).

Oltre ai settori dell'elettronica, delle batterie e dei veicoli, degli imballaggi, della plastica, dei prodotti tessili e dei prodotti alimentari, le acque e i nutrienti, il piano si concentra sulla catena di valore del settore costruzione ed edilizia. L'ambiente edificato ha un impatto significativo su molti settori dell'economia, i posti di lavoro a livello locale e la qualità della vita, richiede ingenti risorse ed è all'origine di circa il 50% di tutte le estrazioni di materiali. Il settore delle costruzioni è responsabile di oltre il 35% della produzione totale di rifiuti dell'UE e si stima che le emissioni di gas a effetto serra prodotte dall'estrazione di materiali, dalla fabbricazione di prodotti da costruzione e dalla costruzione e ristrutturazione degli edifici corrispondano ad una percentuale variabile dal 5 al 12% delle emissioni nazionali totali di gas a effetto serra mentre si stima che una maggiore efficienza dei materiali potrebbe consentire una riduzione dell'80% di queste emissioni (IRP, 2020).

Per sfruttare il potenziale di aumento dell'efficienza dei materiali e di riduzione degli impatti climatici, la Commissione intende varare

una nuova strategia generale per un ambiente edificato sostenibile volta a garantire la coerenza tra i settori strategici interessati, quali il clima, l'efficienza energetica e delle risorse, la gestione dei rifiuti di costruzione e demolizione, l'accessibilità, la digitalizzazione e le competenze e la promozione dei principi di circolarità lungo l'intero ciclo di vita degli edifici.

Di queste strategie mirate al settore chiave vengono di seguito elencate quelle più pertinenti rispetto alla presente trattazione, in particolare:

- valutare l'opportunità di stabilire degli obiettivi di riduzione delle emissioni di carbonio e il potenziale dello stoccaggio del carbonio;
- promuovere iniziative per ridurre l'impermeabilizzazione del suolo, riabilitare i siti dismessi abbandonati o contaminati e aumentare l'uso sicuro, sostenibile e circolare dei terreni.

Inoltre, la sopra citata iniziativa "Ondata di ristrutturazioni" (COM, 2019b), annunciata nel *Green Deal* europeo e destinata a migliorare in modo significativo l'efficienza energetica nell'UE va pensata e attuata in linea con i principi dell'economia circolare, in particolare l'ottimizzazione delle prestazioni del ciclo di vita e l'allungamento dell'aspettativa di vita dei beni edificati.

Sebbene sia stato inserito all'interno delle strategie mirate ad un settore diverso rispetto a quello delle costruzioni e dell'edilizia, è altrettanto necessario citare come in questo Piano la Commissione evidenzia l'importanza di concentrarsi sulle acque: nell'ottica di un nuovo regolamento relativo al riutilizzo dell'acqua volto a promuovere approcci circolari per il riutilizzo dell'acqua nell'agricoltura, e dunque trasversalmente, anche in ambito periurbano attraverso l'agevolazione e il riutilizzo delle acque e l'efficienza idrica, oltre che sulla possibilità di rivedere le direttive relative al trattamento delle acque reflue.

Particolarmente importante è, inoltre, la prima delle azioni trasversali citate all'interno del Capitolo 6 del Piano, dal titolo "la circolarità come presupposto per la neutralità climatica" all'interno del quale vengono delineate le azioni che la Commissione intende attuare attraverso il rafforzamento delle sinergie tra circolarità e riduzione dei gas a effetto serra.

In questa direzione, la Commissione intende:

- analizzare il modo in cui sia possibile misurare in modo sistematico l'impatto della circolarità sulla mitigazione dei cambiamenti climatici e sull'adattamento ai medesimi;
- migliorare gli strumenti di modellizzazione per cogliere le ricadute positive dell'economia circolare sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra a livello nazionale e di UE;
- promuovere il rafforzamento del ruolo della circolarità nelle future revisioni dei piani nazionali per l'energia e il clima e, se del caso, in altre politiche in materia di clima.

Il conseguimento della neutralità climatica, oltre alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, richiede che il carbonio presente nell'atmosfera sia assorbito e, per tale assorbimento, la Commissione indica tra le possibili soluzioni l'uso della natura, in particolare attraverso soluzioni volte ad una maggiore circolarità, ad esempio mediante lo stoccaggio a lungo termine di carbonio nel legno da costruzione, il riutilizzo e lo stoccaggio di carbonio in prodotti tramite la mineralizzazione nei materiali da costruzione o soluzioni *ad hoc* per il ripristino degli ecosistemi, la tutela e la gestione sostenibile delle foreste, l'imboschimento e il sequestro del carbonio.

2.1.4 Le politiche specifiche dell'Unione Europea mirate alla risorsa idrica: acque superficiali, acque potabili, acque reflue urbane e strategie di riuso

Come già accennato sinteticamente nel paragrafo 2.1.2.3 in merito alle linee di azione rivolte all'Ambiente, una tra le risorse naturali che l'Unione Europea mira a salvaguardare e a tutelare, attraverso il Piano di Azione Inquinamento Zero (COM, 2019d) e le normative seguenti o affini messe in campo, in parte già in vigore e in parte pubblicate come proposte in fase di approvazione, è l'acqua. Proteggere la risorsa idrica e l'ecosistema e garantire a tutti l'accesso ad acqua potabile e pulita costituisce una delle pietre miliari delle strategie di protezione ambientale dell'Unione Europea.

La Direttiva quadro sull'acqua (EC, 2014) fornisce il quadro principale e gli obiettivi per la politica idrica in Europa; tale direttiva, già in atto dal 2001, è il principale strumento giuridico per la protezione delle acque in Europa, garantisce un approccio integrato alla gestione delle acque, rispettando l'integrità di interi ecosistemi, anche regolando i singoli inquinanti e fissando i corrispondenti standard normativi, costituendo una strategia di attuazione comune, che riu-

nisce esperti nazionali, parti interessate e la Commissione. L'obiettivo principale dell'Unione Europea, ribadito nel contesto del *Green Deal* europeo, è quello di garantire che tutti gli europei abbiano accesso ad acqua di buona qualità e garantire il buono stato di tutti i corpi idrici in tutta Europa. Per raggiungere questo scopo, le norme dell'UE mirano a garantire che l'acqua sia gestita in modo sostenibile a lungo termine, che l'inquinamento idrico sia ridotto e che gli ecosistemi acquatici siano protetti.

L'ambito della risorsa idrica è un estremamente ampio, che racchiude in sé da una parte tutte le forme della risorsa naturale (le acque di balneazione, le acque marine, le acque potabili, le acque sotterranee, le acque superficiali, le acque reflue urbane), dall'altra i punti di debolezza (le inondazioni, l'inquinamento chimico e da nitrati, la scarsità dell'acqua e la siccità) e le opportunità (il riutilizzo dell'acqua) legate alla risorsa stessa.

Ai fini della definizione di un contesto legislativo di riferimento, in questa Tesi si prendono in considerazione le norme dell'Unione Europea che proteggono le acque superficiali dall'inquinamento chimico, le norme dell'Unione Europea che regolano l'accesso all'acqua potabile sicura, quelle che mirano a garantire un trattamento adeguato delle acque reflue urbane e l'azione normativa volta a promuovere il riutilizzo dell'acqua come fonte alternativa di approvvigionamento idrico, andando a leggerle con un approccio integrato e interrelato tra loro.

Il settore delle costruzioni e dell'edilizia, il settore pubblico in senso più ampio, l'agricoltura, l'industria, i servizi ecosistemici e la natura hanno tutti bisogno di acqua non inquinata. Ciò significa che l'inquinamento delle acque superficiali debba essere ridotto al minimo. Attualmente nell'Unione Europea dei circa 100.000 corpi idrici superficiali presenti, solo il 40% è in buono stato. Con scopo di migliorare sempre di più questo dato percentuale, diverse leggi dell'Unione Europea contengono disposizioni per proteggere le acque superficiali dall'inquinamento chimico: i due componenti principali, sui quali tali normative si concentrano, sono lo stato ecologico e lo stato chimico. Per questo le norme impongono l'adozione di misure per ridurre le emissioni, per regolamentare gli scarichi, le perdite delle sostanze prioritarie e per eliminare gradualmente quelle delle sostanze più nocive (le sostanze pericolose prioritarie). Questo intento comunitario, ha chiamato tutti gli Stati membri ad assolvere un duplice impegno, quello dell'individuazione e la regolamentazione delle sostanze pericolose prioritarie che destano maggiore pre-

occupazione ai fini dell'inquinamento idrico superficiale, secondo la definizione di standard di qualità ambientale (GUUE, 2008), e quello di fare una valutazione dello stato ecologico che sia supportata dalla decisione di intercalibrazione (GUUE, 2018a).

Sebbene questi sforzi siano stati portati avanti e abbiano portato alla definizione di risultati che mostrano un livello più elevato di protezione dei corpi idrici e di gestione del rischio di alluvione rispetto a quanto ci si sarebbe potuto aspettare senza di esse, gli obiettivi delle Direttive sono quasi più rilevanti ora di quanto lo fossero al momento dell'adozione in quanto contribuiscono al raggiungimento di una serie di obiettivi di sviluppo sostenibile, definiti nel contesto del *Green Deal* europeo.

Per questa ragione è stata fatta una proposta di revisione dell'elenco delle sostanze prioritarie presenti nelle acque superficiali (COM, 2022c). Le 24 sostanze proposte per l'aggiunta e lo standard per i pesticidi totali presentano rischi ben documentati per la natura e la salute umana. Includono: PFAS - un grande gruppo di "sostanze chimiche per sempre" utilizzate in pentole, abbigliamento e mobili, prodotti per la cura personale, pesticidi, componenti degli imballaggi in plastica e un certo numero di farmaci usati, che sono sostanze tuttora di uso e consumo domestico e che, il più delle volte inquinano le acque potabili, le acque reflue urbane e, in seconda battuta, le acque superficiali e le acque sotterranee. Se la proposta sarà approvata dal Consiglio e dal Parlamento europeo, gli Stati membri saranno tenuti ad adottare misure per ridurre le emissioni di tutti questi inquinanti, ove necessario per soddisfare gli standard di qualità. Parallelamente alle acque superficiali è essenziale che anche l'acqua potabile sia di alta qualità, sicura e sufficiente per soddisfare i bisogni della vita quotidiana, per bere e preparare cibo. La direttiva sull'acqua potabile riguarda la qualità delle acque destinate al consumo umano (GUCE, 1998b) ed è stato consolidato, a partire dal 1998, tramite una serie di modifiche con cadenza quinquennale. Il suo obiettivo è proteggere la salute umana dagli effetti negativi di qualsiasi contaminazione delle acque destinate al consumo umano, garantendone la salubrità e la pulizia; impone inoltre di fornire informazioni regolari ai consumatori e l'obbligo di comunicazione della qualità dell'acqua potabile alla Commissione europea con cadenza triennale. La direttiva si applica a diversi settori, in particolare sono rilevanti ai fini della presente trattazione:

- tutti i sistemi di distribuzione che servono più di 50 persone o forniscono più di 10 metri cubi al giorno, ma anche i sistemi di distribuzione che servono meno di 50 persone/forniscono meno di 10 metri cubi al giorno se l'acqua è fornita nell'ambito di un'attività economica;
- acqua potabile da autocisterne.

Tale direttiva sull'acqua potabile è stata revisionata a seguito del *Green Deal* europeo e la proposta (COM, 2018a) è entrata in vigore all'inizio del 2021 (GUUE, 2020). A partire da quella data, gli Stati membri dispongono di due anni per recepirli nella legislazione nazionale. L'obiettivo della revisione è la modernizzazione della direttiva sull'acqua potabile (98/83/CE) in seguito alla valutazione REFIT della direttiva sull'acqua potabile (EC, 2016) e l'attuazione della risposta della Commissione all'iniziativa dei cittadini europei "*Right2Water*" (COM, 2014b), come contributo al conseguimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile: con questa iniziativa la Commissione europea veniva esortata a proporre una normativa che sancisse il diritto umano universale all'acqua potabile e ai servizi igienico-sanitari, come riconosciuto dalle Nazioni Unite, e promuovesse l'erogazione di servizi idrici e igienico-sanitari in quanto servizi pubblici fondamentali per tutti. Era richiesto inoltre che le istituzioni dell'Unione europea e gli Stati membri fossero tenuti ad assicurare a tutti i cittadini il diritto all'acqua potabile e ai servizi igienico-sanitari; l'approvvigionamento in acqua potabile e la gestione delle risorse idriche non fossero soggetti alle "logiche del mercato unico" e che i servizi idrici fossero esclusi da qualsiasi forma di liberalizzazione; infine era richiesto che l'Unione Europea intensificasse il proprio impegno per garantire un accesso universale all'acqua potabile e ai servizi igienico-sanitari. Tale iniziativa ha avuto un forte impatto sulla revisione apportata alla Direttiva originaria al punto che le caratteristiche principali del nuovo documento consistono nel:

- rafforzamento degli standard di qualità dell'acqua che sono più severi delle raccomandazioni dell'OMS;
- adozione di un approccio preventivo che favorisca le azioni di riduzione dell'inquinamento alla fonte introducendo l'"approccio basato sul rischio", che si basa su un'analisi approfondita dell'intero ciclo dell'acqua, dalla fonte alla distribuzione;
- promozione dell'uso dell'acqua del rubinetto, anche negli spazi

pubblici e nei ristoranti, per ridurre il consumo di bottiglie di plastica;

- armonizzazione delle norme di qualità per i materiali e i prodotti a contatto con l'acqua, compreso un rafforzamento dei valori limite per il piombo;
- misure per ridurre le perdite d'acqua e aumentare la trasparenza del settore.

Inoltre, a seguito di una decisione di esecuzione della Commissione (EC, 2022a), è richiesto che l'acqua potabile in tutta l'UE venga monitorata più attentamente per individuare la potenziale presenza di due composti che alterano il sistema endocrino (beta-estradiolo e nonilfenolo) lungo l'intera catena di approvvigionamento idrico.

Altra forma della risorsa idrica sulla quale si è resa necessaria una revisione normativa a seguito del *Green Deal* europeo, ma anche a seguito dell'emergenza pandemica, è quella delle acque reflue urbane. Le acque reflue urbane sono, infatti, una delle principali fonti di inquinamento idrico se non vengono raccolte e trattate secondo le norme imposte dall'Unione Europea: contengono materia organica, azoto e fosforo che vengono tutti rimossi se adeguatamente trattati, altrimenti possono portare all'eutrofizzazione, ovvero una enorme proliferazione di biomassa vegetale (microalghe) che può avere ricadute sull'ambiente molto negative. Le acque reflue urbane possono anche essere contaminate da sostanze chimiche nocive, batteri e virus che, se non trattati e scaricati nell'ambiente, influiscono sulla salute umana e danneggiano le acque superficiali.

La Direttiva UE sul trattamento delle acque reflue urbane (UWWTD) attualmente in vigore ha più di 30 anni (GUCE, 1991) e, dalla sua adozione nel 1991, la qualità dei fiumi, dei laghi e dei mari europei è notevolmente migliorata arrivando ad avere il 90% delle acque reflue urbane trattato in linea con la norma. I paesi dell'UE hanno creato sistemi di raccolta e impianti di trattamento delle acque reflue, eppure c'è ancora inquinamento che deve essere affrontato e non è coperto dalle norme attuali. Per risolvere questo problema, la Commissione ha proposto un aggiornamento della direttiva (EC, 2022b). La direttiva originaria sul trattamento delle acque reflue urbane (GUCE, 1991), con le successive modificazioni e decisioni (GUCE, 1998a; GUUE, 2014) mira a proteggere l'ambiente dagli effetti negativi degli scarichi di acque reflue urbane e degli scarichi provenienti da taluni settori industriali e a garantire che le acque reflue domestiche e industriali siano raccolte, trattate e scaricate in modo

efficace. Richiede inoltre:

- la raccolta e il trattamento delle acque reflue in tutte le aree urbane di oltre 2000 persone;
- il trattamento secondario di tutti gli scarichi provenienti da aree urbane con più di 2000 abitanti e trattamento più avanzato per aree urbane con più di 10000 persone in bacini idrografici con acque sensibili;
- la pre-autorizzazione di tutti gli scarichi di acque reflue urbane, degli scarichi dell'industria alimentare e degli scarichi industriali nei sistemi di raccolta delle acque reflue urbane;
- il monitoraggio delle prestazioni degli impianti di trattamento e delle acque recipienti;
- i controlli dello smaltimento e del riutilizzo dei fanghi di depurazione e del riutilizzo delle acque reflue trattate ogniqualvolta sia opportuno.

La valutazione della direttiva del 2019 (EC, 2022b) ha rilevato che nel complesso è molto efficace, se pienamente attuata. La riduzione della materia organica e di altri tipi di inquinamento nelle acque reflue trattate ha consistentemente migliorato la qualità dell'acqua in tutta l'UE, tuttavia, è stato riscontrato che vi sono ancora delle forme di inquinamento che devono essere affrontate e non sono coperte dalle norme attuali, quali l'inquinamento delle città più piccole, gli straripamenti delle acque piovane e i microinquinanti.

Il settore che gestisce le acque reflue urbane è anche uno dei maggiori consumatori di energia di dominio pubblico, quindi costituisce, alla luce degli obiettivi fissati dal *Green Deal* europeo, un enorme potenziale per ridurre le emissioni di gas a effetto serra e aiutare l'Europa a diventare neutrale dal punto di vista energetico e climatico. Alla luce dei risultati della valutazione avvenuta nel 2019 e sulla base di un'ampia valutazione d'impatto (EC, 2022c), nell'ottobre 2022 la Commissione ha rivisto la Direttiva formulando la proposta di adeguamento³ alle norme più recenti (COM, 2022d), con l'intento di:

- ridurre l'inquinamento, il consumo di energia e le emissioni di gas serra;
- migliorare la qualità dell'acqua affrontando l'inquinamento residuo delle acque reflue urbane;
- migliorare l'accesso ai servizi igienico-sanitari, in particolare per i più vulnerabili ed emarginati;

3. Tale proposta di revisione alla Direttiva è attualmente sottoposta all'attenzione di molte parti interessate, dai settori tecnici coinvolti al pubblico in generale, che può esprimere le proprie osservazioni attraverso una consultazione pubblica *online*.

- far pagare all'industria il trattamento dei microinquinanti;
- richiedere ai paesi dell'UE di monitorare gli agenti patogeni nelle acque reflue;
- portare a un settore più circolare.

Inoltre definisce i nuovi obiettivi da perseguire entro il 2040:

- risparmiare quasi 3 miliardi di EUR all'anno in tutta l'Unione Europea;
- ridurre le emissioni di gas serra di oltre il 60% rispetto al 1990;
- ridurre l'inquinamento idrico di oltre 365 mila tonnellate;
- ridurre le emissioni di microplastiche del 9%.

Tali obiettivi, in particolare quelli legati alla riduzione delle emissioni di gas serra e dell'inquinamento idrico, sebbene ancora non siano stati approvati per l'entrata in vigore e presumibilmente non lo saranno prima della chiusura della stesura della presente trattazione, saranno comunque presi come riferimento nel progetto di Tesi, e saranno fortemente interrelati con le indicazioni sui requisiti minimi date dalla norma per il riutilizzo dell'acqua (OJEU, 2020), che si inserisce nel contesto del piano d'azione per l'economia circolare (COM, 2020e; COM, 2020f) e include l'attuazione del nuovo regolamento tra le priorità europee per l'economia circolare, come già anticipato nel paragrafo 2.1.3, e come parallelamente esplicitato all'interno della strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici (COM, 2021b).

Il riutilizzo dell'acqua è una pratica che viene già utilizzata comunemente e con successo in diversi Stati membri dell'Unione Europea, nonché in altri contesti a scala mondiale, tuttavia, risulta ancora ben al di sotto del suo potenziale. E questo, secondo i documenti della Commissione, deriva principalmente da due ostacoli: la limitata consapevolezza dei potenziali benefici tra le parti interessate e il pubblico in generale, e la mancanza di un quadro normativo di sostegno e coerente per il riutilizzo dell'acqua.

Per aumentare la consapevolezza la Comunicazione del 2007 sulla carenza idrica e la siccità ha chiarito che la scarsità d'acqua e gli eventi di siccità saranno probabilmente più gravi e più frequenti in futuro a causa dei cambiamenti climatici e dell'aumento della popolazione.

Negli ultimi trent'anni, la siccità è aumentata drammaticamente in numero e intensità nell'UE e almeno l'11% della popolazione europea e il 17% del suo territorio sono stati colpiti dalla scarsità

d'acqua fino ad oggi (COM, 2007); inoltre i cambiamenti climatici, le condizioni meteorologiche imprevedibili e i fenomeni siccitosi contribuiscono in misura significativa all'esaurimento delle riserve di acqua dolce.

L'eccessiva estrazione di acqua è una delle principali cause di stress idrico e il ruolo potenziale del riutilizzo delle acque reflue trattate come fonte alternativa di approvvigionamento idrico va riconosciuto e integrato nelle strategie internazionali, europee e nazionali in quanto può essere considerato un approvvigionamento idrico affidabile, del tutto indipendente dalla siccità stagionale e dalla variabilità meteorologica e in grado di coprire i picchi della domanda di acqua, oltre che identificato come una pratica che favorisce una gestione più efficiente delle risorse idriche e l'adattamento dei sistemi ai cambiamenti climatici.

Il riutilizzo delle acque reflue trattate, come si evince già all'interno del "Piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee" (COM, 2012), può apportare notevoli benefici ambientali, sociali ed economici e può migliorare lo stato dell'ambiente sia quantitativamente, alleviando la pressione sostituendo l'estrazione, sia qualitativamente, alleviando la pressione di scarico degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane e per queste ragioni necessita di una apposita strumentazione legislativa che lo regoli e allo stesso tempo lo incoraggi. Inoltre, rispetto a fonti alternative di approvvigionamento idrico come la desalinizzazione o l'estrazione dell'acqua, il riutilizzo dell'acqua risulta spesso richiedere minori costi di investimento ed energia, contribuendo, anche in maniera consistente, a ridurre le emissioni di gas serra.

Il riutilizzo dell'acqua costituisce dunque un settore prioritario, il cui potenziale va massimizzato ben al di sopra dei livelli attuali: circa 1 miliardo di metri cubi di acque reflue urbane trattate viene riutilizzato ogni anno, pari a circa il 2,4% degli effluenti delle acque reflue urbane trattate e a meno dello 0.5% dei prelievi annuali di acqua dolce dell'Unione Europea. Ma il potenziale dell'Unione Europea è molto più elevato, stimato nell'ordine di 6 miliardi di metri cubi, sei volte il volume attuale.

L'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (ONU, 2015) sull'acqua (SDG 6), mira specificamente a un aumento sostanziale del riciclo e del riutilizzo sicuro a livello globale entro il 2030, e proprio per rafforzare ulteriormente il ruolo della pratica del riutilizzo dell'acqua è stato presentato il regolamento relativo alle prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua (OJEU, 2020), che è entrato in vigore nel giugno 2020⁴.

4. Le nuove norme si applicheranno a decorrere dal 26 giugno 2023.

Il regolamento stabilisce:

- i requisiti minimi armonizzati di qualità dell'acqua per il riutilizzo sicuro delle acque reflue urbane trattate nell'irrigazione agricola;
- i requisiti minimi armonizzati in materia di monitoraggio, in particolare la frequenza del monitoraggio per ciascun parametro di qualità, e requisiti di monitoraggio della convalida;
- le disposizioni in materia di gestione del rischio per valutare e affrontare potenziali rischi aggiuntivi per la salute e possibili rischi ambientali.

Il quadro normativo appena delineato in merito alle politiche specifiche dell'Unione Europea mirate alla risorsa idrica in tutte le sue forme, con i suoi punti di debolezza e le opportunità che presenta nell'adattamento e la mitigazione delle cause del cambiamento climatico, evidenzia quanto questo settore giochi un ruolo chiave nel raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica definiti nel *Green Deal* europeo. Ulteriore prova ne è che il settore acqua, è tra le 5 linee d'azione imprescindibili che verranno discusse nella COP27 perché le soluzioni idriche urgenti sono fondamentali per raggiungere un futuro net-zero, sostenibile e resiliente (WEF, 2022a).

A seguito della COP27, nel marzo 2023, è prevista una ulteriore riunione dei leader mondiali nella Conferenza sull'Acqua delle Nazioni Unite del 2023 per discutere le interconnessioni tra acqua, sviluppo, clima e salute e questo sottolinea ancora di più quanto sia cruciale mirare ad un miglioramento dei processi di circolarità della risorsa naturale in ambito urbano per facilitare il perseguimento degli obiettivi mondiali.

2.2 Il contesto legislativo in ambito nazionale

2.2.1 Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) e il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR): il recepimento delle direttive europee in ambito nazionale

L'Europa assume un ruolo centrale per la transizione ecologica ed energetica dell'Italia grazie alle azioni previste nell'ambito del *Green Deal* (COM, 2019a), a partire dagli obiettivi strategici di riduzione del 55% delle emissioni di gas serra entro il 2030 e l'obiettivo di portare al 40% la quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili (nel nostro paese la quota era di poco superiore al 22% nel 2020) e i due principali strumenti nazionali che recepiscono e guidano con un approccio olistico verso una trasformazione accelerata in questa direzione sono, da una parte il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 (PNIEC) (MiSE, MATTM, MIT, 2020), nel quale convergono le indicazioni e le direttive europee che regolano la riduzione delle emissioni, il risparmio energetico, lo sviluppo delle rinnovabili e gli aspetti più infrastrutturali come l'interconnettività delle reti e dall'altra il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) (Camera dei Deputati Servizio Studi XVIII Legislatura, 2022).

Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 (PNIEC) è stato inviato alla Commissione europea in attuazione del Regolamento (UE) 2018/1999, completando così il percorso avviato nel dicembre 2018, nel corso del quale il Piano è stato oggetto di un proficuo confronto tra le istituzioni coinvolte, i cittadini e tutti gli *stakeholder*.

Con il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima vengono stabiliti gli obiettivi nazionali al 2030 sull'efficienza energetica, sulle fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di CO₂, nonché gli obiettivi in tema di sicurezza energetica, interconnessioni, mercato unico dell'energia e competitività, sviluppo e mobilità sostenibile, delineando per ciascuno di essi le misure che saranno attuate per assicurarne il raggiungimento.

2.5 IL PIANO SI STRUTTURA SU 5 LINEE D'INTERVENTO, CHE SI SVILUPPERANNO IN MANIERA INTEGRATA



Le 5 linee d'intervento che sono state sviluppate in maniera integrata attraverso la pubblicazione nel corso del 2020 dei decreti legislativi di recepimento delle direttive europee mirano a garantire una riduzione del 56% le emissioni nel settore della grande industria; del 35% il settore terziario, dei trasporti terrestri e il settore civile e il raggiungimento del 30% di quota di energia da fonti di energia rinnovabili.

Alla luce di tali linee d'intervento, gli obiettivi generali perseguiti dall'Italia sono:

- a. 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;
- b. mettere il cittadino e le imprese (in particolare piccole e medie) al centro, in modo che siano protagonisti e beneficiari della trasformazione energetica e non solo soggetti finanziatori delle politiche attive; ciò significa promozione dell'autoconsumo e delle comunità dell'energia rinnovabile, ma anche massima regolazione e massima trasparenza del segmento della vendita, in modo che il consumatore possa trarre benefici da un mercato concorrenziale;
- c. favorire l'evoluzione del sistema energetico, in particolare nel settore elettrico, da un assetto centralizzato a uno distribuito basato prevalentemente sulle fonti rinnovabili;
- d. adottare misure che migliorino la capacità delle stesse rinnovabili

Didascalie alle immagini.
2.5. Linee d'intervento del PNIEC (immagine tratta da MiSE, MATTM, MIT, 2020)

di contribuire alla sicurezza e, nel contempo, favorire assetti, infrastrutture e regole di mercato che, a loro volta contribuiscano all'integrazione delle rinnovabili;

e. continuare a garantire adeguati approvvigionamenti delle fonti convenzionali, perseguendo la sicurezza e la continuità della fornitura, con la consapevolezza del progressivo calo di fabbisogno di tali fonti convenzionali, sia per la crescita delle rinnovabili che per l'efficienza energetica;

f. promuovere l'efficienza energetica in tutti i settori, come strumento per la tutela dell'ambiente, il miglioramento della sicurezza energetica e la riduzione della spesa energetica per famiglie e imprese;

g. promuovere l'elettrificazione dei consumi, in particolare nel settore civile e nei trasporti, come strumento per migliorare anche la qualità dell'aria e dell'ambiente;

h. 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 l'orientamento 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;

i. adottare, anche tenendo conto delle conclusioni del processo di Valutazione Ambientale Strategica e del connesso monitoraggio ambientale, misure e accorgimenti che riducano i potenziali impatti negativi della trasformazione energetica su altri obiettivi parimenti rilevanti, quali la qualità dell'aria e dei corpi idrici, il contenimento del consumo di suolo e la tutela del paesaggio;

j. continuare il processo di integrazione del sistema energetico nazionale in quello dell'Unione (MiSE, MATTM, MIT, 2020).

Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 è chiamato, dunque, a coniugare obiettivi di sostenibilità, sicurezza economica ed energetica e competitività del sistema e mentre il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) punta ad accelerare i processi di cambiamento e di innovazione in tutto il settore economico con un focus speciale su energia, transizione ecologica e digitalizzazione. Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) (MiSE, 2021) presentato ad aprile 2021 in ambito nazionale si inserisce all'interno del programma *NextGenerationEU* (NGEU), il pacchetto da 750 mi-

liardi di euro, costituito per circa la metà da sovvenzioni, concordato dall'Unione Europea in risposta alla crisi pandemica (COM, 2020a). La principale componente del programma europeo è il Dispositivo per la Ripresa e Resilienza (*Recovery and Resilience Facility*, RRF), che ha una durata di sei anni, dal 2021 al 2026, e una dimensione totale di 672,5 miliardi di euro (312,5 sovvenzioni, i restanti 360 miliardi prestati a tassi agevolati).

Il Piano nazionale deve essere coerente con le sfide e le priorità specifiche per Paese individuate nel contesto del Semestre europeo e con le informazioni contenute nei Programmi nazionali di riforma, nei Piani nazionali per l'energia e il clima, nei Piani territoriali per una transizione giusta, nei Piani nazionali per l'attuazione della Garanzia Giovani e negli Accordi di partenariato; destinare almeno il 37% della dotazione al sostegno della transizione verde, compresa la biodiversità; destinare almeno il 20% alla trasformazione digitale; fornire una dettagliata spiegazione delle modalità con le quali il Piano intende contribuire alla parità di genere e alle pari opportunità, rafforzare il potenziale di crescita e attenuare l'impatto sociale ed economico della crisi, contribuendo all'attuazione del Pilastro europeo dei diritti sociali; definire i target intermedi e finali e un calendario indicativo dell'attuazione delle riforme e degli investimenti, da completare al più tardi entro la fine di agosto 2026; indicare le modalità per il monitoraggio e l'attuazione del Piano, tappe, obiettivi e indicatori inclusi; dare conto delle misure nazionali volte a prevenire, individuare e correggere corruzione, frodi e conflitti di interesse (Camera dei Deputati Servizio Studi XVIII Legislatura, 2022).

Il Piano rappresenta un'occasione unica per accelerare la transizione delineata, superando barriere che si sono dimostrate critiche in passato e, come strumento, si sviluppa intorno a tre assi strategici condivisi a livello europeo: digitalizzazione e innovazione, transizione ecologica, inclusione sociale. Si tratta di un intervento che intende riparare i danni economici e sociali della crisi pandemica, contribuire a risolvere le debolezze strutturali dell'economia italiana, e accompagnare il Paese su un percorso di transizione ecologica e ambientale.

Con questi scopi si articola in 6 missioni:

- (1) Digitalizzazione, Innovazione, Competitività e Cultura;
- (2) Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica;

- (3) Infrastrutture per una Mobilità Sostenibile;
- (4) Istruzione e Ricerca;
- (5) Inclusione e Coesione;
- (6) Salute.

Ai fini della presente Tesi viene approfondita la Missione 2: "Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica" che prevede lo stanziamento di 68,6 miliardi complessivi (59,5 miliardi dal Dispositivo RRF e 9,1 dal Fondo) con gli obiettivi principali di migliorare la sostenibilità e la resilienza del sistema economico e assicurare una transizione ambientale equa e inclusiva e che si articola secondo una serie di azioni principali e relative componenti.

La Missione 2 mette in luce la necessità di una radicale transizione ecologica verso la completa neutralità climatica e lo sviluppo ambientale sostenibile per mitigare le minacce a sistemi naturali e umani: senza un abbattimento sostanziale delle emissioni climateranti, il riscaldamento globale raggiungerà e supererà i 3-4 °C prima della fine del secolo, causando irreversibili e catastrofici cambiamenti del nostro ecosistema e rilevanti impatti socioeconomici. Gli obiettivi globali ed europei al 2030 e 2050 delineati con i *Sustainable Development Goals* (ONU, 2015), con gli obiettivi dell'Accordo di Parigi (GUUE, 2016), e nel *Green Deal* europeo (COM, 2019a),

Didascalie alle immagini.
2.6. Azioni principali della Missione 2 del PNRR (immagine tratta da MEF et al., 2021)

2.6

Italia **PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA**
domani #NEXTGENERATIONITALIA

RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA

- Potenziamento riciclo rifiuti** >> + 55% elettrici
+ 85% carta
+ 65% plastiche
+ 100% tessile
- Riduzione delle perdite di acqua potabile sulle reti idriche**
- Ogni anno 50.000 edifici privati e pubblici più efficienti, per un totale di 20 milioni di metri quadrati**
- Sviluppo della ricerca e del sostegno dell'uso dell'idrogeno nell'industria e nei trasporti**

MISSIONE 1 MISSIONE 2 MISSIONE 3 MISSIONE 4 MISSIONE 5 MISSIONE 6

MEF Ministero dell'Economia e delle Finanze

sono molto ambiziosi e puntano ad una progressiva e completa decarbonizzazione del sistema (*'Net-Zero'*) e a rafforzare l'adozione di soluzioni di economia circolare, per proteggere la natura e le biodiversità e garantire un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente (MEF et al., 2021).

La Missione 2 è, a sua volta, articolata in 4 componenti:

- C1. Agricoltura sostenibile ed Economia circolare
- C2. Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile
- C3. Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici
- C4. Tutela del territorio e della risorsa idrica

che, ad eccezione della Componente 2, si trovano in linea con gli obiettivi della presente Ricerca e, per questa ragione per ciascuna delle Componenti pertinenti si fa un approfondimento delle tematiche e degli obiettivi principali:

Componente 1: Economia circolare

Questa Componente punta al miglioramento della capacità di gestione efficiente e sostenibile dei rifiuti, all'avanzamento del paradigma dell'economia circolare nell'ottica di una piena sostenibilità ambientale e, dunque, con ricadute anche sulla circolarità delle risorse naturali esauribili;

Componente 3: Efficienza Energetica e Riqualificazione degli Edifici
Attraverso questa Componente si mira ad un aumento dell'efficientamento energetico del parco immobiliare pubblico e privato. Si vuole rafforzare l'efficientamento energetico incrementando il livello di efficienza degli edifici, una delle leve più virtuose per la riduzione delle emissioni in un Paese come il nostro, che soffre di un parco edifici con oltre il 60% dello stock superiore a 45 anni, sia negli edifici pubblici (es. scuole, cittadelle giudiziarie), sia negli edifici privati, come già avviato dall'attuale misura "Superbonus";

Componente 4: Tutela della Risorsa Idrica

Garanzia della sicurezza dell'approvvigionamento e gestione sostenibile ed efficiente delle risorse idriche lungo l'intero ciclo di vita. La Componente 4 pone in campo azioni per rendere il Paese più resiliente agli inevitabili cambiamenti climatici, proteggere la natura e le biodiversità, e garantire la sicurezza e l'efficienza del sistema idrico.

Nel giugno 2021 la Commissione europea ha pubblicato la proposta di decisione (COM, 2021a) di esecuzione del Consiglio relativa all'approvazione del PNRR dell'Italia, accompagnata da una dettagliata analisi del PNRR italiano. Nel mettere a disposizione dell'Italia le risorse richieste, si è ritenuto che il Piano: 1) sia bilanciato nella risposta ai pilastri citati nell'articolo 3 del regolamento (UE) 2021/241 e impostato per incrementare il potenziale di crescita dell'Italia, le condizioni del mercato del lavoro e la resilienza sociale; 2) non arrechi danno significativo agli obiettivi ambientali dell'Unione; 3) contenga misure connesse alla transizione verde per il 37,5 per cento dell'allocatione totale e connesse alla trasformazione digitale per il 25,1 per cento; 4) abbia il potenziale di arrecare cambiamenti strutturali duraturi e quindi avere un impatto anch'esso duraturo sulle società e economia italiane; 5) presenti costi stimati ragionevoli, plausibili e commensurati all'impatto sociale e economico atteso (COM, 2021d). Anche in considerazione del sistema di *governance* multi-livello creato per assicurare un'attuazione efficace e il monitoraggio del piano, e del forte sistema di controllo stabilito, la Commissione ha quindi fornito una valutazione globalmente positiva.

A luglio del 2021 il PNRR dell'Italia è stato definitivamente approvato con Decisione di esecuzione del Consiglio, che ha recepito la proposta di decisione della Commissione europea (Consiglio dell'Unione Europea, 2021). Alla Decisione di esecuzione del Consiglio è annesso un corposo allegato con cui vengono definiti, in relazione a ciascun investimento e riforma, precisi obiettivi e traguardi, cadenzati temporalmente, al cui conseguimento si lega l'assegnazione delle risorse su base semestrale (Camera dei Deputati Servizio Studi XVIII Legislatura, 2022). La prima relazione sullo stato di attuazione del Dispositivo di ripresa e resilienza in Europa è stata pubblicata nel marzo 2022 (COM, 2022b).

Tutte le misure messe in campo dal PNRR concorrono al raggiungimento e superamento degli obiettivi definiti dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima in vigore (MiSE, MATTM, MIT, 2020). Per questo è il momento, oggi più che mai, di concentrare l'attenzione sulle risorse legate al piano *NextGenerationEU* e alla parte attuativa che fa riferimento ai progetti del Piano Nazionale Ripresa e Resilienza per rispondere, in particolare in merito alle risorse idriche, a quello che appare oggi come il bisogno primario per invertire la criticità legata alla risoluzione delle problematiche di sprechi della

risorsa, gestione frammentata e inefficiente, e di obsolescenza delle infrastrutture che la servono nel Paese.

Il PNRR destina alla Tutela del territorio e della Risorsa Idrica, la sopra citata Componente 4 della Missione 2, più di 4 miliardi di investimenti al fine di garantire la sicurezza, l'approvvigionamento e la gestione sostenibile dell'acqua. Gli oltre 4 miliardi destinati "agli invasi", i 900 milioni destinati all'ammodernamento delle reti cittadine e i 600 milioni a loro volta indirizzati alla parte degli impianti di depurazione e delle infrastrutture fognarie costituiscono una occasione per portare la capacità di rilevazione, controllo e di azione del digitale al servizio della gestione delle acque nei territori. Utilitalia (Utilitatis Fondazione et al., 2022) ha raccolto dalle associate al settore idrico una proposta progettuale delle aziende che vogliono mettere in campo per far fronte a queste criticità pari a circa 14 miliardi di euro. Tale investimento ha una ricaduta sul territorio importante pari a circa +0.8% di impatto sul PIL e con un impatto sull'occupazione di +158.000.

La maggior parte dei progetti sono destinati alle infrastrutture idriche per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico (linea di investimento 4.1: 7,45 miliardi di euro, il 54% del totale); a seguire gli interventi sulle perdite di rete (LI 4.2: 3,32 miliardi di euro, il 24%) e in fognatura e depurazione (LI 4.4: 3,09 miliardi di euro, il 22%). Sulla linea 4.2, il 55% del valore progettuale è dedicato alla sostituzione delle reti di distribuzione, mentre il 45% ad interventi in digitalizzazione (sistemi innovativi di monitoraggio, smart metering, sistemi di controllo e manutenzione digitale) (Utilitatis Fondazione et al., 2022).

2.2.2 Regolazione della Qualità Tecnica del Servizio Idrico Integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI)

Per quanto riguarda specificatamente il servizio idrico integrato, a queste misure si affiancano gli obiettivi di qualità tecnica stabiliti dal provvedimento di "Regolazione della Qualità Tecnica del Servizio Idrico Integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI)", introdotto dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) con la delibera 917/2017/R/idr (ARERA, 2017), che prevedono un progressivo miglioramento in termini di perdite, interruzioni, qualità dell'acqua potabile e depurata, di infrastruttura fognaria e smaltimento dei fanghi e le diret-

trici ambientali introdotte con il nuovo metodo tariffario (MTI-3), finalizzate al miglioramento delle performance energetiche e circolari delle aziende del Sistema Idrico Integrato.

Tale strumento di regolazione è stato deliberato precedentemente rispetto alla pubblicazione del *Green Deal* e quindi del suo recepimento a livello nazionale, tuttavia ha subito delle modificazioni e degli aggiornamenti nel 2021, a seguito dell'approvazione del PNRR con le successive deliberazioni 609/2021/R/IDR e 639/2021/R/IDR (ARERA, 2021). Con questo documento l'Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico definisce la disciplina della qualità tecnica del servizio idrico integrato, con un approccio asimmetrico e innovativo, che considera le condizioni specifiche dei diversi contesti al fine di individuare stimoli corretti ed efficaci per promuovere benefici a favore degli utenti dei diversi servizi. Il modello di regolazione individuato sviluppa, in particolare, la selettività, la corrispettività, l'effettività, la premialità, la gradualità e la stabilità.

Tale modello è basato su un sistema di indicatori composto da:

- **prerequisiti:** rappresentano le condizioni necessarie all'ammissione al meccanismo incentivante associato agli standard generali;
- **standard specifici:** identificano i parametri di performance da garantire nelle prestazioni erogate al singolo utente e il cui mancato rispetto prevede l'applicazione di indennizzi automatici;
- **standard generali:** sono ripartiti in macro-indicatori e indicatori semplici che descrivono le condizioni tecniche di erogazione del servizio a cui è associato un meccanismo incentivante. Macro-indicatori che, a loro volta, sono:
 - **macro-indicatore M1 - "Perdite idriche"** (cui è associato l'obiettivo di contenimento delle dispersioni, con efficace presidio dell'infrastruttura acquedottistica), definito tenendo congiuntamente conto sia delle perdite idriche lineari, sia delle perdite percentuali;
 - **macro-indicatore M2 - "Interruzioni del servizio"** (cui è associato l'obiettivo di mantenimento della continuità del servizio, anche attraverso una idonea configurazione delle fonti di approvvigionamento), definito come rapporto tra la somma delle durate delle interruzioni annue e il numero totale di utenti finali serviti dal gestore;
 - **macro-indicatore M3 - "Qualità dell'acqua erogata"** (cui è associato l'obiettivo di una adeguata qualità della risorsa destinata al consumo umano), definito, secondo una logica multi-stadio, tenendo con-

to: i) dell'incidenza delle ordinanze di non potabilità; ii) del tasso di campioni interni non conformi; iii) del tasso di parametri da controlli interni non conformi;

- macro-indicatore M4 - "Adeguatezza del sistema fognario" (cui è associato l'obiettivo di minimizzare l'impatto ambientale derivante dal convogliamento delle acque reflue), definito - anch'esso secondo una logica multi-stadio - considerando: i) la frequenza degli allagamenti e/o sversamenti da fognatura; ii) l'adeguatezza normativa degli scaricatori di piena; iii) il controllo degli scaricatori di piena;
- macro-indicatore M5 - "Smaltimento fanghi in discarica" (cui è associato l'obiettivo di minimizzare l'impatto ambientale collegato al trattamento dei reflui, con riguardo alla linea fanghi), definito come rapporto tra la quota dei fanghi di depurazione misurata in sostanza secca smaltita in discarica e la quantità di fanghi di depurazione misurata in sostanza secca complessivamente prodotta;
- macro-indicatore M6 - "Qualità dell'acqua depurata" (cui è associato l'obiettivo di minimizzare l'impatto ambientale collegato al trattamento dei reflui, con riguardo alla linea acque), definito come tasso di superamento dei limiti dei campioni di acqua reflua scaricata.

Il modello definito dalla delibera 917/2017/R/idr prevede che per ciascun macro-indicatore (inteso come obiettivo minimo) l'Ente di governo dell'ambito (EGA) - per ogni gestione operante sul territorio di pertinenza - individui:

- la classe di partenza, sulla base dei dati tecnici messi a disposizione del gestore e validati dal medesimo Ente di governo;
- l'obiettivo di miglioramento/mantenimento che il gestore è tenuto a conseguire (annualmente) sulla base dei target fissati dal presente provvedimento.

Viene, inoltre, definito un sistema di incentivazione articolato in premi e penalità da attribuire, a partire dall'anno 2020, alle performance dei gestori nei due anni precedenti.

La copertura dei costi relativi al rispetto degli standard specifici e al conseguimento degli obiettivi previsti dalla qualità tecnica avviene secondo quanto stabilito dal metodo tariffario (MTI-2).

La delibera iniziale (ARERA, 2017) ha previsto l'applicazione del sistema di indicatori alla base della qualità tecnica - nonché l'av-

vio del monitoraggio sui dati ai medesimi sottesi - a partire dal 1 gennaio 2018 (sulla base del valore assunto dai macro-indicatori all'anno 2016, mentre dal 1 gennaio 2019 sarà sulla base del valore nell'annualità precedente, ove disponibile), e dal 1 gennaio 2019 l'applicazione delle norme concernenti gli obblighi di registrazione e archiviazione dei dati, previsti dallo stesso provvedimento.

Va sottolineato, vista la pertinenza dell'argomento con l'obiettivo di decarbonizzazione posto nella presente Ricerca, che l'allegato A alla Delibera 917/2017/R/idr (ARERA, 2021) introduce al punto 18.12, ad integrazione del macro-indicatore M5 (smaltimento fanghi in discarica) al fine di valutare il miglioramento dell'impatto ambientale complessivamente associato al servizio di depurazione, l'indicatore G5.3 denominato "Impronta di carbonio del servizio di depurazione", valutato in accordo alla norma UNI EN ISO 14064-1 e misurato in termini di tonnellate di CO₂ equivalente", di cui si riportano i contenuti nel successivo paragrafo.

2.2.2.1 La famiglia delle norme ISO 14060: ISO 14064 Greenhouse gases e ISO 14067 Carbon footprint of the products

Il cambiamento climatico derivante dall'attività antropogenica è stato identificato come una delle maggiori sfide affrontare il mondo e continuerà a influenzare le imprese e i cittadini nei prossimi decenni. Come già approfondito nello studio del contesto internazionale e nelle applicazioni normative a partire dal *Green Deal* il cambiamento climatico ha implicazioni sia per i sistemi umani che per quelli naturali tali da portare a conseguenze significative sulla disponibilità delle risorse, sull'attività economica e sul benessere umano. In risposta, a livello internazionale, sono state sviluppate e attuate iniziative regionali, nazionali e locali da soggetti pubblici e privati settori per mitigare le concentrazioni di gas a effetto serra (GHG) nell'atmosfera terrestre, nonché per facilitare la mitigazione delle cause e l'adattamento ai cambiamenti climatici. In questa direzione le norme ISO, e in particolare quelle della famiglia delle norme ISO 14060 forniscono una risposta efficace e progressiva alla minaccia urgente del cambiamento climatico sulla base delle migliori conoscenze scientifiche disponibili basandosi su iniziative volte alla mitigazione dei gas serra a partire dalla quantificazione, dal monitoraggio, dalla rendicontazione e la verifica dei limiti di emissioni

consentite e della quantità rimossa di gas a effetto serra. La famiglia ISO 14060 (Technical Committee ISO/TC 207, 2018a) fornisce chiarezza e coerenza per la quantificazione, il monitoraggio, la segnalazione, la convalida e la verifica delle emissioni e degli assorbimenti di gas serra per sostenere lo sviluppo sostenibile attraverso un'economia a basse emissioni di carbonio e a beneficio di organizzazioni, promotori di progetti e parti interessate in tutto il mondo.

In particolare, l'applicazione della famiglia di norme ISO 14060:

- migliora l'integrità ambientale della quantificazione dei GHG;
- migliora la credibilità, la coerenza e la trasparenza della quantificazione, del monitoraggio, della rendicontazione, della verifica e della validazione dei GHG;
- agevola lo sviluppo e l'attuazione di piani e strategie di gestione dei GHG;
- agevola lo sviluppo e l'attuazione di azioni di mitigazione attraverso la riduzione delle emissioni o l'aumento delle riduzioni;
- agevola la capacità di tracciabilità delle prestazioni e dei progressi nella riduzione delle emissioni di GHG e/o nell'aumento delle rimozioni di GHG;

e include:

- decisioni aziendali, come l'individuazione di opportunità di riduzione delle emissioni e aumento della redditività mediante la riduzione dei consumi energetici;
- gestione dei rischi e delle opportunità, come i rischi legati al clima, inclusi i rischi di natura finanziaria, regolamentaria, legati alla catena di fornitura, a prodotti e clienti, a controversie, reputazionali e opportunità di business (per esempio nuovi mercati, nuovi modelli di attività);
- iniziative volontarie, come la partecipazione a registri volontari di GHG • iniziative di rendicontazione sulla sostenibilità;
- mercati dei GHG, come l'acquisto e la vendita di quote o crediti di GHG;
- programmi regolamentari/governativi sui GHG, come crediti per azioni intraprese in fasi precoci, accordi o iniziative di rendicontazione locali e nazionali.

In particolare la norma ISO 14064 costituisce lo standard internazionale per la misurazione, il monitoraggio, la rendicontazione e la verifica delle emissioni e delle rimozioni di gas ad effetto serra (GHG) a livello di organizzazioni e di progetto. Espone in maniera dettagliata principi e requisiti per la progettazione, lo sviluppo, la gestione e la rendicontazione di inventari di GHG e comprende i requisiti per determinare i limiti di emissione e di rimozione dei gas

Didascalie alle immagini.
2.7. Relazioni tra le norme sugli standard GHG che compongono la famiglia ISO 14060 (immagine tratta da Technical Committee ISO/TC 207, 2018a)

2.7 ISO 14064-1:2018(E)

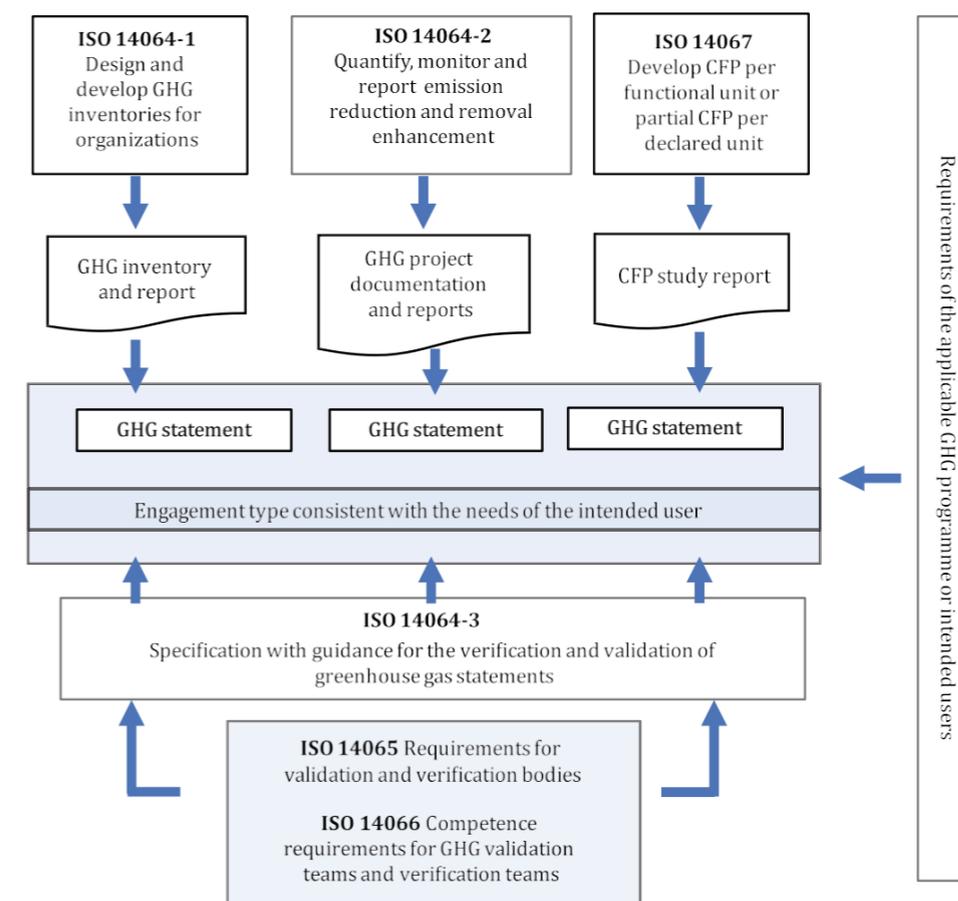


Figure 1 — Relationship among the ISO 14060 family of GHG standards

serra, andando a quantificare le emissioni e gli assorbimenti di GHG di un'organizzazione o di un progetto, identificando specifiche azioni o attività aziendali volte a migliorare la gestione dei GHG. Comprende anche i requisiti e linee guida sulla gestione della qualità dell'inventario, la rendicontazione, l'audit interno e le responsabilità nelle attività di verifica.

Tale norma è suddivisa in 3 parti:

ISO/CD 14064-1 "Greenhouse gases - Part 1: Specification for the quantification, monitoring and reporting of organization emissions and removals" - UNI EN ISO 14064-1 APRILE 2019 - Gas ad effetto serra - Parte 1: Specifiche e guida, al livello dell'organizzazione, per la quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di gas ad effetto serra e della loro rimozione.

ISO/CD 14064-2 "Greenhouse gases - Part 2: Specification for the quantification, monitoring and reporting of project emissions and removals" - UNI EN ISO 14064-2 GIUGNO 2019 - Gas ad effetto serra - Parte 2: Specifiche e guida, al livello di progetto, per la quantificazione, il monitoraggio e la rendicontazione delle emissioni di gas ad effetto serra o dell'aumento della loro rimozione.

La norma specifica i principi e i requisiti e fornisce una guida, al livello di progetto, per la quantificazione, il monitoraggio e la rendicontazione delle attività destinate a ridurre le emissioni di gas ad effetto serra o ad aumentarne la rimozione. Essa comprende i requisiti per pianificare un progetto relativo ai gas ad effetto serra, per identificare e selezionare le sorgenti, gli assorbitori ed i serbatoi di gas ad effetto serra (SSRs) pertinenti al progetto ed allo scenario di riferimento, per monitorare, quantificare, documentare e rendicontare le prestazioni dei progetti relativi ai gas ad effetto serra e per gestire la qualità dei dati;

ISO/CD 14064-3 "Greenhouse gases - Part 3: Specification and guidance for validation and verification": UNI EN ISO 14064-3 GIUGNO 2019 - Gas ad effetto serra - Parte 3: Specifiche e guida per la validazione e la verifica delle asserzioni relative ai gas ad effetto serra. La norma specifica i principi e i requisiti e fornisce una guida per validare e verificare le asserzioni relative ai gas ad effetto serra (GHG). Essa può essere applicata alle asserzioni relative ai gas ad effetto serra di organizzazioni, progetti e prodotti.

Alla parte 14064-1 si fa riferimento nella Delibera dell'ARERA al fine di valutare il miglioramento dell'impatto ambientale complessivamente associato al servizio di depurazione, per quanto riguarda l'indicatore denominato "Impronta di carbonio del servizio di depurazione".

Questa parte di norma specifica i principi e i requisiti, al livello dell'organizzazione, per la quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di gas ad effetto serra (GHG) e della loro rimozione. Essa include i requisiti per la progettazione, lo sviluppo, la gestione, la rendicontazione e la verifica dell'inventario dei gas ad effetto serra di un'organizzazione e, secondo tale norma, l'azienda deve stabilire il proprio confine operativo, ovvero deve indicare le emissioni e le rimozioni di gas climalteranti associate alle varie operazioni, classificate in sei categorie:

- Emissioni e rimozioni dirette: sono emissioni che hanno origine da fonti presenti all'interno dei confini organizzativi e che sono di proprietà o controllate dall'organizzazione;
- Emissioni indirette da energia importata: questa categoria comprende emissioni di gas serra dovute all'utilizzo di idrocarburi e associate alla produzione delle diverse tipologie di energia, come, ad esempio, elettricità, calore, vapore, raffreddamento e aria compressa. Nell'Allegato E della norma si specifica che le emissioni di gas serra derivanti dal consumo di energia elettrica importata devono essere contabilizzate con un fattore di emissione possibilmente locale, che tenga in considerazione le condizioni sito-specifiche della rete di produzione e trasmissione nazionale o regionale.
- Emissioni indirette da trasporto: le emissioni da trasporto vengono prodotte da fonti mobili situate al di fuori dei confini operativi dell'organizzazione. Tali fonti di emissione sono principalmente dovute al carburante utilizzato nei mezzi di trasporto.
- Emissioni indirette da prodotti e servizi usati dall'organizzazione: in questa categoria rientrano le emissioni derivanti da fonti situate al di fuori dai confini organizzativi, ma connesse con l'utilizzo di prodotti da parte dell'organizzazione. Tali contributi sono associati ai prodotti acquistati dall'organizzazione. Si specifica che è necessario tenere in considerazione tutte le emissioni che si verificano durante l'intero processo di produzione di tali prodotti e/o servizi.
- Emissioni indirette associate all'uso di prodotti dall'organizzazio-

ne: in questa categoria rientrano le emissioni associate all'utilizzo, al di fuori dei confini organizzativi, di prodotti venduti dall'organizzazione.

- Emissioni indirette da altre fonti: in tale categoria rientrano tutte le emissioni che non possono essere contabilizzate in nessuna delle precedenti definizioni ma che sono comunque da considerarsi come significative;

e prevede, inoltre di definire il contributo della sola CO₂ nella determinazione delle singole categorie di emissione. Si specifica che ogni categoria deve riportare il dettaglio della componente CO₂ biogenica delle emissioni, intesa come quota di emissioni di origine non fossile provenienti dal ciclo biochimico del carbonio.

La distinzione della CO₂ in funzione dell'origine è articolata in tre sottoclassi:

1. Emissioni non-biogeniche: emissioni di CO₂ che non derivano dall'ossidazione di carbonio biogenico, cioè da una fonte di carbonio derivante da materiale di origine biologica;
2. Emissioni antropogeniche biogeniche: emissioni che hanno origine da materiale di tipo biogenico derivante da attività antropiche;
3. Emissioni non-antropogeniche biogeniche: emissioni che hanno origine da materiale di tipo biogenico proveniente da un ciclo di evoluzione naturale (crescita e/o decomposizione).

La norma ISO 14065 definisce i requisiti per gli organismi che convalidano e verificano le dichiarazioni sui gas serra. I suoi requisiti riguardano l'imparzialità, la competenza, la comunicazione, i processi di convalida e verifica, i ricorsi, i reclami e il sistema di gestione degli organismi di convalida e verifica. Può essere utilizzato come base per l'accreditamento e altre forme di riconoscimento in relazione all'imparzialità, alla competenza e alla coerenza degli organismi di convalida e verifica.

La norma ISO 14066 specifica i requisiti di competenza per i team di convalida e i team di verifica. Comprende i principi e specifica i requisiti di competenza basati sui compiti che i team di convalida o di verifica devono essere in grado di svolgere.

Mentre la norma ISO/TS 14067 - "Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification

and Communication" (Technical Committee ISO/TC 207, 2018b), si rifà ai precedenti standard UNI EN ISO 14040 "Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento" e ISO 14044 "Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida", incentrati sul *Life Cycle Assessment* e approfondisce un altro aspetto della famiglia ISO 14060: mentre la ISO 14064, come espresso nel paragrafo precedente, fa riferimento alle organizzazioni, la presente ISO 14067 fa riferimento al prodotto infatti, secondo lo standard UNI EN ISO 14067 le emissioni di gas a effetto serra complessive generate da un prodotto vengono quindi calcolate includono la totalità del suo ciclo di vita.

Questo documento si basa su principi, requisiti e linee guida identificati negli standard internazionali esistenti sulla valutazione del ciclo di vita (LCA), ISO 14040 e ISO 14044 per la quantificazione dell'impronta di carbonio dei prodotti associata alle fasi del ciclo di vita di un prodotto nei contesti di:

- fase di approvvigionamento delle materie prime per la creazione del prodotto;
- trattamento delle suddette materie prime;
- conseguente lavorazione delle materie e produzione del prodotto;
- fasi di trasporto del prodotto finito fino al raggiungimento del cliente finale;
- utilizzo da parte del cliente finale;
- smaltimento che avviene a termine del ciclo di vita del prodotto;

che vengono poi rendicontate secondo differenti categorie di impatto.

Nello specifico, l'utilizzo del *Life Cycle Assessment* in accordo con questo documento, con il cambiamento climatico come singola categoria di impatto, può:

1. evitare il trasferimento degli oneri da una fase del ciclo di vita di un prodotto a un'altra o tra i cicli di vita del prodotto;
2. facilitare il monitoraggio delle prestazioni nella riduzione delle emissioni di gas a effetto serra;
3. poter identificare potenziali opportunità di aumento dell'eliminazione dei gas a effetto serra e di riduzioni delle emissioni di gas a effetto serra;

4. aiutare a promuovere un'economia sostenibile a basse emissioni di carbonio;
5. facilitare la valutazione di opzioni alternative di progettazione e approvvigionamento del prodotto, metodi di produzione e fabbricazione, scelte di materie prime, trasporto, riciclaggio e altri processi di fine vita;
6. facilitare lo sviluppo e l'attuazione di strategie e piani di gestione dei gas a effetto serra attraverso i cicli di vita del prodotto, nonché l'individuazione di ulteriori efficienze nella catena di approvvigionamento.

2.2.3 I Criteri Ambientali Minimi del settore edile e le specifiche progettuali a tutela della risorsa idrica

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) sono i requisiti ambientali, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. In Italia, l'efficacia dei CAM è stata assicurata grazie all'art. 18 della L. 221/2015 e, successivamente, all'art. 34 recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del D.Lgs. 50/2016 "Codice degli appalti" (modificato dal D.Lgs. 56/2017), che ne hanno reso obbligatoria l'applicazione da parte di tutte le stazioni appaltanti (MITE, 2021).

La loro applicazione sistematica ed omogenea consente di diffondere le tecnologie ambientali e i prodotti ambientalmente preferibili e produce un effetto leva sul mercato, inducendo gli operatori economici meno virtuosi ad adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione.

Questo obbligo garantisce che la politica nazionale in materia di appalti pubblici verdi sia incisiva non solo nell'obiettivo di ridurre gli impatti ambientali, ma nell'obiettivo di promuovere modelli di produzione e consumo più sostenibili, "circolari" e nel diffondere l'occupazione "verde". Oltre alla valorizzazione della qualità ambientale e al rispetto dei criteri sociali, l'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi risponde anche all'esigenza della Pubblica amministrazione di razionalizzare i propri consumi, riducendone ove possibile la spesa.

I CAM sono, dunque, dei requisiti di sostenibilità che la Pubblica Amministrazione deve introdurre nelle procedure di appalto con l'obiettivo di contribuire al contrasto ai cambiamenti climatici attraverso le seguenti azioni:

- la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂;
- la promozione di misure come l'impiego di energia proveniente da fonti rinnovabili;
- scelte progettuali e tecnologiche ad alta efficienza energetica per la climatizzazione invernale ed estiva.

Dopo l'entrata in vigore del *Green Deal* europeo e del recepimento delle normative europee nel contesto nazionale, anche gli aspetti normativi legati ai CAM edilizia sono stati rivisti nel giugno 2022 (GURI, 2022), ponendo ulteriormente l'accento sul fatto che gli edifici a basso impatto ambientale, di nuova realizzazione, in una ottica di sostituzione edilizia o che siano ristrutturati o recuperati, devono potersi avvalere dell'utilizzo di materiali per l'edilizia sostenibile che attivino filiere virtuose, promotrici della transizione verso un'economia circolare. La transizione ecologica passa anche dall'edilizia che rappresenta uno dei settori a maggior impatto ambientale. In queste situazioni, la qualità e la salubrità degli spazi e dei materiali, riveste particolare importanza per la crescita sana dell'individuo in sintonia con i principi di una edilizia a basso impatto ambientale volta alla mitigazione dei cambiamenti climatici e al miglioramento della qualità della vita.

All'articolo 2.3 del Decreto del giugno 2022 (GURI, 2022) si interviene sulle specifiche progettuali di livello territoriale-urbanistico. Le normative CAM disciplinano l'impatto sulla natura e sul paesaggio e la configurazione delle infrastrutture primarie, anche in relazione all'acqua e, relativamente all'impronta ambientale, si entra nel merito della conservazione degli *habitat* presenti, della corretta gestione dei reflui, delle acque di prima pioggia e di dilavamento, della tutela delle acque sotterranee:

- la conservazione e il ripristino degli ecosistemi fluviali escludendo qualsiasi immissione di acque reflue non depurate;
- la rimozione di rifiuti e il recupero, quando possibile, del materiale di rifiuto;
- la realizzazione di impianti di depurazione delle acque di prima pioggia, se inquinate;
- la corretta gestione delle acque di deflusso da superfici impermeabilizzate sia per la prevenzione delle conseguenze di fenomeni meteorologici intesi, sia per la depurazione dagli eventuali inquinanti;
- la prevenzione di fenomeni di erosione e smottamento del suolo per garantire il corretto flusso delle acque superficiali;

- la prevenzione di sversamenti di liquidi inquinanti sul suolo e nel sottosuolo;
- la captazione e la depurazione di acque inquinate.

A livello di infrastrutture primarie, si prevede in particolare il convogliamento separato e l'accumulo delle acque meteoriche, da riutilizzare per l'irrigazione o per l'alimentazione delle cassette di scarico dei servizi igienici, mentre, riguardo al risparmio idrico, l'impianto idrico deve essere dotato di sistemi di riduzione del flusso, di controllo della portata e della temperatura: rubinetteria temporizzata ed elettronica, cassette a doppio scarico per i bagni.

2.3 Considerazioni sul contesto legislativo nazionale ed internazionale

Ogni giorno si assiste al crescente impatto del cambiamento climatico ed è evidente che combatterlo, con azioni di mitigazione prima ancora che con misure di adattamento, rappresenta un imperativo per il futuro dell'Europa e del mondo intero.

Per questa ragione, a partire dagli ambiziosi obiettivi siglati nel 2015 con l'Accordo di Parigi dai *leader* mondiali che hanno concordato sulla necessità di lottare contro i cambiamenti climatici, le politiche, le linee d'azione e gli strumenti legislativi dell'Unione Europea vanno tutti nella direzione di una economia e di una società che abbia un impatto climatico zero entro il 2050, e che attui metodicamente strategie e meccanismi di monitoraggio a medio e a lungo termine e che già nel 2030 portino a risultati di riduzione delle emissioni nette di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990.

La novità dell'obiettivo della neutralità climatica dell'Unione Europea fissato nel *Green Deal* è che tutti i settori dell'economia sono chiamati a contribuire al raggiungimento dell'obiettivo e che, con questo scopo, sono state esplicitate delle considerazioni climatiche e ambientali a partire da tutti i settori: il settore energetico, in particolare, è tra i protagonisti di tali considerazioni e richiede una trasformazione sostanziale.

E il settore energetico, che pure riguarda a sua volta tutti gli aspetti della vita quotidiana, si ripercuote sull'ambito urbano e sul settore delle costruzioni e dell'edilizia per i quali è necessario un rinnovamento profondo nell'ottica dell'efficientamento energetico e, al tempo stesso, della neutralità climatica.

Eppure, la neutralità climatica non va perseguita e perpetrata solo con una riduzione delle emissioni ma parallelamente anche con un assorbimento maggiore che può essere ottenuto solo mediante il sequestro e la rimozione del carbonio dall'atmosfera.

Con questo fine, gli unici elementi a poter contribuire sono proprio quelli naturali, più in particolare le risorse "verdi" e "blu" ormai sempre più ridotte ed inquinate, sulle quali invece è necessario mirare con azioni di tutela e salvaguardia.

Alcuni stati membri più di altri sono facilitati a muovere grandi passi in queste direzioni e l'Italia rappresenta uno dei paesi con un elevato potenziale nell'attuazione delle misure di riduzione dei gas serra e con una capacità operativa importante in termini di tutela e salvaguardia, e in maniera concreta si sta attivando per l'attuazione di politiche stringenti che recepiscono le direttive europee, sia con l'elargizione di fondi cospicui a servizio della transizione ecologica e della mitigazione delle cause del cambiamento climatico, che con strumenti attuativi, ad oggi mirati al settore dell'edilizia e degli appalti pubblici, ma che si auspica possano essere estesi anche all'intero settore delle costruzioni.

A seguito di queste considerazioni è giusto fare anche una riflessione legata al provvedimento di Regolazione della Qualità Tecnica del Servizio Idrico Integrato che, pur definendo in maniera estremamente chiara il modello basato sugli indicatori di prerequisito, standard specifici e standard generale, con i relativi macro-indicatori, tuttavia rimanda alle norme della famiglia ISO 14060, in particolare alle ISO 14064 e ISO 14067 per il calcolo dell'impronta di carbonio del servizio di depurazione, le quali, a loro volta, pur specificando i principi e i requisiti per la quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di gas ad effetto serra (GHG) e della loro rimozione, contengono prescrizioni di carattere generale, non declinate in modo specifico per il Servizio Idrico Integrato o per il servizio di depurazione, e pertanto necessiterebbero di ulteriori specificazioni al fine di contestualizzarne l'applicazione all'ambito di riferimento.

In questa prospettiva il settore della ricerca è chiamato a proporre delle soluzioni che si allineino con gli obiettivi comunitari e nazionali imposti dal *Green Deal*, e, con questa ottica, l'individuazione di strategie mirate ad una riqualificazione profonda a zero emissioni del patrimonio edilizio esistente e al miglioramento dei processi di circolarità delle risorse naturali, in particolare delle risorse idriche nella loro più ampia accezione legata anche alle risorse energetiche da cui sono strettamente legate, per la riduzione delle emissioni di CO₂ all'interno dei Distretti Urbani, costituiscono gli obiettivi-cardine e gli ambiti tematici cruciali attorno ai quali sviluppare un approfondimento con la presente Tesi di Dottorato.

References

- ARERA (2017), Delibera 917/2017/R/idr - Regolazione della qualità tecnica del servizio integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI) e Allegato A. Available at: <https://www.arera.it/allegati/docs/17/917-17.pdf>
- ARERA (2021), Delibera 917/2017/R/idr - Regolazione della qualità tecnica del servizio integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI) e Allegato A - Versione integrata con le modifiche apportate con le deliberazioni 609/2021/R/IDR e 639/2021/R/IDR. Available at: <https://www.arera.it/allegati/docs/17/917-17rqti.pdf>
- Camera dei Deputati Servizio Studi XVIII Legislatura (2022), Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Roma;
- COM (2007), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio – affrontare il problema della carenza idrica e della siccità nell’Unione Europea – COM(2007) 414 definitivo;
- COM (2012), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee – COM(2012) 673 final, Bruxelles;
- COM (2014a), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni verso un’economia circolare: programma per un’Europa a zero rifiuti – COM(2014) 398 final/2, Bruxelles;
- COM (2014b), Comunicazione della Commissione relativa all’iniziativa dei cittadini europei “Acqua potabile e servizi igienico-sanitari: un diritto umano universale! L’acqua è un bene comune, non una merce!” – COM(2014) 177 final, Bruxelles;
- COM (2018a), proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (rifusione) e allegati da 1 a 6 – COM(2017) 753 final, Bruxelles;
- COM (2018b), Relazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio sull’attuazione della strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici – COM(2018) 738 final, Bruxelles;
- COM (2019a), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Il Green Deal Europeo - COM(2019) 640 final, Bruxelles;
- COM (2019b), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Un'ondata di ristrutturazione per l'Europa: invertire gli edifici, creare posti di lavoro e migliorare la vita - COM(2020) 662 final e Allegato, Bruxelles
- COM (2019c), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo, al Comitato delle Regioni e alla banca europea per gli investimenti – Pacchetto “Unione dell’Energia”, Una strategia quadro per un’Unione dell’energia resiliente, corredata da una politica lungimirante in materia di cambiamenti climatici – COM(2015) 80 final e tabella di marcia allegata, Bruxelles;
- COM (2019d), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Un percorso verso un pianeta più sano per tutti, Piano d’azione dell’UE: “Verso l’inquinamento zero per l’aria, l’acqua e il suolo” – COM(2021) 400 final e Allegati 1 e 2, Bruxelles;
- COM (2020a), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e

Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Il Bilancio dell’UE come motore del Piano per la Ripresa Europea – COM(2020) 442 final, Bruxelles;

COM (2020b), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Il momento dell’Europa: riparare i danni e preparare il futuro per la prossima generazione – COM(2020) 456 final, Bruxelles;

COM (2020c), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Un traguardo climatico 2030 più ambizioso per l’Europa, investire in un futuro a impatto climatico zero nell’interesse dei cittadini – COM(2020) 562 final, Bruxelles;

COM (2020d), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Energia per un’economia climaticamente neutra: strategia dell’UE per l’integrazione del sistema energetico – COM(2020) 299 final, Bruxelles;

COM (2020e), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Un nuovo piano d’azione per l’economia circolare per un’Europa più pulita e competitiva COM(2020) 98 final e Allegato, Bruxelles;

COM (2020f), Piano d’azione per l’economia circolare – per un’Europa più pulita e più competitiva, ISBN 978-92-76-19088-2 -doi:10.2779/798147, Ufficio delle pubblicazioni dell’Unione Europea, Luxemburg;

COM (2020g), Proposal for a Decision of the European Parliament and of the Council on a General Union Environment Action Programme to 2030 – COM(2020) 652 final 2020/0300 (COD), Bruxelles; EC(2020b)

COM (2021a) Proposta di Decisione di esecuzione del Consiglio relativa all’approvazione della valutazione del piano per la ripresa e la resilienza dell’Italia – COM(2021) 344 final, Bruxelles;

COM (2021b), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici – COM(2021) 82 final, Bruxelles;

COM (2021c), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – “Pronti per il 55%”: realizzare l’obiettivo climatico dell’UE per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica – COM(2021) 550 final, Bruxelles;

COM (2021d), Documento di lavoro dei servizi della Commissione – Analisi del piano per la ripresa e la resilienza dell’Italia che accompagna il documento Proposta di Decisione di Esecuzione del Consiglio relativa all’approvazione della valutazione del piano per la ripresa e la resilienza dell’Italia – SWD(2021) 165 final, Bruxelles;

COM (2021e), Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell’edilizia (rifusione) – COM(2021) 802 final 2021/0426 (COD) e Allegati dall’1 al 9, Bruxelles;

COM (2022a), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni sul quadro di monitoraggio per l’8° programma di azione per l’ambiente: misurare i progressi compiuti verso la realizzazione degli obiettivi prioritari del programma per il 2030 e il 2050 – COM(2022) 357 final, Bruxelles;

COM (2022b), Relazione della Commissione al Parlamento europeo e al Consiglio sull’attuazione del dispositivo per la ripresa e la resilienza – COM(2022) 75 final, Bruxelles;

COM (2022c), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, Directive 2006/118/EC on the protection of groundwater against pollution and deterioration and Directive 2008/105/EC on environmental quality standards in the field of water policy and Annexes 1 to 6 – COM(2022) 540 final, Bruxelles;

COM (2022d), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast) and Annexes 1 to 8 – COM(2022) 541 final, Bruxelles;

Consiglio dell’Unione Europea (2021), Decisione di Esecuzione del Consiglio relativa all’approvazione della

valutazione del piano per la ripresa e la resilienza dell’Italia – 10106/21 ECOFIN 645 CADREFIN 340 UEM 180 FIN 521 – Fascicolo istituzionale 2021/0168 (NLE), Bruxelles;

EC (2014), Directorate-General for Environment, The EU Water Framework Directive. Publications Office <https://data.europa.eu/doi/10.2779/75229>, Bruxelles;

EC (2016), Commission staff working document – REFIT evaluation of the Drinking Water Directive 98/83/EC – SWD(2016) 428 final, Bruxelles;

EC (2019), Directorate-General for Energy, Clean energy for all Europeans, Publications Office - <https://data.europa.eu/doi/10.2833/9937>, Bruxelles;

EC (2020a), EU Energy System Integration Strategy (Factsheet), ISBN 978-92-76-39782-3 – doi:10.2775/582723, Bruxelles;

EC (2020c), Renovation Wave (factsheet), ISBN 978-92-76-22975-9 – doi:10.2833/535670, Bruxelles;

EC (2021a), 2050: a healthy planet for all (factsheet), ISBN: 978-92-76-37478-7 – doi:10.2779/919609, Publications Office of the European Union, Luxembourg;

EC (2021b), From ambition to action – acting together for the planet (factsheet), ISBN 978-92-77-42826-8 - doi:10.2775/901157, Bruxelles;

EC (2021c), Making our homes and buildings fit for a greener future (Factsheet), ISBN 978-92-76-39728-1 – doi:10.2775/100333, Bruxelles;

EC (2022a), Commission implementing decision of 19.1.2022 establishing a watch list of substances and compounds of concern for water intended for human consumption as provided for in Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council and Annex – C(2022) 142 final, Bruxelles;

EC (2022b), Commission staff working document – evaluation of the Council Directive 91/271/CEE of 21 May 1991, concerning urban waste-water treatment – SWD(2019) 700 final, Bruxelles;

EC (2022c), Commission staff working document – impact assessment accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast) – SWD(2022) 541 final, Bruxelles;

EC (2022d), Communication to the Commission – Greening the Commission – C(2022) 2230 final, Strasbourg;

GUCE (1991), Direttiva del Consiglio del 21 maggio 1001 concernente il trattamento delle acque reflue urbane (91/271/CEE) – L.135/40 del 30.5.1991;

GUCE (1998a), Direttiva 98/15/CE della Commissione del 27 febbraio 1998 recante modifica alla direttiva 91/271/CEE del Consiglio per quanto riguarda alcuni requisiti dell’allegato I – L. 67/29 del 7.3.1998;

GUCE (1998b), Direttiva 98/83/CE del Consiglio del 3 novembre 1998 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano – L. 330/32 del 5.12.98 e successivamente modificata da Regolamento (CE) n 1882/2003 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 settembre 2003 (L.284 del 31.10.2002), Regolamento (CE) n 596/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 giugno 2009 (L. 188 del 18.7.2009) e Direttiva (UE) 2015/1787 della Commissione del 6 ottobre 2015 (L. 260 del 7.10.2015);

GURI (2022), Spediz. abb. post. 45% - art. 2, comma 20/b Legge 23-12-1996, n. 662 - Filiale di Roma, Anno 163 – numero 183. Ufficio pubblicazione leggi e decreti, Roma. Available at: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2022/08/06/183/sg/pdf>

GUUE (1994), Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici – Dichiarazioni - L 033 del 07.02.1994 pag. 0013 – 0028;

GUUE (2008), Direttiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 Dicembre 2008, relativa agli standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive del Consiglio 82/176/CEE, 85/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE e 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio – L. 348 del 24.12.2008 e successivamente modificata da Direttiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 agosto 2013

– L. 226 del 24.8.2013;
GUUE (2010), Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia – L. 153/13 del 18.6.2010;
GUUE (2011), Regolamento (UE) N. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio – L. 88/5 del 4.4.2011;
GUUE (2014), Decisione di esecuzione della Commissione del 26 giugno 2014 concernente i moduli per la comunicazione delle informazioni relative ai programmi nazionali di applicazione della direttiva 91/271/CEE del Consiglio – L. 197/77 del 4.7.2014;
GUUE (2016), Accordo di Parigi – L. 282/4 del 19.10.2016;
GUUE (2018a), Decisione UE 2018/229 della Commissione del 12 febbraio 2018 che istituisce, a norma della direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, i valori delle classificazioni dei sistemi di monitoraggio degli Stati membri risultanti dall'esercizio di intercalibrazione e che abroga la decisione 2013/480/CE della Commissione – L. 47/1 del 20.2.2018;
GUUE (2018b), Direttiva UE 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica – L. 156/75 del 19.6.2018;
GUUE (2018c), Direttiva UE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2019 che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica – L. 328/210 del 21.12.2018;
GUUE (2020), Direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2020 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (rifusione) – L. 435/1 del 23.12.2020;
GUUE (2021), Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 giugno 2021 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 ("Normativa europea sul Clima" – L. 243/1 del 9.7.2021);
GUUE (2022), Decisione (UE) del Parlamento europeo e del Consiglio del 6 aprile 2022 relativa a un programma di azioni dell'Unione per l'ambiente fino al 2030 – L. 114/22 del 12.4.2022;
IRP - Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. (2020). Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. ISBN 978-92-807-3771-4 – doi: 10.5281/zenodo.3542680. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya;
IPCC (2018a), IPCC Special Report Global Warming of 1.5°C, Switzerland;
MITE (2021), Dir. Gen. Economia Circolare - CAM – Criteri Ambientali Minimi, Roma. Available at: <https://gpp.mite.gov.it/Home/Cam>
MEF e Italia Domani (2021), Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Available at: <https://www.mef.gov.it/focus/Il-Piano-Nazionale-di-Ripresa-e-Resilienza-PNRR/>
MiSE (2021), Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – testo integrale, Roma;
MiSE, MATTM, MIT (2020), Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima, Roma;
OJEU (2020), Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse – L. 177/32 del 5.6.2020;
ONU (2015), Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, NYC, USA;
Technical Committee ISO/TC 207, Environmental management, Subcommittee SC 7, Greenhouse gas management and related activities (2018a), INTERNATIONAL STANDARD ISO 14064-1: Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals, Second edition 2018-12, Switzerland;
Technical Committee ISO/TC 207, Environmental management, Subcommittee SC 7, Greenhouse gas management and related activities (2018b), INTERNATIONAL STANDARD ISO 14067:2018: Greenhouse gases — Carbon

footprint of products — Requirements and guidelines for quantification, Second edition 2018-12, Switzerland; Utilitatis Fondazione in collaborazione con Istat e Cassa Depositi e Prestiti (2022), I dati del servizio idrico integrato in Italia, Blue Book 2022, Pubblimedia srl, Roma. Available at: https://www.utilitatis.org/wp-content/uploads/2022/03/BBexecutive_2022.pdf
WEF (2022a), COP27: Why it matters and 5 key areas for action. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2022/10/cop27-why-it-matters-and-5-key-areas-for-action/>

CAPITOLO 3 *Deep Energy-Zero Emission Renovation, circular e climate-neutral cities*

ABSTRACT (INGLESE)

To close the loop between consumption and production, the circular economy approach within the green city approach seeks to respect the boundaries of the planet by increasing the share of renewable or recyclable resources, reducing the consumption of raw materials and energy and at the same time by cutting harmful emissions and material losses by proposing actions both before, during and after use. These actions are based on three fundamental principles: 1) optimizing the way resources are used: use of resources from renewable energy sources, sustainable and efficient management of natural resources, improved resource reuse process; 2) preserving the value of resources: keep the maximum possible integrity of incoming materials, production processes and final products; 3) improving the entire process of production and consumption of resources, minimizing dispersions and losses in the entire system. With this premise, it is therefore not just a question of reducing emissions and bills, but also of seizing the numerous possibilities and the multiple social, environmental and economic benefits. All far-reaching benefits offered by Deep Energy-Zero Emission Renovation interventions which, with a series of well-targeted interventions, contribute in a fundamental way to the maintenance of human activities, in terms of balance between enhancement of natural capital, well-being and economic development local and regional. The deep renovation does not only include the more strictly energy-related aspects linked to the building, but rather all the elements that make up the impact that a set of buildings has on the environment that surrounds it, on the use and valorisation, protection and sustainable management of natural resources, energy and the virtuous use of materials, with ever-growing attention to the circularity of processes through the containment of losses, waste, emissions and pollution. It is necessary to identify solutions to obtain high performance at the various scales of intervention and, among others, the water industry must also do its part and reduce its greenhouse gas footprint. Water typically requires treatment, before use and upon its return to the environment, as it is treated, pumped and pressurized to reach our homes. All these activities require energy and therefore translate into greenhouse gas emissions, which must be carefully analysed, monitored and studied to ascertain and reduce their environmental impact. Information and analyses that today are still scarcely disseminated, underlining the need for innovative responses in water management if we want to achieve objectives of sustainability and the reduction of harmful emissions of climate-altering agents.

ABSTRACT

Per chiudere il ciclo tra consumo e produzione, l'approccio dell'economia circolare nell'ambito del *green city approach* cerca di rispettare i confini del pianeta aumentando la quota di risorse rinnovabili o riciclabili, riducendo il consumo di materie prime ed energia e allo stesso tempo tagliando le emissioni nocive e le perdite di materiale proponendo delle azioni sia prima che durante e dopo l'uso. Queste azioni si basano su tre principi fondamentali: 1) ottimizzare il modo in cui le risorse vengono utilizzate: uso di risorse da fonti di energia rinnovabili, gestione sostenibile ed efficiente delle risorse naturali, migliore processo di riuso delle risorse; 2) preservare il valore delle risorse: mantenere integro il massimo possibile dai materiali in ingresso, nei processi di produzione e nei prodotti finali; 3) migliorare l'intero processo di produzione e consumo delle risorse, riducendo al minimo le dispersioni e le perdite nell'intero sistema. Non si tratta soltanto di ridurre le emissioni e le bollette, bensì di cogliere le numerose possibilità ed i molteplici benefici sociali, ambientali ed economici. Tutti benefici di vasta portata offerti dagli interventi di *Deep Energy-Zero Emission Renovation* che, con una serie di interventi ben mirati, contribuiscono in maniera fondamentale al mantenimento dell'equilibrio tra valorizzazione del capitale naturale, benessere e sviluppo economico locale e regionale. Nell'ambito della riqualificazione profonda non rientrano soltanto gli aspetti più strettamente energetici legati all'edificio, quanto più tutti gli elementi che costituiscono l'impatto che un insieme di edifici ha sull'ambiente che lo circonda, sull'impiego e la valorizzazione, la tutela e la gestione sostenibile delle risorse naturali, dell'energia e dell'uso virtuoso dei materiali, con una sempre crescente attenzione alla circolarità dei processi mediante il contenimento delle perdite, degli scarti, dei rifiuti, delle emissioni e dell'inquinamento. È necessario individuare soluzioni per ottenere elevate prestazioni alle varie scale di intervento e, tra le altre, anche l'industria dell'acqua deve fare la sua parte e ridurre la sua impronta di gas serra. L'acqua in genere richiede un trattamento, prima dell'uso e al suo ritorno nell'ambiente, in quanto viene trattata, pompata e pressurizzata per raggiungere le nostre case. Tutte queste attività richiedono energia e quindi si traducono in emissioni di gas serra, che vanno attentamente analizzate, monitorate e studiate per appurarne e ridurre l'impatto ambientale. Informazioni ed analisi che ad oggi risultano ancora scarsamente diffuse, sottolineando la necessità di risposte innovative nella gestione dell'acqua se si vogliono raggiungere obiettivi di sostenibilità e di riduzione di emissioni nocive.

3.1 La *Deep Energy-Zero Emission Renovation* degli edifici e dei Distretti Urbani

Alla luce dei dati europei che evidenziano negli edifici i responsabili di circa il 40% dei consumi energetici, del 36% delle emissioni di CO₂ per via dei combustibili fossili impiegati nel settore delle costruzioni, di oltre il 50% del consumo di risorse minerarie e del 38% dei rifiuti prodotti nell'Unione Europea, il tema della riqualificazione energetica profonda a zero emissioni, ovvero la capacità di riqualificare un edificio attraverso la combinazione di efficienza energetica e generazione di energia rinnovabile per consumare solo quanta energia può essere prodotta in un'ottica sempre più mirata ad una circolarità delle risorse naturali e non, è diventato centrale per raggiungere l'obiettivo di un'Unione Europea climaticamente neutra entro il 2050.

L'Europa mira ad aumentare rapidamente l'innovazione e la competitività del settore edile lungo l'intera catena del valore per aumentare il tasso delle ristrutturazioni energetiche che agiscano fino in profondità.

I risultati di uno studio condotto dal *Buildings Performance Institute Europe* e l'iniziativa *Industrial Innovation for Competitiveness (i24c)* (De Groote, M., et al., 2016) mostrano come programmi di successo dal punto di vista della riqualificazione energetica profonda a zero emissioni siano fattibili su larga scala a condizione che siano supportati da misure politiche, da una maggiore collaborazione tra i vari attori nella catena del valore, servizi di consulenza mirati ai clienti e soluzioni tecniche progettate ad hoc per soddisfare le esigenze degli utenti e obiettivi politici ambiziosi. Inoltre la promozione e l'utilizzo di sistemi di valutazione delle prestazioni energetico-ambientali degli edifici e la necessità di andare oltre la valutazione delle prestazioni, le certificazioni e la riqualificazione energetica solo del singolo edificio, ampliando l'attenzione a quelle dell'aggregato edilizio, sono considerate tra le buone pratiche green del settore residenziale per contrastare i cambiamenti climatici e le emissioni di gas serra generate con i consumi di energia nel settore domestico (Ronchi, E., et al., 2020; Mancini, F., et al., 2020).

Pertanto, c'è un bisogno impellente di accrescere competenze e co-

noscenze per realizzare uno scenario vantaggioso sotto il profilo economico (della competitività e dei posti di lavoro), sociale (con il miglioramento delle caratteristiche degli edifici e di conseguenza delle condizioni di benessere degli utenti) ed ambientale (volto ad un aumento delle energie rinnovabili e parallelamente ad una riduzione dei gas serra) mediante progetti di ristrutturazione profonda (Hirvonen, J., et al., 2022) e per farlo è necessario analizzare le definizioni che vengono date e le strategie fino ad ora messe in campo per conseguirle.

L'approccio più diffuso in termini di riqualificazione energetica è, ad oggi, ancora quello "leggero" che si concentra sull'aggiornamento delle apparecchiature di illuminazione, sull'aggiunta di nuovi sistemi di riscaldamento e raffrescamento degli ambienti e sulla revisione dei sistemi impiantistici in generale. Questo tipo di approccio, sebbene apporti comunque un lieve miglioramento, esclude la possibilità di aumentare in misura considerevole il risparmio economico ed energetico che invece deriva da una riqualificazione energetica profonda a zero emissioni.

Queste scelte derivano generalmente, dal costo iniziale elevato e del rischio percepito più elevato per l'esecuzione dell'intervento ma questo genere di *retrofit* non è detto che debba essere fatto tutto insieme in tempi brevi, può avvenire anche in maniera graduale e questo processo "*step by step*" è utile per ammortizzare i costi e dividerli nel corso degli anni, senza la necessità di un investimento economico a monte troppo oneroso. Gli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovations* richiedono inoltre un approccio di analisi molto accurata dell'intero edificio parallelamente ad un processo di progettazione integrata: in questo metodo di analisi, l'edificio è considerato come un unico sistema integrato piuttosto che come un insieme di sistemi autonomi, come l'involucro edilizio, l'impianto di climatizzazione invernale ed estiva e di ventilazione meccanica (HVAC), il sistema di energia rinnovabile e di questo sistema integrato vengono analizzati i consumi energetici, i costi, i vantaggi e gli svantaggi; questa ottica mirata allo studio dell'intero edificio facilita l'identificazione di sinergie e relazioni tra i vari sistemi componenti (Zhivov, A., et al., 2020).

Inoltre, le stime legate al potenziale degli interventi di riqualificazione energetica profonda a zero emissioni mostrano, al di là dei potenziali di capitale di investimento e di conseguente risparmio economico, dati che vanno valutati singolarmente caso per caso,

mediamente il 70% di potenziale di risparmio energetico e fino al 90% di potenziale di riduzione di emissioni di CO₂ (Zhivov, A., et al., 2021).

La direttiva sull'efficienza energetica (Direttiva 2012/27/UE) e la direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (Direttiva 2018/844/UE), già precedentemente citate nel Capitolo 2, definiscono la *deep renovation* come una ristrutturazione profonda ed economicamente vantaggiosa di un edificio che riduce considerevolmente il consumo finale di energia rispetto alla condizione precedente all'intervento, in media si parla di una riduzione pari ad almeno il 60% di energia. In questo modo l'intervento diviene economicamente vantaggioso data la riduzione dei costi energetici durante l'intero ciclo di vita dell'edificio e quindi un rapido ritorno dell'investimento necessario a sostenere l'intervento (GUUE, 2018b; GUUE, 2018c).

Da un punto di vista prettamente legislativo, dunque, i lavori di ristrutturazione profonda ottengono in genere un risparmio energetico superiore al 60% rispetto ai livelli precedenti al rinnovo e consistono nell'intervento di *deep (o major) renovation* (European Parliament, 2012) che, per definizione:

- impatta su più del 25% dell'involucro architettonico esistente;
- riguarda la totale sostituzione dell'impianto di climatizzazione a servizio dell'edificio;
- è in grado di ridurre almeno dell'80% i consumi energetici totali del corpo di fabbrica, anche e soprattutto attraverso l'integrazione di tecnologie per la produzione da Fonti Energetiche Rinnovabili (FER);
- presenta un costo superiore al 25% del valore stesso dell'edificio (Romano, R., et al., 2022).

Dal punto di vista internazionale, il *Global Buildings Performance Network* definisce la ristrutturazione profonda come "*Deep Renovation o Deep Energy Renovation* è un termine usato per una ristrutturazione che cattura tutto il potenziale di efficienza energetica economica delle opere di miglioramento, con un focus principale sull'involucro edilizio, degli edifici esistenti che porta a una prestazione ad alta energia.

Le riduzioni dei consumi energetici degli edifici ristrutturati sono del 75% o più rispetto allo stato dell'edificio/i esistente/i prima

della ristrutturazione. Il consumo di energia primaria su una ristrutturazione, che comprende, tra l'altro, l'energia utilizzata per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, l'acqua calda sanitaria e l'illuminazione dopo la ristrutturazione profonda di un edificio esistente è inferiore a 60 kWh/m²/anno" (GBPN, 2013).

Sono per altro in corso già diverse sperimentazioni, sia nel panorama internazionale che nazionale, che sotto questo aspetto rendono noti dati interessanti, non soltanto legati ai consumi energetici e alla riduzione dei gas serra, ma anche in merito alla metodologia di calcolo applicata per le analisi e i risultati ottenuti evidenziati in base ai vari benefici: utilizzando tale metodologia espressa nelle sperimentazioni portate avanti dal gruppo C40 *Cities Climate Leadership Group*, una città può analizzare in modo efficiente ed efficace i molteplici vantaggi del *retrofit* profondo a zero emissioni di un edificio come elemento integrato all'interno del contesto urbano. Fornire alle città le prove per costituire un caso convincente per le ristrutturazioni edilizie profonde per sbloccare e accelerare la revisione su larga scala del patrimonio edilizio urbano necessaria per raggiungere gli obiettivi dell'accordo di Parigi e creare le città sane e vivibili del futuro (ARUP 2020a; C40 Cities, 2020).

Già alla luce del quadro delle definizioni sopra esposte di ristrutturazione profonda e delle sperimentazioni in corso, emerge la difficoltà di trovare una definizione comune che definisca dei confini nitidi entro i quali muoversi, tuttavia, tutte le definizioni sottolineano caratteristiche comuni che identificano la ristrutturazione profonda come un processo che consente al pieno potenziale di un edificio di ridurre il suo fabbisogno energetico teorico mediante un'attenta pianificazione della ristrutturazione (Fabbri, M., et al., 2016).

A partire da queste caratteristiche comuni e parallelamente alla definizione presente nei riferimenti normativi e a livello internazionale, all'interno del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale PRIN 2017 «TECH-START - *Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy - Convergent innovation in the open space/building system for Climate Mitigation*», i cui contenuti sono stati già esposti all'interno del Capitolo 1, è stata formulata la definizione di una delle Parole Chiave della Ricerca, appunto la *Deep Energy-Zero Emission Renovation* che viene così delineata dall'Unità di Ricerca Roma-Sapienza: «Il processo di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, che implica azioni di *Mass Energy and Bioclimatic Retrofit* dello stock abitativo a livello di neighbourhood o di distret-

to urbano, consente la drastica riduzione del consumo di energia e delle emissioni climalteranti attraverso la ridefinizione degli assetti costruiti, anche in termini di uso e occupazione degli edifici, delle caratteristiche e prestazioni degli involucri e degli impianti, con un apporto indispensabile dei sistemi passivi».

Già da questa definizione si evince la dimensione di più ampio respiro volta ad una multi-scalarità e una interdisciplinarietà del processo, che sposta l'attenzione rivolta alla *Deep Renovation* dal singolo intervento, e che si concentra sulla riduzione dei consumi energetici e sull'integrazione degli interventi sull'involucro edilizio e sul sistema impiantistico del singolo edificio esistente, ma guarda anche ad una dimensione di aggregato edilizio, di Quartiere e di Distretto Urbano per arrivare alla definizione di strategie di resilienza, riferite al sistema edilizio e allo spazio urbano, finalizzate a facilitare processi previsionali e/o di ripristino in coerenza con la nuova ottica imprescindibile dell'adattamento e della mitigazione delle cause del cambiamento climatico (Tucci, F., et al., 2020).

La costruzione di un quadro di conoscenza delle vulnerabilità del sistema e dei principali fattori di criticità dal punto di vista ambientale, sociale ed economico alla scala locale risulta essenziale per la conoscenza del contesto geografico dei siti sui quali si va ad intervenire: i quadri di conoscenza (riassuntivi delle condizioni di densità abitativa e delle fasce di popolazione più esposta, dei dati microclimatici, della qualità termofisiche dei materiali di superficie, della tipologia degli assetti volumetrici urbani, della pluviometria, del grado di permeabilità del terreno, della qualità dell'aria e dell'acqua, della produzione di rifiuti, del livello acustico di fondo, etc.) sono propedeutici ad azioni di monitoraggio e ottimizzazione della lettura ed elaborazione dei dati e, in relazione alle caratteristiche del sito a rischio reale o potenziale di fenomeni atmosferici estremi, vanno individuate e programmate strategie integrate in grado di ridurre la vulnerabilità ai fenomeni e di mitigarne la severità degli effetti (Tucci, F., 2018). Le principali strategie, dunque, consistono nel *retrofit* tecnologico degli edifici con particolare riguardo alla revisione delle tecniche di integrazione dei sistemi impiantistici e della stratificazione materica per rispondere ai carichi pluviometrici, termici e ventosi, nell'ampliamento su scala urbana della gestione dell'energia secondo scenari più resilienti e flessibili, nella de-impermeabilizzazione del suolo, nella realizzazione di infrastrutture blu e verdi, nella revisione delle destinazioni d'uso delle aree urba-

ne, anche attraverso l'uso di strumenti che combinino le prestazioni energetiche degli edifici, il minor consumo combustibili fossili impiegati nei settori delle costruzioni, con altri dati geo-referenziati e informazioni generali per consentire una valutazione delle opportunità di ristrutturazione profonda (Hernandez, P., et al., 2010; Androutsopoulos, A., et al., 2020).

L'auspicata *Deep Energy Renovation*, le cui premesse sostanziali diventano l'abbattimento delle emissioni nocive con la riduzione dei consumi energetici e la graduale transizione verso fonti rinnovabili, passa necessariamente attraverso una progettazione in chiave sostenibile dell'ambiente costruito, degli spazi aperti, della mobilità e delle reti energetiche secondo un approccio integrato nel concepire innovative soluzioni tipologiche e tecnologiche a bassissimo consumo energetico e alti livelli di prestazione (Tucci, F., 2018).

Le azioni chiave, in cui gli interventi di mitigazione possono essere declinati in rapporto alla trasformazione urbana alle diverse scale, sono schematizzabili nel:

- facilitare azioni di *Deep Energy Renovation* per la conversione degli edifici verso l'autonomia energetica con soluzioni *Nearly/Net Zero Energy Building* o *Positive Energy Building*, ancora meglio se in aggregazioni d'area (*Nearly Zero Energy Neighborhood*);
- riqualificare lo spazio urbanizzato e integrare le aree di margine attraverso la creazione o il potenziamento di reti ecologiche e corridoi verdi;
- riorganizzare le infrastrutture, i sistemi a rete e i servizi urbani, favorendo soluzioni integrate smart e sostenibili;
- incrementare le azioni di riqualificazione edilizia e ambientale di aree urbane degradate là dove lo stato di conservazione degli edifici consenta una rigenerazione adeguata, in grado di favorire il consumo zero di suolo non urbanizzato, la riduzione dei consumi energetici e dell'inquinamento ambientale, lo sviluppo di un'economia verde e circolare del costruito, incentrata su riuso, riciclo, rigenerazione e re-inserimento di beni in nuovi cicli di vita utile (Losasso, M., et al., 2017).

Alla luce delle definizioni sopra espresse e dalle ulteriori riflessioni a corredo, si evince come gli interventi, dunque, che permettono di facilitare le operazioni di *Deep Energy Renovation*, siano quelli

che si sviluppano lungo diversi assi: prioritariamente sulla necessità di orientare gli edifici verso un miglioramento sostanziale nella prestazione energetica senza però, allo stesso tempo, tralasciare la riduzione dei consumi di risorse e lo sviluppo di un uso circolare delle stesse, riducendo i rifiuti e gli impatti prodotti nell'intero ciclo di vita, con soluzioni "*nearly/net Zero Energy Building*" mirate non solo al singolo edificio ma alla dimensione dell'intero Distretto Urbano.

3.2 La Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e la Circolarità delle Risorse nel Distretto Urbano nell'ottica della *circular e climate-neutral city*

Mentre il cambiamento climatico è un fenomeno globale e la sua mitigazione attraverso la riduzione delle emissioni di gas serra richiede uno sforzo globale, gli impatti crescenti sono sempre più localizzati e devono essere affrontati inequivocabilmente con misure mirate a ciascuno dei rispettivi contesti (UNEP, 2022b). La crisi climatica, infatti, si sta aggravando sempre più rapidamente e rapidamente si è chiamati a reagire (UNEP, 2022a): in un Continente altamente urbanizzato come l'Europa, le città svolgono un ruolo cruciale nella risposta ai cambiamenti climatici, ciò non è dovuto solo alla concentrazione della popolazione e delle risorse economiche nelle aree urbane (EEA, 2020b), ma anche al fatto che gli edifici sono una delle maggiori fonti di emissioni di gas a effetto serra e costituiscono oltre la metà delle emissioni urbane e, di conseguenza, sono una fonte molto significativa di inquinamento atmosferico (IPCC, 2022d). Entro il 2060 si prevede che il mondo aggiungerà al patrimonio edilizio attualmente esistente altri 230 miliardi di m², ovvero raddoppierà la superficie edificata rispetto alla situazione attuale (UNEP, 2021). Allo stesso tempo il patrimonio costruito, ormai in gran parte obsoleto, resterà operativo perciò la riqualificazione dell'esistente, con un'ottica sempre più *deep*, è un tema di assoluta centralità nella prospettiva della transizione ecologica ed energetica, oltre ad essere una forza trainante per l'economia, l'occupazione, l'innovazione tecnologica, la trasformazione delle città, e la risposta ai temi sociali del disagio abitativo e della povertà ed al miglioramento dello stato di salute della popolazione. Rappresenta, inoltre, una tra le principali opportunità per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione necessari a contenere l'innalzamento della temperatura globale entro la soglia di +1,5°C (IPCC, 2018a; IPCC, 2018b). Nella pratica, il patrimonio esistente dovrebbe in media raddoppiare la propria efficienza energetica entro il 2030, partendo dai livelli del 2010 in quanto quasi il 50% del consumo dell'energia finale dell'Unione è usato per riscaldamento e rinfrescamento, di cui l'80% è attribuibile agli edifici (WEF, et al., 2021).

A livello globale, il Rapporto "*Net Zero Carbon Cities An Integrated*

Approach" fornisce un quadro di insieme circa le opportunità di mitigazione delle cause del cambiamento climatico nelle città e raccomanda l'adozione di un approccio energetico integrato, definito come "efficienza sistemica", ovvero come soluzione alle attuali crisi ambientali, economiche, sanitarie e sociali (WEF, 2021b).

Con queste premesse, l'imperativo deve essere quello di sostenere, agevolare, semplificare le necessarie azioni per raggiungere un patrimonio immobiliare (pubblico e privato) efficiente e totalmente decarbonizzato.

È evidente, dunque, come il tema della Decarbonizzazione sia uno dei più rilevanti nel settore edilizio in generale, oltre che nella trattazione della presente Tesi, in conseguenza alla situazione climatica contemporanea e alle politiche ambientali messe in campo in ambito internazionale, prima ancora che nazionale.

Per attuare l'Accordo di Parigi per il clima e contribuire a evitare una drammatica precipitazione del riscaldamento globale, l'Unione Europea ha deliberato di impegnarsi per giungere a emissioni nette di gas serra pari a zero entro il 2050 e ha aumentato il suo target di riduzione dei gas serra al 2030 al 55%, rispetto a quelle del 1990. Per raggiungere tali impegnativi risultati è necessario avviare una serie di politiche e misure, fra le quali anche l'economia circolare ricopre certamente un ruolo rilevante. "La circolarità dell'economia è un prerequisito per la neutralità climatica" ha scritto la Commissione nel nuovo Piano per l'Economia Circolare del 2020 (COM, 2020f), sottolineando che sarebbe molto difficile, se non impossibile, decarbonizzare un'economia lineare ad alto consumo di risorse e quindi anche di energia. Nella definizione dei nuovi piani nazionali verso la neutralità climatica, in attuazione dell'Accordo di Parigi per il clima, si è ormai fatta strada l'idea che debbano essere incluse anche le misure per recuperare i *gap* di circolarità in grado di generare significative riduzioni delle emissioni di gas serra (Circular Economy Network, et al., 2021).

Una maggiore circolarità e un uso più efficiente dei materiali e delle risorse offrono nuove opportunità per ridurre ulteriormente le emissioni di gas serra. Nuove e moderne metodologie possono aiutare a identificare quali azioni dell'economia circolare in ciascun settore possano dare i contributi più promettenti al raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni e al raggiungimento della neutralità climatica in Europa. Nel settore dell'edilizia, determinate azioni di economia circolare possono portare a riduzioni fino al 61% dei gas a effetto serra legati ai materiali emessi durante i cicli

di vita degli edifici (EEA, 2020a).

Occorre che i Paesi più avanzati, che dispongono di capacità tecnologiche e finanziarie, agiscano in modo adeguato e responsabile dimostrando che la decarbonizzazione è praticabile ed economicamente sostenibile, trascinando così dietro di loro anche quelli più arretrati. Agire prima consente di concorrere a ridurre gli impatti e i costi della crisi climatica che sarebbero più alti nel caso di assenza di interventi.

In questa direzione, molte città sono tra quelle in prima linea per combattere le cause del cambiamento climatico: le città di tutto il mondo che aderiscono al gruppo C40 hanno assunto un impegno ambizioso per garantire che tutti i nuovi edifici siano a zero emissioni di carbonio entro il 2030 e tutti gli edifici entro il 2050 (C40 Cities, 2017a) e dall'anno in cui per la prima volta C40 ha pubblicato il "Net Zero Carbon Declaration" ad oggi (C40 Cities, 2018), le città firmatarie sono chiamate annualmente a descrivere cosa stanno facendo ora per dare seguito all'impegno assunto da parte di sempre più sindaci, che, consapevoli dell'ambiziosa sfida a cui sono chiamati a rispondere, hanno capito l'importanza di agire subito per mettere a punto strategie interamente mirate alla sicurezza delle città, all'inclusività, alla resilienza e alla neutralità climatica entro il 2050 (C40 Cities, 2022).

Alla luce del quadro internazionale, anche in Italia è utile, oltre che necessario, fare il punto sul coinvolgimento delle città nel percorso verso la neutralità climatica e proprio con il fine di promuovere un nuovo protagonismo delle città per il clima e sostenere un rinnovamento del Patto dei Sindaci aggiornato ai target al 2030 e al 2050, è stata presentata dal *Green City Network* "La Carta delle città verso la neutralità climatica" (Ronchi, E., et al., 2021; Green City Network, 2021) che ha già ricevuto le adesioni di oltre 45 città italiane di diverse dimensioni e che mette in luce quanto la sfida della neutralità climatica sia non solo un impegno decisivo per il futuro delle città, ma anche una occasione di riqualificazione ecologica e di miglioramento dello sviluppo locale e del benessere per i cittadini.

Sono cinque i principali campi di azione climatica in ambito urbano per i quali la Carta (Green City Network, 2021) prevede misure puntuali e una vasta gamma di strumenti:

- la promozione di un nuovo protagonismo delle città per la transizione alla neutralità climatica;
- l'aumento dell'impegno per l'efficienza energetica e le fonti rin-

novabili;

- la necessità di puntare su una mobilità urbana più sostenibile con meno auto;
- la promozione di una economia circolare decarbonizzata;
- l'aumento degli assorbimenti di carbonio.

A seguito della pubblicazione della Carta, il *Green City Network* della Fondazione per lo sviluppo sostenibile e il GSE – Gestore dei Servizi Energetici hanno condotto, tra marzo e aprile 2022, un'indagine sull'impegno verso la neutralità climatica rivolta alle città italiane (Ronchi, E., et al., 2022) dalla quale emerge un riscontro molto importante dell'ampia adesione delle città al Patto dei Sindaci, pari a circa l'85% e la redazione del Piano d'Azione per l'energia sostenibile (il 41%) e per l'energia sostenibile e il clima (28%), integrati agli strumenti di programmazione "ordinari". Tuttavia, l'indagine segnala anche la necessità di maggiore informazione e coinvolgimento delle amministrazioni locali, con particolare attenzione a quelle dei piccoli comuni, sulle tematiche della transizione verso la neutralità climatica. Tra l'altro, come si evince dall'analisi degli Indicatori di efficienza e decarbonizzazione nei principali Paesi Europei (ISPRA, 2020) e ancora più chiaramente, su scala nazionale, dai risultati riportati nell'*Italy Climate Report 2021* (I4C, 2021a), l'Italia non è sulla rotta giusta per centrare i nuovi obiettivi europei al 2030 e rispettare l'Accordo di Parigi. In particolare, dopo la progressiva riduzione delle emissioni che ha caratterizzato il decennio 2005-2014, si è assistito ad un forte rallentamento del processo di decarbonizzazione: siamo passati da un taglio medio di circa 18 milioni di tonnellate di CO₂eq per anno ad appena 3 milioni di tonnellate nel periodo 2015-2021. Peraltro nonostante il crollo dei consumi di energia e di emissioni senza precedenti generato dalla pandemia, nel 2021 le emissioni sono tornate a crescere in modo molto rilevante. Negli ultimi anni si è assistito a un arresto della crescita delle fonti rinnovabili (il cui consumo si è addirittura ridotto nell'anno della pandemia) e della riduzione dei consumi energetici. Un dato su tutti: negli ultimi trent'anni le emissioni di gas serra sono state ridotte di circa 100 milioni di tonnellate, nei prossimi 10 andranno invece ridotte di quasi 200 milioni di tonnellate (I4C, 2021c).

Il comparto degli edifici – residenziali, pubblici e commerciali – è il secondo per emissioni (il 28% delle emissioni nazionali) ma il primo per consumi di energia con quasi la metà del totale nazionale. Già nel 1990 gli edifici erano il secondo settore per emissioni di gas

serra in Italia e lo sono ancora oggi, con 116 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente prodotte nel 2019 e negli ultimi trent'anni il settore ha ridotto le emissioni di 8 MtCO₂eq (-6%). Il settore nel complesso ha mantenuto un andamento stabile delle emissioni dal 1990 ad oggi, con l'eccezione del picco avuto fra gli anni 2005 e 2010 in cui hanno superato le 140 MtCO₂eq. La lieve riduzione delle emissioni nel settore degli edifici negli ultimi trent'anni è da imputare, oltre che alla penetrazione delle fonti rinnovabili termiche, soprattutto ad un cambio di mix energetico sul fronte dei combustibili fossili: l'aumento delle emissioni da gas metano (che passano da 38 a 60 MtCO₂eq) è stato più che compensato dalla riduzione delle emissioni da prodotti petroliferi (-17 MtCO₂eq) e dal calo delle emissioni connesse ai consumi elettrici (ridottesi grazie al miglioramento della generazione elettrica). Si sono, inoltre, azzerate le emissioni da combustibili solidi, che nei primi anni '90 erano ancora utilizzati per il riscaldamento domestico.

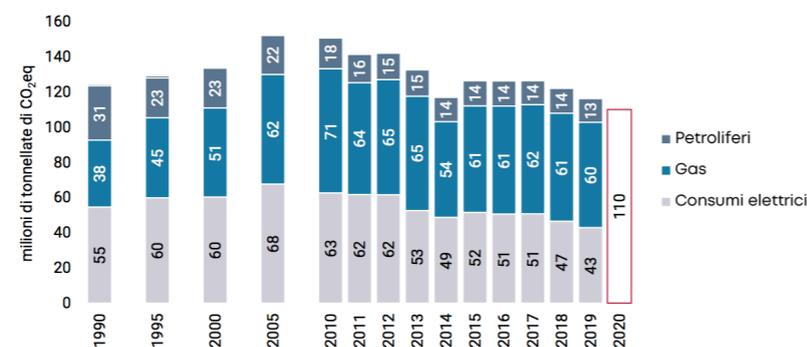
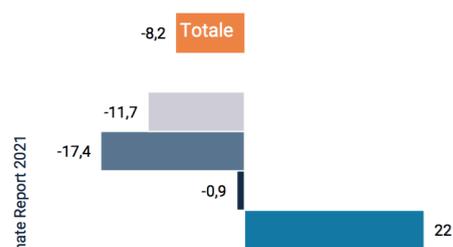
Ma per quanto riguarda le risorse energetiche fossili il loro impiego energetico influisce, non solo sulle emissioni di gas serra, ma anche sul livello di circolarità generale delle risorse degli edifici: per questa ragione, la decarbonizzazione e il raggiungimento della neutralità climatica si rendono necessarie per aumentare il tasso di circolarità dell'economia e il passaggio dalle fonti energetiche fossili a quelle rinnovabili e costituiscono, dunque, un prerequisito importante in direzione della circolarità totale delle risorse (Marra Campanale, R., 2019).

In un mondo che, dunque, risulta sempre più urbanizzato, che attualmente è circolare solo per il 9.1%, e che fino ad ora e negli ultimi 200 anni ha visto solo un aumento nell'uso delle risorse naturali, compresi i combustibili fossili, in un'ottica di economia lineare (Circle Economy, 2022), le città sono essenziali per aprire la strada verso un'economia circolare che promuova un elevato benessere sociale ed economico, salvaguardando al contempo gli ecosistemi (Circle Economy, 2019).

Le città sono anche strettamente collegate alla crescita economica, producendo oltre il 75% del PIL mondiale, contribuendo al 75% delle emissioni di carbonio e consumando il 75% delle risorse globali (Ellen Macarthur Foundation, 2017a). Gli approcci che i centri urbani seguono attualmente per soddisfare i bisogni fondamentali della società si basano ancora troppo spesso su un modello economico lineare, che porta a sprechi eccessivi e allo sfruttamento insostenibile delle risorse naturali primarie. Tale dato era stato denunciato già nel 1972 (Meadows, D.H., et al., 1972), ma nonostante il segnale d'allarme lanciato la società ha continuato a estrarre e consumare le risorse naturali della Terra a ritmi allarmanti, addirittura arrivando a triplicarli nell'ultimo mezzo secolo (Bardi, U., et al., 2022). Tuttavia, è solo applicando sistematicamente strategie di economia circolare che le città possono separare la prosperità umana dal degrado ambientale (Marra Campanale, R., 2019) e mirare ad una frenata nell'uso delle risorse naturali e una riduzione dell'inquinamento che, diversamente, porterebbero a superare la capacità di carico della Terra.

Gli ambiti strategici entro i quali, dunque, è necessario incanalare innovazioni di processo e di progetto per una riqualificazione sostenibile del patrimonio edilizio, consistono prioritariamente nella riduzione dei consumi di risorse naturali e di origine antropica e nello sviluppo di un uso circolare delle stesse, riducendo i rifiuti e gli im-

3.1



Elaborazione I4C su dati Ispra, Mite-Eurostat

Dal 1990 al 2019 ha ridotto del 10% le emissioni di gas serra, ma allo stesso tempo ha aumentato di ben il 44% il consumo energetico.

Alla luce di questi dati, secondo la *Roadmap Italy for Climate* (I4C, 2021b) gli edifici sono il settore che potrà fornire il maggior contributo in termini di riduzione delle emissioni di gas serra nazionali da oggi al 2030, con un taglio del 55% rispetto al 2019 grazie soprattutto alla riqualificazione energetica degli edifici: il 2% degli edifici privati e il 3% degli edifici pubblici ogni anno dovranno essere riqualificati secondo i termini sopra indicati per una "Deep Energy-Zero Emission Renovation".

Didascalie alle immagini.

3.1. Emissioni di gas serra per fonte del settore degli edifici (a sinistra) e variazione fra il 1990 e il 2019 (a destra) (immagine tratta da I4C, 2021a)

patti prodotti nell'intero ciclo di vita (Tucci, F., 2018). Le emissioni di gas serra derivanti dal ciclo dei materiali degli edifici residenziali potrebbero essere ridotte di almeno l'80% nel 2050 attraverso un uso più intensivo e consapevole delle abitazioni, una progettazione tecnologica con meno materiali, un migliore riuso e una gestione più consapevole dei materiali da costruzione e altre strategie strettamente mirate alla circolarità delle risorse (IRP for UNEP, 2020; ARUP, et al., 2020c).

Uno studio commissionato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA, 2020a) mira a definire un metodo innovativo per monitorare e valutare i benefici dell'economia circolare sulla neutralità climatica, in particolare nel settore delle costruzioni, responsabile per due terzi delle emissioni di gas serra connesse alle varie fasi del ciclo di vita delle opere, fra cui la produzione dei materiali impiegati, anche se l'80% delle emissioni è dovuto alla fase di utilizzo degli edifici (consumi energetici per riscaldamento, raffrescamento, illuminazione). Facendo riferimento alle diverse forme in cui si possono esplicare la circolarità delle risorse e il miglioramento nella gestione dei materiali (estensione della vita utile dei prodotti, riduzione della perdita di materiale, ricircolo di materiali e prodotti, preferenza per materiali a ridotta impronta di carbonio) si stima una possibile riduzione di emissioni fino al 61% nel 2050 attraverso il miglioramento del loro utilizzo in fase di progettazione, idonee forme di riuso e riciclo alla fine della vita utile degli edifici, l'ottimizzazione degli spazi e della manutenzione degli edifici e delle loro componenti, nell'ottica della definizione del *Life Cycle Assessment* (LCA) (EEA, 1998), come si evince dalla figura riportata nella pagine seguente (3.2).

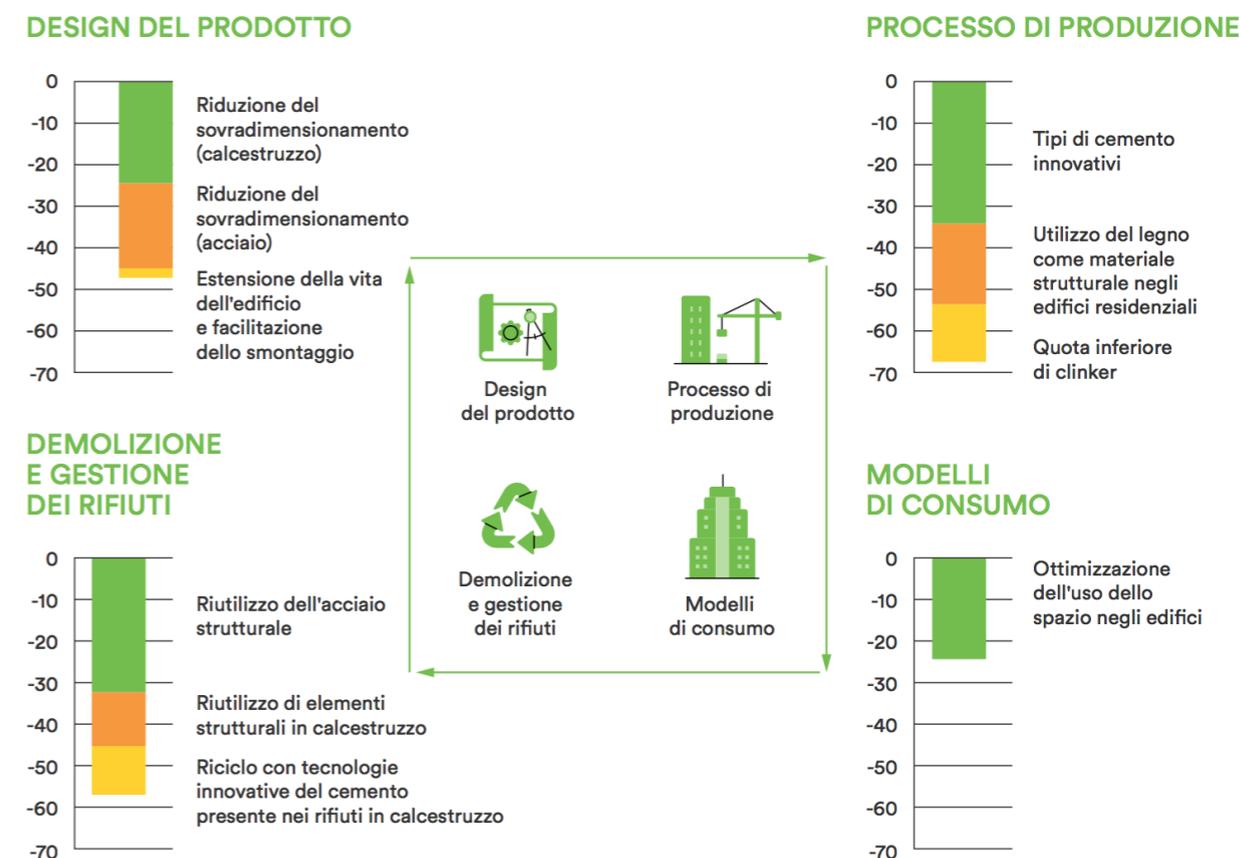
Un approccio sempre più mirato alla riqualificazione tecnologica ambientale del patrimonio edilizio esistente, orienta scelte operative consapevoli, il cui obiettivo è tener conto di tutte le possibili implicazioni socio-culturali e ambientali connesse ad ogni singola fase del processo, minimizzandone gli effetti negativi sulla base del concetto di ciclo di vita e orienta, inoltre, le azioni di progetto verso una simultanea riduzione dell'energia incorporata nei materiali, nelle componenti e nei sistemi (anche energetici), garantendo il funzionamento passivo dell'esistente e limitando il volume dei rifiuti prodotti, per raggiungere il paradigma *Net Zero* (Baiani S., 2016), in questo modo è proprio il patrimonio esistente stesso a diventare una risorsa in direzione della *circular economy* (Ellen Macarthur Foundation, et al., 2015; ARUP, 2016), fondata sulla visione

di un'economia improntata alla rigenerazione e alla circolarità delle risorse e al cui interno si distinguono due differenti tipi di flussi di materiali: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati a essere rivalorizzati limitando le interferenze con la biosfera.

Didascalie alle immagini.
3.2. Potenziale di riduzione di emissioni di gas serra lungo le fasi del ciclo di vita nel settore delle costruzioni (MtCO₂eq) (immagine tratta da EEA, 2020a)

● **Figura 1.22 Potenziale di riduzione di emissioni di gas serra lungo le fasi del ciclo di vita nel settore delle costruzioni (MtCO₂eq)**

3.2



Fonte: EEA, 2020

Un approccio che tenga conto del ciclo di vita delle risorse e dei materiali rappresenta, quindi, un importante supporto alla *green economy* nel settore delle costruzioni, nel rapporto con l'esistente e nelle trasformazioni del territorio che si sviluppano secondo l'approccio della "*circular economy*". Ma mentre la *circular economy*, in senso assolutistico, ha come centro di interesse l'efficienza nell'uso delle risorse e la prevenzione e la gestione consapevole dei rifiuti, la *green economy* colloca questi temi in un quadro più ampio, all'interno del quale considera anche il benessere delle persone e la resilienza dell'intero ecosistema (Campioli, A., et al., 2017).

L'attenzione dell'Unità di Ricerca Roma-Sapienza parte del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale PRIN 2017 «TECH-START - *Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy - Convergent innovation in the open space/building system for Climate Mitigation*», i cui contenuti sono stati già esposti all'interno del Capitolo 1, è stata rivolta anche all'aspetto del ciclo di vita dei materiali e delle risorse naturali, che viene inserito all'interno della prospettiva olistica a tutte le scale di intervento a cui deve si deve mirare per raggiungere l'obiettivo della decarbonizzazione, al fine di ottimizzare le *performance* ambientali degli edifici e supportare il progetto nell'ottica della *circular economy*.

Tale definizione sottolinea come tale approccio non possa più prescindere da una dimensione più olistica, multidisciplinare e multi-scalare, nella quale gli edifici, per rispondere alle esigenze moderne di decarbonizzazione e circolarità delle risorse, sono chiamati ad essere di alta qualità ambientale, a ridotta impronta ecologica, a emissioni zero, a comportamento bioclimatico, a bassissimo fabbisogno di risorse naturali ed esclusivamente alimentati con fonti energetiche rinnovabili.

Le città devono mirare a diventare delle *circular cities* nelle quali l'ottica di transizione circolare, l'approccio multi-scalare, integrato e sistemico consente di definire scenari di intervento improntati a una rinnovata concezione di sostenibilità ambientale, economica e sociale, caratterizzata da circolarità di flussi di risorse materiali e immateriali (Tucci, F., et al., 2021b; Glasgow Chamber of Commerce, et al., 2021). La gestione delle risorse naturali e dei rifiuti va inserita in un modello circolare di economia che minimizzi il prelievo di risorse materiali ed energetiche, punti sulla prevenzione e la riduzione dei rifiuti e ne massimizzi il riuso e il riciclo azzerando gli sprechi e gli smaltimenti (Antonini, E., Tucci, F., 2017).

Ed è proprio la *green economy* che insegna come sia possibile affrontare questa sfida cambiando il modello economico, puntando su un'economia a basse o nulle emissioni di carbonio, su un'economia circolare capace di disaccoppiare sviluppo e consumo di risorse naturali, e su un'economia che generi un diverso benessere, più inclusivo e di migliore qualità (Ronchi, E., 2018).

3.3 Il Rapporto “Verso la neutralità climatica delle Green City: approcci, indirizzi, strategie e azioni”

Il Rapporto “Verso la neutralità climatica delle Green City: approcci, indirizzi, strategie e azioni” si inserisce proprio nel quadro di riferimenti appena esposto e fa da cardine che lega l’ambito della Deep Energy-Zero Emission Renovation a quelli della circolarità delle risorse e della Decarbonizzazione attraverso l’analisi e la condivisione di quanto emerso da due ricerche svolte in continuità, nell’ambito del Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell’Architettura dell’Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, sotto la responsabilità scientifica del prof. Fabrizio Tucci: la Ricerca P.R.I.N. TECH-START - *Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy. Convergent Innovations in the Open Space/Building System for Climate Mitigation*, della quale sono già stati esposti gli intenti nel Capitolo 1 e parte delle definizioni portanti nel Capitolo 3, con specifico riferimento al contributo della U.O. Sapienza Università di Roma e la Ricerca di Ateneo: *Climate-Pandemic-Proof Design: strategie, misure, sistemi tecnologici per la mitigazione climatica e la neutralità carbonica post-Covid*.

In particolare, alla luce di quanto espresso nel quadro dei riferimenti normativi a livello internazionale e nazionale e dello stato dell’arte riguardo alle tematiche della riduzione delle emissioni di CO₂ in ambito urbano, di circolarità delle risorse e, nello specifico, delle risorse idriche, questo report ha offerto ai membri del Gruppo di Ricerca, prima ancora che agli utenti che lo leggono, un’ulteriore opportunità per costruire un quadro volto alla mitigazione del cambiamento climatico e al raggiungimento della *climate neutrality* che si presentano nell’ambito delle città e concretizzabili attraverso l’azione sui diversi sistemi costituenti l’ambiente costruito.

Scopo della costruzione di tale quadro di opportunità è quello di illustrare il ruolo chiave delle Green Cities, articolato e multiplo, rispetto all’obiettivo cardine di Decarbonizzazione.

In tal senso, sono state tessute delle interrelazioni che sistematizzassero da una parte gli indirizzi che emergono dai report internazionali sul cambiamento climatico e dalle *policy* pertinenti, dall’altro gli approcci progettuali e metodologici propri dell’area scientifica

dell’architettura e della progettazione tecnologica ambientale, con lo scopo di andare a sistematizzare gli “assi strategici” su cui occorre operare nell’ambito delle città (Tucci, F., et al., 2020b; Tucci, F., et al., 2021a): *energy transition, bio-climate responsiveness, functional mixité and proximity, resource circularity and self-sufficiency, sustainable mobility, urban greening and “green and grey” CO₂ subtraction and storage*.

Ai fini della presente Trattazione, gli assi tematici portanti che vengono approfonditi nell’ottica di una selezione sempre più stringente dei casi studio analizzati e che hanno, per altro, guidato il percorso di circoscrizione dei Casi Studio, che verrà affrontato nel Capitolo 4, fino alla definizione dei 2 casi studio ritenuti più pertinenti, sono l’asse dell’*energy transition*, quello della *resource circularity and self-sufficiency* e il “*green and grey*” *CO₂ subtraction and storage*.

3.3.1 L’individuazione delle “100 città nella loro trasformazione sistemica verso la neutralità climatica” sulla scia della Missione europea “100 Climate-neutral cities by 2030 – by and for the citizens”

La Missione “100 Climate-neutral cities by 2030 - by and for the citizens” della Commissione Europea è finalizzata a supportare, promuovere e mostrare cento città europee nella loro trasformazione sistemica verso la neutralità climatica, rendendole degli *hub* di innovazione che possano ispirare altre città e prevede un vero e proprio processo di trasformazione nel quale le città stesse, chiamate a manifestare il proprio interesse rivolto alla missione tra novembre 2021 e gennaio 2022, hanno espresso la volontà di partecipare al progetto e successivamente ad eseguire un’autovalutazione del livello di preparazione (Principiante, Esperto o Avanguardia): questa autovalutazione iniziale ha consentito alla Comunità Europea di fare una ulteriore valutazione del “deficit di politica climatica” delle città proponenti, rispondendo al quesito “cosa dobbiamo fare di più rispetto a ciò che stiamo facendo attualmente per diventare climaticamente neutri entro il 2030?” (Tucci, F., et al., 2021a; EC, 2020a; EC, 2020b).

La missione adotta un approccio intersettoriale e orientato alla domanda, creando sinergie tra le iniziative esistenti e basando le proprie attività sulle effettive esigenze delle città, e stabilisce un processo di monitoraggio solido, trasparente e semplice per misurare i progressi verso l’obiettivo fissato dalla missione per respon-

sabilizzare le città partecipanti rispetto all'impegno assunto e dare credibilità ai risultati della missione.

Con questo scopo sono stati proposti tre indicatori:

- Indicatore 1 per le emissioni di gas a effetto serra per la città all'interno del confine geografico (obbligatorio dal momento di adesione alla missione): questo indicatore viene calcolato sulla base delle emissioni degli edifici, dell'industria, dei trasporti, del trattamento dei rifiuti (rifiuti solidi e acque reflue), dell'agricoltura, della silvicoltura e di altre attività;
- Indicatore 2 per le emissioni di gas a effetto serra per la città (obbligatorio dal momento di adesione alla missione): tale indicatore viene calcolato sulla base delle emissioni da emissioni indirette dovute alla produzione/consumo di energia elettrica fornita dalla rete all'interno del perimetro geografico ed emissioni indirette dovute alla produzione e consumo legati agli impianti di climatizzazione invernale ed estiva forniti dalla rete all'interno del confine geografico;
- Indicatore 3 per le emissioni di gas a effetto serra per la città (consigliato, da adottare entro il 2030): tale indicatore dovrà essere calcolato sulla base delle emissioni indirette che provengano da trattamento dei rifiuti prodotti entro il confine geografico, emissioni indirette da trasmissione e distribuzione dell'energia consumata entro il confine geografico, emissioni indirette da trasmissione e distribuzione dell'energia consumata entro il confine geografico, emissioni indirette che derivino dal trasporto di cittadini che vivono all'interno del confine geografico, emissioni fuori confine da consumi effettuati all'interno del confine geografico (cibo, vestiti, mobili, materiali, ecc.) e altre emissioni indirette (EC, 2020a; EC, 2020b).

L'obiettivo della missione europea è, chiaramente, quello di trasformare le città in un'ottica *smart* e *climate-neutral* con il coinvolgimento di autorità locali, cittadini, imprese, investitori, nonché autorità regionali e nazionali, e per valutare la fattibilità di una trasformazione così radicale, viene proposto un indicatore qualitativo: il percorso di decarbonizzazione selezionato verso la neutralità climatica e i driver di trasformazione ad esso associati che via via devono essere sbloccati dalla città che lo intraprende.

L'elevata ambizione della missione e il suo breve termine temporale di svolgimento richiedono che la pianificazione, la ricerca e l'attuazione debbano avvenire grazie al coinvolgimento di molti settori in parallelo, che lavorino in sinergia tra loro secondo un approccio oli-

stico.

Si possono, quindi, dopo aver enunciato gli indicatori, individuare le tre fasi temporali previste dalla missione:

1. Una fase di consegna anticipata che raccolga le informazioni del periodo 2020-2022 e che porrà le basi della missione e delle sue strutture per aiutare le città partecipanti;
2. La fase principale tra il 2022 e il 2030 durante la quale gli organi competenti delle città attueranno la propria strategia verso la trasformazione e la neutralità climatica;
3. Il periodo compreso tra il 2030 e fino al 2050, nel quale si spera che la missione abbia creato lo slancio per un'Europa climaticamente neutra.

Queste fasi temporali previste, unite all'evento di lancio della Missione, che si è svolto *online* a giugno del 2022, lasciano intendere che sia ancora una missione in piena fase di sviluppo e che, al di là di un rapporto intermedio di avanzamento (EC, 2020b) e dell'esplicitazione delle 100 città partecipanti al progetto, non si disponga ancora di dati quantitativi esaustivi a cui fare riferimento. Sarà, dunque, il prossimo decennio a determinare in maniera decisiva se l'umanità ha ancora una possibilità di combattere per limitare il riscaldamento a 1,5°C, o addirittura a 2°C e quali siano le strategie e le soluzioni di intervento più diffuse e valide per il conseguimento di tale obiettivo.

Molte delle 377 città che hanno partecipato alla selezione iniziale e parte di quelle 100 che poi effettivamente sono state selezionate per aderire alla Missione, sono state oggetto di approfondimento in funzione della presenza o meno di strategie che facessero riferimento ai 6 assi tematici del Rapporto e, in funzione degli eventuali dati reperiti, sono confluite nella lista dei 100 casi studio che sono stati analizzati in gran parte per la redazione del Report, e in aggiunta, per la redazione della presente Tesi.

Il settore immobiliare globale è sempre più esplicito nel suo sostegno all'azione per il clima, con aziende leader che pubblicano strategie *net zero* e obiettivi di alto livello, per questa ragione molte delle 100 Città prese in esame ai fini del Report sono state selezionate in primo luogo a partire da quei 121 paesi che, sebbene nella maggior parte dei casi rappresentino meno del 25% delle emissioni globali,

sono comunque fortemente consapevoli che più tardi si intraprenderà l'azione, più terribili diventeranno le condizioni terrestri, e per questo si sono allineati con la *Net-Zero Challenge* lanciata dal *World Economic Forum* a partire dal 2019 ed hanno assunto l'impegno di diventare *carbon-neutral* entro il 2050 (WEF, 2019; WEF, 2020; WEF, 2021c); alcune di queste città hanno, parallelamente, aderito anche alla sfida *Net-Zero Carbon Buildings*, nella quale vengono delineati i passaggi chiave che vanno compiuti per mantenere il proprio impegno a zero emissioni di carbonio (WEF, et al., 2021; ARUP, 2020b) e *Net-Zero Carbon Cities*, nella quale viene evidenziato il passaggio successivo, ovvero l'interconnessione fondamentale necessaria di un sistema integrato, sinergico ed efficiente che preveda la maggior parte dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, il settore dei trasporti e della climatizzazione totalmente elettrificato e la digitalizzazione come chiave per integrare risorse e azioni per garantire il successo della decarbonizzazione (WEF, 2021b); in secondo luogo, altre Città sono state scelte tra quelle che appartengono alla rete globale del gruppo C40 cities con lo scopo comune di intraprendere azioni urgenti per affrontare la crisi climatica e creare un futuro in cui tutti possano prosperare, in linea con gli obiettivi di riduzione delle emissioni climalteranti definiti dall'Accordo di Parigi per il clima (C40 Cities, 2017a; C40 Cities 2018; C40 Cities, 2022), e a cui già si è fatto riferimento nel Capitolo precedente.

3.3.2 La definizione degli "assi strategici" per la Deep Energy-Zero Emission Renovation e la Circolarità delle Risorse nei Distretti Urbani

Il processo di *Deep Energy Renovation*, mirato ad una drastica riduzione dei consumi energetici, richiede di trasformare il modo in cui ragioniamo, progettiamo, costruiamo e gestiamo edifici di ogni tipo, destinazione d'uso e scala, e può concorrere al raggiungimento dell'obiettivo delle *zero emission*, ma per ottenere risultati soddisfacenti deve essere applicato a dimensioni d'azione multiple: alla scala dell'edificio, a partire dagli interventi che interessano l'assetto spaziale dello stesso e il suo comportamento bioclimatico, intervenendo sull'involucro edilizio come elemento di mediazione dinamica tra lo spazio interno e quello esterno; nell'ambito degli spazi aperti ed intermedi tra gli edifici; alla dimensione del Distretto Urbano, a scala urbana e sovra-urbana, che dalla dimensione dell'area metropolitana può arrivare a quella regionale. In questa

ottica multi-scalare, la riqualificazione profonda a zero emissioni, se applicata massivamente, all'edilizia esistente può contribuire in maniera significativa al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica delle Città, se portata avanti con misure ed azioni che, come definito e descritto nel paragrafo 3.1, includano sia soluzioni attive (elettrificazione dei sistemi impiantistici a servizio degli edifici e produzione energetica distribuita esclusivamente da fonti rinnovabili), sia l'apporto, indispensabile, delle soluzioni passive (da introdurre con il ricorso a strategie progettuali bioclimatiche) (Tucci, F., et al., 2021a).

Sebbene tutti i 6 gli assi strategici, definiti secondo i criteri di *Green City e carbon-neutral approach*, concorrano sinergicamente alla realizzazione del processo di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, quelli che più si sposano con gli obiettivi della presente Tesi e che hanno permesso di circoscrivere i casi studio selezionati in maniera più stringente, come precedentemente accennato nella parte introduttiva del presente paragrafo, sono tre: l'asse dell'*energy transition*, quello della *resource circularity and self-sufficiency* e il "*green and grey*" *CO₂ subtraction and storage*, tutti e tre questi assi fanno riferimento all'apparato normativo europeo descritto nel Capitolo 2 al paragrafo 2.1.2 e, di questi tre, gli ultimi due assi in particolare sono stati ulteriormente rivolti nella direzione della Ricerca per la Tesi di dottorato, e sviluppati in base all'analisi dei contributi specifici dati dalla risorsa idrica e dall'efficientamento del ciclo integrato delle acque in ambito urbano, con l'ottica di quantificarne, nei limiti dei dati reperiti, l'effettivo contributo ai fini del raggiungimento dell'obiettivo di riduzione delle emissioni di CO₂.

3.3.2.1 L'asse strategico "Energy Transition"

Se in tempi precedenti l'attenzione del settore delle costruzioni dal punto di vista energetico era prevalentemente incentrata sui consumi, oggi gli sforzi del settore delle costruzioni sono orientati sulla riduzione delle emissioni che derivano dal settore energetico e quindi sul conseguente, necessario e imprescindibile passaggio della fonte di produzione di energia da combustibile fossile a rinnovabile; per questa ragione aziende che scelgono di acquistare, o meglio ancora, di produrre in loco energia da fonti energetiche rinnovabili svolgono un ruolo sempre più importante in questa transizione verso l'energia pulita (Lorenzen, M., et al., 2020); con lo stesso scopo, parallelamente, l'attenzione è rivolta anche all'elettrificazione dei

sistemi impiantistici di climatizzazione e di gestione degli edifici, all'efficientamento energetico degli involucri edilizi e delle sue componenti con il fine di ridurre i fabbisogni energetici in fase d'uso. Questi passaggi chiave sono segnati e testimoniati da numerosi riferimenti normativi attualmente vigenti in materia, tra cui la direttiva sull'efficienza energetica (Direttiva 2012/27/UE) e la direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (Direttiva 2018/844/UE) già precedentemente citate, che concorrono insieme nel definire le azioni necessarie per raggiungere gli ambiziosi obiettivi climatici fissati dapprima al 2030 e successivamente al 2050.

Il passaggio dalle fonti fossili a quelle rinnovabili deve infatti essere affiancato da strategie di riduzione dei consumi e dei fabbisogni energetici, affinché si possano efficacemente ridurre le emissioni climalteranti del settore energetico, come emerge da larga parte della reportistica a livello comunitario e nazionale. La transizione energetica verso un sistema intelligente e diffuso di produzione e distribuzione dell'energia, che si basi prevalentemente sulla generazione locale da fonti rinnovabili, è da intendersi come determinante ai fini del raggiungimento dell'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas climalteranti. In rapporto alla dimensione urbana, la transizione energetica passa necessariamente anche attraverso il processo di *Deep Energy Renovation* del patrimonio costruito esistente, che valorizza le risorse materiche ed energetiche in esso incorporate e, tramite la riqualificazione profonda degli spazi, dell'involucro e degli impianti, lo conduca verso un livello di emissioni zero. Tali strategie di efficientamento energetico del patrimonio edilizio devono essere associate ad un ricorso ad una sempre crescente, quasi totalitaria, produzione energetica da fonti rinnovabili integrate nell'architettura e nella Città (Tucci, F., et al., 2021a).

Nell'analisi dei dati che testimoniano questo asse nei vari Casi studio esaminati sono stati presi in considerazione quelli che hanno delineato strategie e azioni chiaramente orientate al sistema energetico, nelle dimensioni legate sia al settore edilizio di nuova costruzione che di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente.

3.3.2.2 L'asse strategico "Resources circularity and self-sufficiency"

Come già anticipato nel paragrafo precedente, spostare l'attenzione del settore delle costruzioni da un'economia lineare ad una circolare sotto il profilo delle risorse è l'unico modo per ridurre le emissio-

ni di carbonio e concorrere per l'obiettivo della Decarbonizzazione. In relazione alle previsioni di rapida crescita delle aree urbane, che condurranno al raddoppiamento dello *stock* edilizio globale nel 2060, gli impatti in termini di emissioni di carbonio delle nuove costruzioni attesi entro il 2060, se si assume una media di 450 kg CO₂eq/m², consisteranno in oltre 100 giga tonnellate di carbonio, un quantitativo pari a oltre tre volte le emissioni di CO₂ totali dovute globalmente alla combustione di carburante fossile (Bionova, et al., 2018). Di contro, il passaggio ad una economia più circolare può ridurre drasticamente le emissioni fino a 296 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno nell'Unione Europea entro il 2050, su 530 Mt in totale – e circa 3,6 miliardi di tonnellate all'anno a livello globale (Material Economics, 2020). Fare un uso migliore, più consapevole e circolare dei materiali già esistenti e delle risorse naturali può quindi portare l'industria dell'Unione Europea a metà strada verso l'azzeramento delle emissioni (Tucci, F., et al., 2021a).

Ma poiché la principale sfida odierna del cambiamento climatico è strettamente interconnessa a quella della perdita di biodiversità, la circolarità delle risorse naturali e l'autosufficienza dei contesti urbani, è altrettanto importante rispetto alla circolarità delle risorse di origine antropica ed entrambi i temi devono essere affrontati in sinergia, sfruttando soluzioni basate sulla natura a livello locale, regionale e globale. Anche le risorse naturali, infatti, rientrano tra quelle che concorrono ad una riduzione dei consumi e delle emissioni grazie ad un processo di gestione più circolare: si stima, appunto, che entro la metà di questo secolo l'economia circolare abbia il potenziale per ridurre del 53% il consumo di acqua da risorse primarie e che l'aumento dell'efficienza nell'uso dell'acqua e la riduzione del consumo idrico non necessario e delle perdite idriche si possano tradurre in un minor consumo di energia e, di conseguenza, in minori emissioni di gas a effetto serra.

Le Città, di cui fanno parte i Distretti Urbani che confluiscono in questo asse strategico, sono quelle che hanno capito l'importanza di una gestione sostenibile e di un uso consapevole e interamente circolare delle risorse naturali, della reintegrazione della "biodiversità nelle città" essenziale per la sostenibilità, la vivibilità e la resilienza ecologica nella vita urbana (WEF, et al., 2022) e che hanno fatto di questi obiettivi parte delle loro priorità, orientando le loro azioni, strategie e impegni economici verso la realizzazione di *nature based solutions* e di *green blue infrastructures* (EC, 2013; Ramboll's Livea-

ble Cities Lab, 2020; Ramboll Environ, 2020) in ambito urbano, non soltanto mirate agli aspetti più strettamente legati al ciclo integrato delle acque ed al suo efficientamento (UN-WWAP, et al., 2018; Seattle Public Utilities, et al., 2020) ma anche a tutti gli altri benefici di carattere ambientale, sociale ed economico.

3.3.2.3 L'asse strategico "CO₂ subtraction and storage"

L'asse strategico "CO₂ subtraction and storage" fa riferimento a tutte quelle strategie e azioni volte al sequestro, allo stoccaggio e, talvolta, al riuso, del carbonio. Tra le risorse naturali sono indubbiamente le aree vegetate in ambito urbano ad avere il maggior potenziale di *carbon sequestration*, che varia a seconda delle specie vegetali, alle loro caratteristiche morfologiche e alla loro distribuzione spaziale. I sistemi verdi prevedono un approccio multi-scalare, insito nelle loro caratteristiche: possono essere sfruttati per rimuovere la CO₂ dall'atmosfera, sia attraverso la permeabilizzazione di vaste aree di suolo all'interno del Distretto Urbano o del Quartiere e al contempo possono essere usati come componenti degli involucri edilizi. Alla riduzione delle emissioni di CO₂ e ad altri benefici trasversali di carattere ambientale, si uniscono benefici anche di carattere economico e sociale (Centre for Neighbourhood Technology, 2010).

Le strategie *green* basate sulla realizzazione di *nature based solutions* e di *green-blue infrastructures* (EC, 2013), con l'obiettivo di riforestare (COM, 2021c) e di sottrarre CO₂ in ambito urbano (Strohbach, M.W., et al., 2012; Quaranta, E., et al., 2021), possono essere integrate con l'implementazione delle strategie complementari *grey*, che aiutino ad aumentare la capacità di sottrazione e stoccaggio del carbonio dall'atmosfera.

Queste ultime, sebbene non vengano approfondite all'interno della presente Tesi, fanno riferimento a tecnologie per la cattura e il sequestro della CO₂ (*Carbon capture and storage* - CCS) e per la cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio del carbonio (*Carbon capture, utilisation and storage* - CCUS), che prelevano carbonio da grandi fonti puntiformi (come gli impianti di produzione di energia o le industrie che utilizzano combustibili fossili o biomassa come combustibile) oppure la sequestrano direttamente dall'atmosfera, per poi stoccarla/usarla in loco oppure comprimerla e trasportarla altrove per impiegarla in varie applicazioni oppure stoccarla in formazioni geologiche profonde per uno stoccaggio permanente (Tucci, F., et al., 2021a).

3.4 Il ruolo della Circolarità della Risorsa Idrica per il raggiungimento dell'obiettivo di Decarbonizzazione del Distretto Urbano

Parallelamente alla definizione degli aspetti legati alla riqualificazione delle città e del patrimonio edilizio esistente nell'ottica *circular e climate-neutral*, è necessario approfondire gli aspetti che, allo stato attuale, determinano l'importanza del miglioramento del processo di circolarità della risorsa idrica, ai fini dell'obiettivo prioritario di Decarbonizzazione e del tema centrale di mitigazione delle cause del cambiamento climatico in ambito urbano.

Come ha sottolineato l'importante studio del "*Millennium Ecosystems Assessment*" nel 2005, la prima valutazione approfondita, realizzata con il patrocinio delle Nazioni Unite, sullo stato degli ecosistemi del Pianeta (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), prima del ventesimo secolo la domanda globale di acqua dolce era veramente modesta se comparata ai flussi naturali dei cicli idrologici. Con la crescita della popolazione, dell'industrializzazione e dell'espansione dell'irrigazione nell'agricoltura, la domanda per tutti i beni e servizi legati all'acqua è incrementata in maniera drammatica, mettendo a rischio gli ecosistemi che sostengono il ciclo dell'acqua, così come gli stessi esseri umani che dipendono da esso. Mentre la domanda continua a crescere, le capacità di approvvigionamento di acqua pulita stanno diminuendo a causa del crescente inquinamento degli ecosistemi di acqua dolce e delle falde acquifere e dell'incremento stesso dell'utilizzo dell'acqua e della riduzione delle risorse acquifere di origine fossile (WWF Italia, 2014).

L'acqua occupa anche un posto di rilievo negli SDG e svolge un ruolo centrale in varie transizioni di sistemi necessarie per uno sviluppo resiliente ai cambiamenti climatici. La maggior parte degli SDG non può essere raggiunta senza l'accesso ad acqua adeguata e sicura: l'acqua è fondamentale per quasi tutti gli SDG (3.3). L'acqua è esplicitamente citata nell'SDG6 (acqua pulita e servizi igienico-sanitari) e nell'SDG11 (comunità e città sostenibili), ma sono diversi gli obiettivi che sono silenziosamente collegati: l'SDG1 (nessuna povertà) è statisticamente collegato all'SDG6 (acqua pulita e servizi igienico-sanitari), poiché la riduzione della povertà può contribuire ad aumentare la capacità di adattamento in linea con gli obiettivi di

adattamento dell'Accordo di Parigi, e l'SDG2 (fame zero) non può essere raggiunto senza l'accesso ad acqua adeguata per l'agricoltura; inoltre il raggiungimento dell'SDG3 (salute e benessere) si basa sull'accesso a infrastrutture e risorse di base come acqua e servizi igienico-sanitari, mentre l'SDG7 (energia accessibile e pulita) avrà bisogno di acqua per la produzione di energia idroelettrica in un clima che cambia e che ha bisogno di soluzioni strategiche di adattamento; infine il raggiungimento dell'SDG11 (città e comunità sostenibili) richiederà necessariamente la riduzione degli impatti dei disastri legati all'acqua (IPCC, 2022c; Ligtvoet W., et al., 2018).

È evidente quanto l'acqua ricopra un ruolo vitale in tutte le funzioni sociali: in primis la missione di promuovere un mondo sano, sostenibile e prospero per tutti i cittadini. Attualmente, si stima che circa la metà dei circa 8 miliardi di persone del mondo sperimentino una grave scarsità d'acqua per almeno una parte dell'anno a causa sia di fattori climatici che antropici. Non sorprende, dunque, che un'ampia quota di interventi di adattamento (circa il 60%) sia forgiata in risposta a rischi legati all'acqua (IPCC, 2022c).

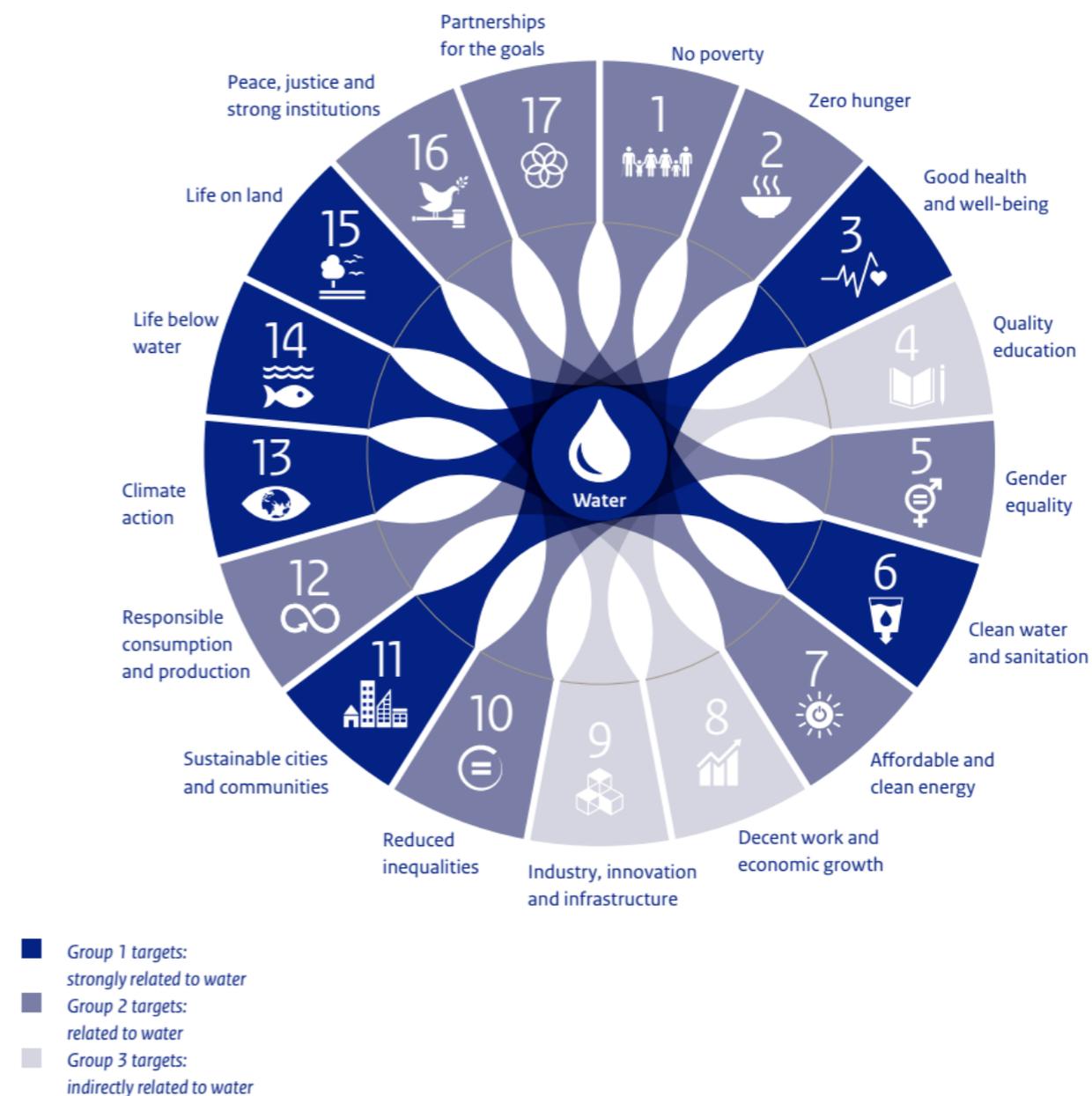
Il cambiamento climatico sta influenzando in maniera consistente la disponibilità, la qualità e la quantità di acqua per i bisogni umani di prima necessità, minacciando l'effettivo godimento dei diritti umani all'acqua e ai servizi igienico-sanitari per potenzialmente miliardi di persone (UN-Water, 2020). I cambiamenti idrologici indotti dai cambiamenti climatici aggiungono sfide alla gestione sostenibile delle risorse idriche, che sono già sotto forte pressione in molte regioni del mondo e genera ulteriori rischi per le infrastrutture legate all'acqua, richiedendo una sempre maggiore necessità di misure di adattamento (IPCC, 2022c). I fenomeni estremi legati all'acqua esacerbati dai cambiamenti climatici aumentano costantemente i rischi per le infrastrutture idriche, igienico-sanitarie, come i sistemi sanitari danneggiati o l'allagamento delle stazioni di pompaggio delle fognature (IPCC, 2022d).

Le infrastrutture idriche e delle acque reflue in Europa stanno invecchiando e richiedono investimenti importanti per prevenire guasti di sistema ancora più costosi e potenzialmente pericolosi, nonché per garantire la loro resilienza di fronte a condizioni meteorologiche estreme (WE, 2020a). Le principali politiche e strategie dell'Unione Europea in materia di clima ed energia, infatti, promuovono l'integrazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici con la salvaguardia e la tutela delle risorse naturali in un'ottica sempre

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
3.3. Obiettivi di Sviluppo Sostenibile
legati all'acqua (immagine tratta da
Ligtvoet W., et al. 2018)

**Sustainable Development
Goals related to water**

3.3



più circolare: il Parlamento europeo ha recentemente approvato la rifusione della direttiva sull'acqua potabile (DWD) (GUCE, 1998b) che delinea una serie di possibili approcci per la sua attuazione negli Stati membri dell'Unione Europea e, più in generale, il ruolo svolto dai regolatori e dai gestori dei servizi idrici nel garantire l'effettiva adozione della legislazione europea nel settore idrico (WAREG, 2019) e la necessità di porre l'attenzione delle agende locali sul sistema idrico integrato per rimanere al passo con i cambiamenti globali (WWC, 2018).

La Commissione Europea ha inoltre avviato un processo di valutazione per rivedere la legislazione vigente in materia di acque reflue urbane (EC, 2022b), secondo il nuovo paradigma dell'economia circolare che sta riscuotendo grande attenzione: una gestione migliore e olistica degli impianti di trattamento delle acque reflue deve riuscire a sfruttare al meglio le risorse (ad esempio i nutrienti) e l'energia incorporata nei corsi d'acqua (WE, 2021).

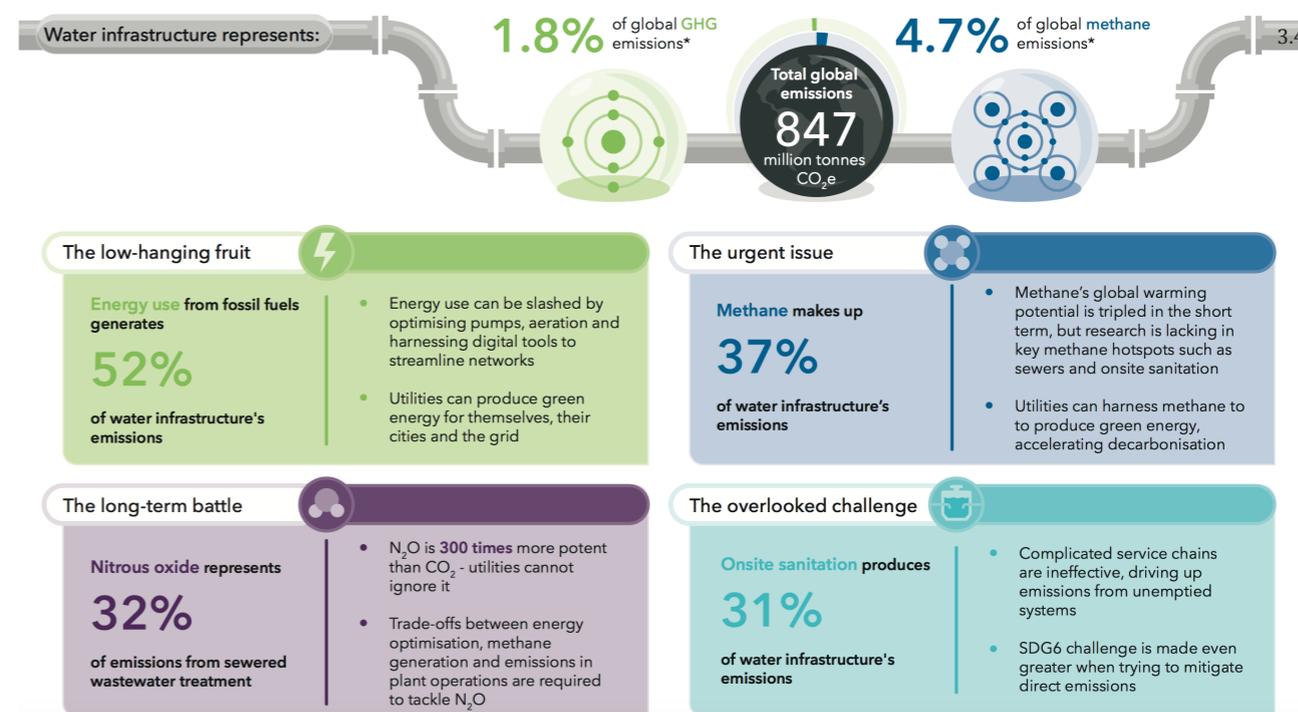
Sono molteplici, infatti, le azioni mirate alla transizione verde intraprese dai gestori per migliorare le attività basate sull'economia circolare nel settore idrico, come il risparmio energetico, il recupero di materie prime e la produzione di energia dai fanghi di depurazione, il riutilizzo dell'acqua, la riduzione del consumo di plastica e altri aspetti, a questi correlati. In diversi paesi europei i regolatori economici hanno sviluppato strumenti di ricompensa ben definiti per incentivare le utilities a offrire prodotti e servizi con esternalità ambientali positive, come la riduzione delle emissioni di gas serra.

Cresce inoltre la consapevolezza dell'impronta di carbonio del settore idrico sta crescendo e le *utilities* si stanno impegnando a ridurre a zero, ma mancano ancora dati che definiscano concretamente le strategie di misura delle emissioni del settore.

Da regione a regione, la popolazione e la dipendenza dai combustibili fossili sono i fattori principali che portano a elevate emissioni dalle infrastrutture idriche. Mentre le emissioni di energia dominano nella fase del servizio idrico integrato legate alla distribuzione e alla fognatura, il metano è la principale preoccupazione nelle regioni che dipendono dai servizi igienico-sanitari in loco.

A causa dell'accresciuto potenziale di riscaldamento globale del metano a breve termine, mitigarne gli impatti è una priorità altrettanto urgente come la riduzione delle emissioni di carbonio per ridurre rapidamente il riscaldamento a breve termine e frenare gli impatti dei cambiamenti climatici: come si vede dall'immagine successiva

(3.4) il settore dell'infrastruttura idrica rappresenta a livello mondiale l'1.8% delle emissioni di gas climalteranti, di cui 847 milioni sono di tonnellate di CO₂ equivalente, insieme al metano che costituisce il 4.7% del totale delle emissioni di gas climalteranti e di N₂O (Global Water Intelligence, et al., 2022).



Le emissioni di carbonio sono una caratteristica di ogni fase delle attività di un'azienda che gestisca il servizio idrico e raggiungere obiettivi *net zero water* e *net zero emission* significa necessariamente includere i *partner* che coinvolgano l'intera catena di fornitura (ARUP, 2022).

Con lo scopo della riduzione di tali valori e dell'accrescimento del ruolo dei gestori dei servizi idrici integrati nell'obiettivo globale di mitigazione delle cause del cambiamento climatico nonché di miglioramento della propria resilienza, la struttura del settore idrico europeo è stata ampiamente rivista, ed è in fase di revisione in que-

Didascalie alle immagini.
3.4. Emissioni di gas climalteranti legate al servizio di approvvigionamento idrico a livello globale (immagine tratta da Global Water Intelligence, et al., 2022)

sti anni, alla luce del recente dettagliato quadro legislativo europeo in materia di acqua potabile, raccolta e trattamento delle acque reflue urbane e smaltimento e trattamento dei fanghi. È sempre più necessario, infatti, aiutare le città ad accrescere la propria resilienza idrica (ARUP, et al., 2019a; ARUP, et al., 2019b) per costruire la capacità dei sistemi idrici urbani di resistere, adattarsi e trasformarsi di fronte alle nuove sfide climatiche e per questo, è necessario considerare le risorse idriche “non convenzionali” nella pianificazione futura perché senza tecnologie per il risparmio idrico, incluso il riutilizzo dell’acqua, l’Unione Europea ha stimato un aumento del 16% del prelievo idrico in Europa entro il 2030 (WE, 2021; EC, 2022b). Il riutilizzo dell’acqua (o acqua recuperata) è un’alternativa affidabile alle risorse idriche convenzionali per una serie di usi, a condizione che sia trattata e/o utilizzata in modo sicuro. Sebbene anche la desalinizzazione, o dissalazione, possa rivelarsi una delle alternative utili nell’aumentare l’approvvigionamento di acqua dolce, questo processo è generalmente ad alta intensità energetica e quindi può contribuire alle emissioni di gas serra se la fonte di energia da cui viene alimentato non è rinnovabile, anche se, la desalinizzazione solare si sta sviluppando rapidamente e riduce in maniera considerevole l’impronta di carbonio degli impianti di desalinizzazione convenzionali alimentati da combustibili fossili (Pouyfaucou, A.B., et al., 2018). Tuttavia, pur riducendo l’impronta di carbonio va considerato che gli impianti di desalinizzazione rilasciano tassi di salinità e di contaminanti che sono difficili da smaltire e che mettono a rischio la salubrità della superficie terrestre (Wilder, M.O., et al., 2016). Inoltre, va considerato che in molte regioni del mondo, le falde acquifere presentano la maggiore capacità di stoccaggio, spesso di ordini di grandezza superiore allo stoccaggio delle acque superficiali e che quindi questa potrebbe rivelarsi come una valida alternativa rispetto a soluzioni più energivore.

Su scala mondiale sono già in uso altre strategie di raccolta e rilascio dell’umidità atmosferica sotto diverse forme, come il *cloud seeding* (North America Weather Modification Council, 2018) o la raccolta dell’acqua sotto forma di nebbia (*fog harvesting*) (UNEP DTU Partnership, et al., 2017) che, al contrario dei sistemi di desalinizzazione, costituiscono approcci a basso costo e a bassa manutenzione, soprattutto nelle aree geografiche dove la formazione della nebbia è un fenomeno atmosferico abbondante e frequente. Ma data la portata delle infrastrutture esistenti, c’è sempre il rischio che un intervento, seppur ben intenzionato, causi ulteriori emissioni di

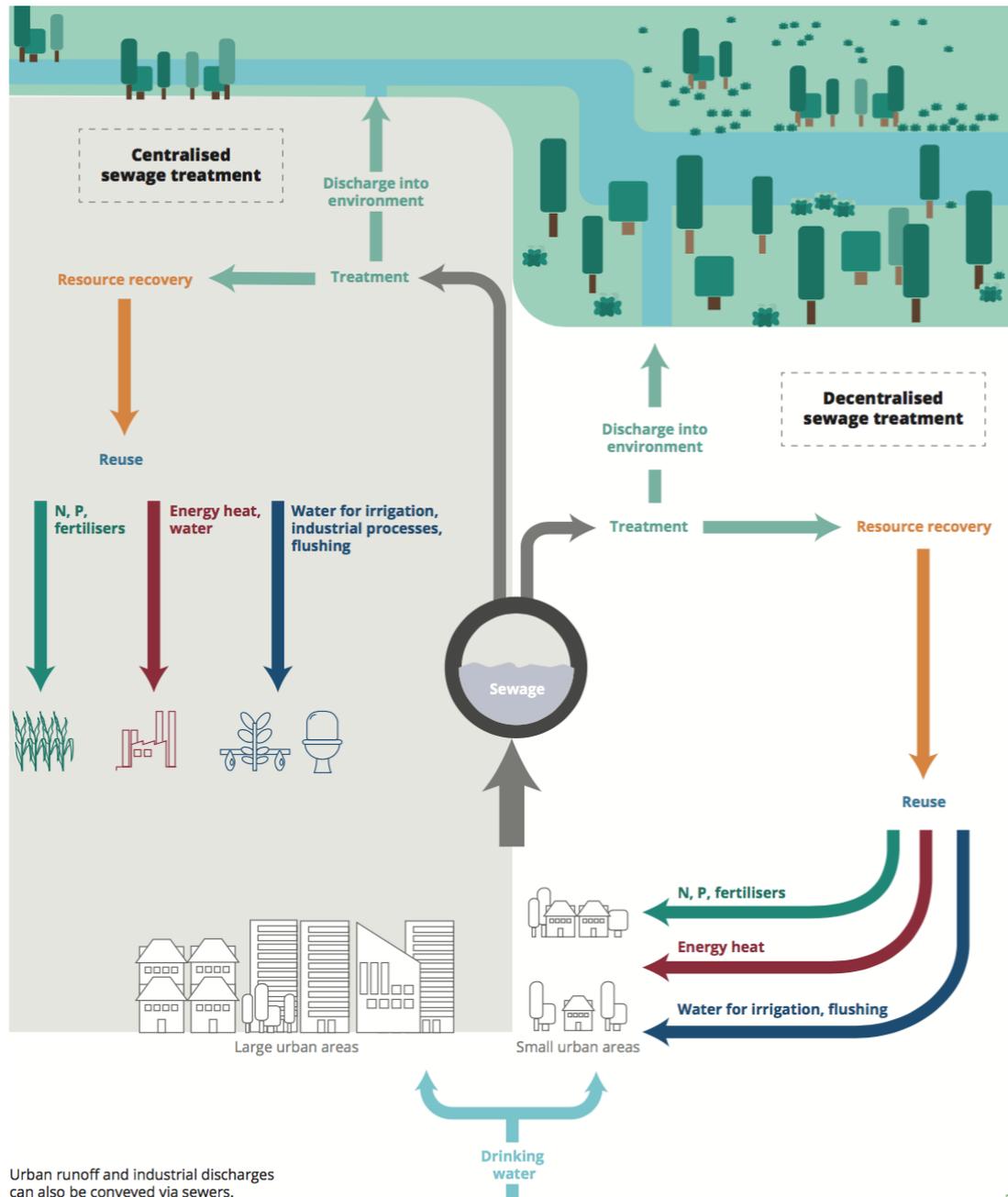
carbonio da qualche altra parte nella rete: questo è il motivo per cui è sempre necessaria un’analisi altamente rigorosa prima che qualsiasi piano volto al *net zero emission* possa funzionare.

Tuttavia, la maggior parte delle emissioni di gas serra legate alla gestione dell’acqua e ai servizi igienico-sanitari proviene dall’energia utilizzata per alimentare i sistemi o dai processi biochimici coinvolti nel trattamento dell’acqua e delle acque reflue.

L’uso dell’acqua che si basa su un modello lineare “prendere-usare-consumare-smaltire”, come è stato storicamente e fino ad ora, fa diminuire la qualità dell’acqua fino a diventare inadatta per un ulteriore utilizzo da parte degli esseri umani e degli ecosistemi (WEF, 2021a). Entro la metà di questo secolo, l’economia circolare ha il potenziale per ridurre del 53% il consumo di acqua da risorse primarie (The Circonomist, et al., 2021) e per questo c’è una crescente attenzione rivolta al trattamento delle acque reflue urbane che rompe questo approccio lineare, mirando a pulire l’acqua utilizzata, restituendola all’ambiente per il riuso, consentendo inoltre il riciclo dei fanghi di depurazione o il recupero delle risorse in esso contenute.

Ma concentrarsi solo sul processo di trattamento in sé non porta alla circolarità, intesa nel senso più ampio del termine, in quanto i principi di minimizzazione dell’uso dell’acqua e di prevenzione dell’inquinamento delle acque reflue urbane devono essere applicati a monte (Smol, M. et al., 2020).

La prevenzione dell’inquinamento negli impianti di trattamento delle acque reflue urbane può essere migliorata riducendo le emissioni di gas a effetto serra e migliorando, al tempo stesso, la rimozione dei microinquinanti: la circolarità può essere supportata da un ruolo di “rimozione degli inquinanti” a un centro di recupero e stoccaggio delle risorse attraverso un’ampia gamma di tecnologie per il riutilizzo dell’acqua e per il recupero di energia e risorse (Kehrein, P. et al., 2020). Restituire l’acqua all’ambiente e riciclarla per uso potabile e non potabile contribuisce a rigenerare la natura: in questa direzione la circolarità possa essere raggiunta nel trattamento delle acque reflue sia con approcci centralizzati che decentralizzati. Entrambi i sistemi iniziano con le acque reflue domestiche, ma, mentre il trattamento decentralizzato conserva le risorse per il riutilizzo e il riciclo a livello locali, la portata del trattamento e del recupero presso gli impianti maggiori può essere più intensiva e molto più ampia (EEA, 2022), come mostrato in figura 3.5, nella pagina seguente.



La circolarità del ciclo dell'acqua, l'aumento dell'efficienza nel suo uso e la riduzione del consumo idrico non necessario e delle perdite idriche si traducono in un minor consumo di energia e quindi in minori emissioni di gas a effetto serra (Płuciennik-Koropczuk E., et al., 2022).

Il settore energetico utilizza quantità significative di acqua e suolo, anche in combinazione tra loro.

Il settore energetico è un grande utilizzatore di acqua sia a livello globale che in Europa. Il consumo di acqua da parte del sistema energetico può competere direttamente con altri utenti dell'acqua, come l'agricoltura e l'industria. L'uso dell'acqua senza una reale necessità di consumo può avere impatti sostanziali sull'ecosistema, in particolare quando le centrali termiche scaricano l'acqua di raffreddamento nell'ambiente a una temperatura superiore a quella ambiente o quando le centrali idroelettriche di stoccaggio arrivano ad influenzare la stagionalità dei flussi fluviali. D'altro canto, il settore idrico, parallelamente al settore energetico, è uno dei principali utilizzatori di energia, rappresentando circa il 4% del consumo globale di elettricità (IEA, 2018) ed è proprio l'ottimizzazione dell'uso dell'energia e il passaggio a fonti energetiche rinnovabile ad essere uno dei fattori trainanti dell'innovazione delle utilities come parte della corsa verso la riduzione a zero delle emissioni di CO₂.

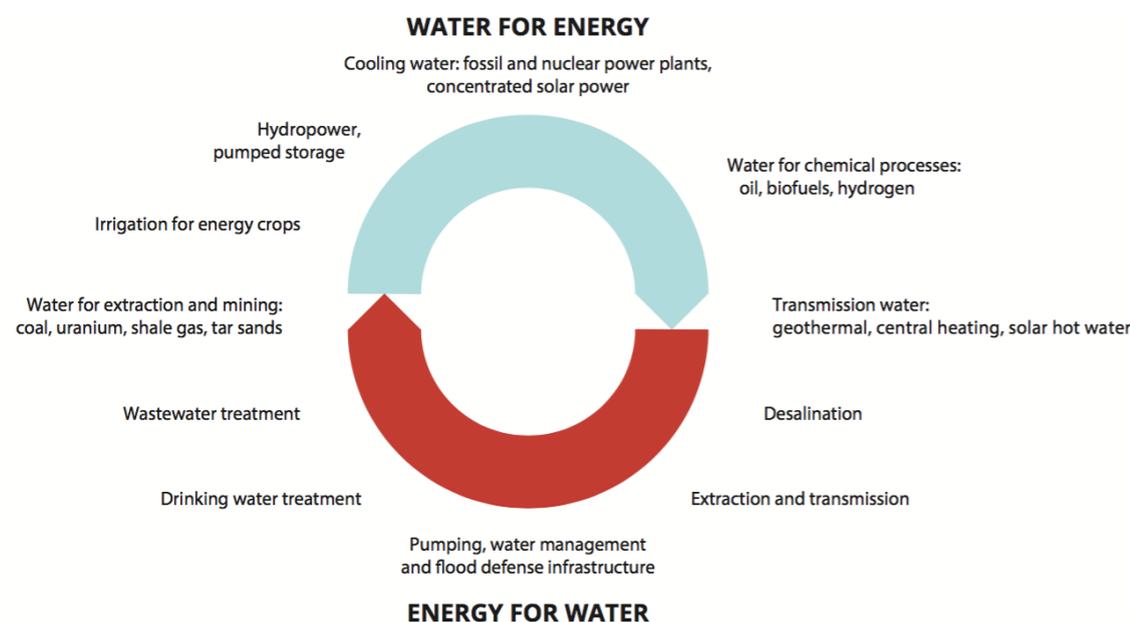
E, sebbene l'energia possa non essere la prima cosa a cui si pensa quando si parla di acqua, la necessità di pompare, convogliare e trattare l'acqua consegnata a casa comporta che acqua ed energia siano sempre intrinsecamente intrecciate.

Il termine "Water-Energy Nexus" è usato per descrivere l'interdipendenza tra i due sistemi chiave alla base dello sviluppo economico e sociale (EEA, 2019).

Si prevede che l'interdipendenza rappresentata dal *Water-Energy Nexus* sia destinata ad intensificarsi a causa degli impatti dei cambiamenti climatici, del cambiamento dei modelli di consumo e della crescita della popolazione (IPCC, 2022c; Eurostat, 2018) e che il declino della produzione di energia termica, come previsto nella maggior parte degli scenari di decarbonizzazione, porti a prelievi idrici ridotti ma a un maggiore consumo di acqua da parte del settore energetico nella maggior parte delle economie avanzate (Fricko, O., et al., 2016), e viceversa che l'aumento dello stress idrico possa limitare la produzione di energia in alcune parti dell'Europa (McMahon J.E., et al., 2011; Scott, C.A., et al., 2015).

Didascalie alle immagini nella pagina accanto -
3.5. Strategie di circolarità della risorsa idrica nel trattamento delle acque reflue (immagine tratta da EEA, 2022)

3.6



Source: EEA, based on EP (2012).

Alcune tecnologie energetiche a basse emissioni di carbonio hanno il potenziale per contribuire positivamente al *nexus*, mentre altre possono portare a competizione o conflitto (Pittock, J. et al., 2015): la sostituzione della produzione di energia termica con il solare fotovoltaico e l'energia eolica riduce l'uso di acqua dolce per unità di energia generata, mentre l'uso di acqua per le colture a scopo energetico e per la produzione concentrata di energia solare (CSP) può essere addirittura superiore a quello delle centrali elettriche a combustibili fossili (Berrill, P. et al., 2016). Allo stesso tempo, tecnologie come il trattamento delle acque reflue con recupero di energia o la produzione di biogas, possono persino generare più energia di quanta ne utilizzino (IEA, 2018; IRENA, 2015) e dunque comportare un apporto positivo.

L'energia è fondamentale per la fornitura di acqua per una vasta gamma di usi che sono cruciali per la salute e il benessere della popolazione e che includono, come precedentemente accennato, la fornitura di acqua potabile sicura e pulita, la dissalazione dell'acqua, il trattamento delle acque reflue e il pompaggio e la distribuzio-

ne dell'acqua per tutti gli usi (EEA, 2022). I guasti nel sistema energetico, più o meno legati alla scarsità d'acqua, hanno il potenziale per interrompere queste funzioni vitali.

Uno studio della *World Environmental and Water Resources Congress* stima che il 7% del consumo energetico mondiale nell'anno 2000 è derivato dai sistemi pompaggio e trattamento delle acque ad uso civile (Ghimire, S.R., et al., 2007). Ridurre il consumo di energia è fondamentale per ridurre le emissioni di CO₂, ma le *utilities* dovranno inevitabilmente sempre utilizzare l'energia e rendere più ecologiche le loro fonti energetiche è quindi l'unico modo sicuro a cui possono ricorrere per decarbonizzare completamente il consumo di energia e raggiungere l'obiettivo di zero emissioni. I servizi idrici e delle acque reflue non possono più temporeggiare: hanno molte opzioni per generare la propria energia verde, per rendere più ecologico il proprio mix energetico e persino contribuire a rendere più ecologico anche il mix energetico della propria città. Inoltre, generare la propria energia aiuta a ridurre il dispendio energetico operativo e la dipendenza dalla rete (Global Water Intelligence, et al., 2022).

Diversi documenti presentano nuove prospettive e nuove interpretazioni del *Water-Energy nexus* come esplorare l'abbinamento di fonti di generazione rinnovabile con la distribuzione dell'acqua potabile e le risorse di raccolta delle acque reflue in grado di immagazzinare e rilasciare energia in risposta ai cambiamenti temporali nella domanda di riscaldamento domestico (Liu, F., et al., 2020).

Alla luce di queste considerazioni, il settore idrico in Europa potrebbe e dovrebbe essere in grado di ridurre il proprio consumo di energia in futuro. Dal punto di vista urbano, le città sono chiamate ad adattarsi e diventare resilienti agli impatti dei cambiamenti climatici che si stanno già manifestando oggi e che sono destinati a peggiorare, e ci si riferisce a ondate di caldo fuori norma, alluvioni, precipitazioni imprevedibili e giorni di siccità (IPCC, 2022c). La crisi idrica nelle aree urbane, inoltre, manifesta sempre più preoccupazioni e mira a pratiche sostenibili di approvvigionamento idrico negli edifici, oltre che di gestione efficiente della domanda idrica. Per il raggiungimento di Distretti Urbani e città climaticamente neutre e intelligenti saranno fondamentali le *Smart Hybrid Grey and Green Infrastructures* volte a garantire l'approvvigionamento idrico per le funzioni urbane chiave e gli altri servizi essenziali, come l'energia, per evitare gli effetti a cascata del guasto dei sistemi idrici alla

Didascalie alle immagini.

3.6. *Water-Energy Nexus*: il ciclo interdipendente che lega l'acqua e l'energia (immagine tratta da EEA, 2019)

funzionalità degli altri settori. In combinazione con le innovazioni nella rete idrica per rendere i flussi idrici completamente circolari, sono necessarie soluzioni digitali per gestire le molteplici qualità dell'acqua (falda, superficie, piovana, salata, salmastra, nera e grigia riciclata) sia attraverso un sistema di incentivi, sia attraverso sistemi di gestione con coinvolgimento degli utenti, attraverso l'insegnamento e la sensibilizzazione verso i *responsible behaviours*, nelle città *Water-Smart* del futuro (WEF, 2020b). Gli investimenti in una migliore gestione dell'acqua e in nuove infrastrutture idriche più orientate all'economia circolare e alle soluzioni verdi-blu possono portare a risparmi operativi: sono investimenti che, se ben gestiti, creano valore con brevi periodi di ammortamento. Le città trarrebbero inoltre molteplici vantaggi di carattere ambientale dall'utilizzo dell'acqua per migliorare il capitale naturale in tutti gli spazi urbani. Stagni, torrenti e laghi, *nature based solutions* che aumentano anche la biodiversità, sono luoghi più desiderabili accanto ai quali vivere e lavorare, migliorando la qualità della vita e il benessere mentale degli abitanti delle città (WEF, 2021a).

A differenza delle strategie convenzionali per la gestione dell'acqua che hanno prevalentemente una visione antropocentrica con l'uomo al centro e gli ambienti naturali al servizio delle sue necessità, e che si basano sull'utilizzo di infrastrutture convenzionali, come la deviazione di un corso naturale e l'utilizzo di argini artificiali per gestire le piene, le soluzioni di tipo *Nature Based* risultano ottimali sotto due punti di vista: provvedere all'approvvigionamento idrico necessario alle attività umane e al tempo stesso garantire il funzionamento del ciclo idrico e dei servizi ecosistemici ad esso correlati. In generale, da sempre l'ambiente naturale viene visto come un "consumatore" idrico aggiuntivo, quando al contrario il corretto funzionamento ecosistemico è fondamentale per un ciclo dell'acqua funzionale ed ecosostenibile. Tuttavia, la mancanza di un quadro regolatorio mirato alle *green-blue infrastructures* risulta uno dei principali ostacoli all'accesso al finanziamento pubblico. Infatti, da un'indagine effettuata dall'OECD (2020), risulta che per essendo 23 i Paesi che su 27 citano in qualche modo le *Nature Based Solutions* nella loro strategia nazionale di gestione dell'acqua, solamente 8 dimostrano un collegamento diretto con una politica di implementazione concreta delle stesse. L'Italia risulta tra i 4 Paesi in cui le *Nature Based Solutions* non vengono nemmeno citate (REF ricerche, 2022a).

Parallelamente alle strategie volte alla scala distrettuale dell'infrastruttura idrica, che pure ricopre un ruolo fondamentale, e alla necessità di orientarsi sempre più verso la realizzazione di *Nature Based Solutions* e *green-blue infrastructures* volte alla tutela e al recupero del capitale naturale e della risorsa idrica, altrettanto importanti a livello urbano sono le strategie volte alla riqualificazione degli edifici esistenti con un approccio che si avvicini sempre di più al *net-zero water*.

3.4.1 Il settore idrico, l'obiettivo *net-zero* e le architetture *off-grid*

Sebbene si stiano compiendo sforzi per ridurre in una certa misura il consumo di acqua dolce attraverso tecniche di gestione della domanda e strategie di approvvigionamento alternative, è necessario concentrarsi anche a livello dell'edificio sul concetto di circolarità della risorsa idrica ai fini del raggiungimento dello standard *net-zero water* (NZW), una forma di progettazione che, a causa delle caratteristiche dell'edificio, della posizione geografica variabile e delle incertezze nel processo decisionale, è difficile da ricondurre a delle strategie genericamente replicabili ma necessita di accurate analisi di fattibilità (Crosson, C., 2016), che ne rendono la messa in opera ancora estremamente rara (Naserisafavi, N., et al., 2022).

Un edificio che si possa definire a ciclo idrico zero o *net-zero water* è progettato e realizzato con lo scopo di preservare le risorse idriche naturali, migliorare le infrastrutture idriche e assicurare la qualità e la disponibilità di acqua per soddisfare le esigenze degli utenti finali.

Perché ciò accada è necessario ragionare nell'ottica del raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- minimizzare il consumo totale di acqua;
- massimizzare le fonti alternative di acqua;
- minimizzare lo scarico di acque reflue negli edifici;
- favorire il ritorno dell'acqua in uscita dall'edificio alla fonte di approvvigionamento originale.

E per il conseguimento degli obiettivi sopra citati le strategie chiave di progettazione di un edificio che risponda allo schema di funzionamento del sistema idricamente neutro nell'edificio ideale *net-zero*

ro water, si articolano principalmente nel:

- ridurre la domanda impiegando tecnologie innovative che consumano meno acqua;
- produrre fonti d'acqua alternative per compensare l'acqua dolce acquistata;
- trattamento delle acque reflue in loco e riutilizzo o iniezione delle acque reflue trattate nella rete idrica originale;
- implementazione di infrastrutture verdi infiltrando l'acqua piovana nell'approvvigionamento idrico originale.

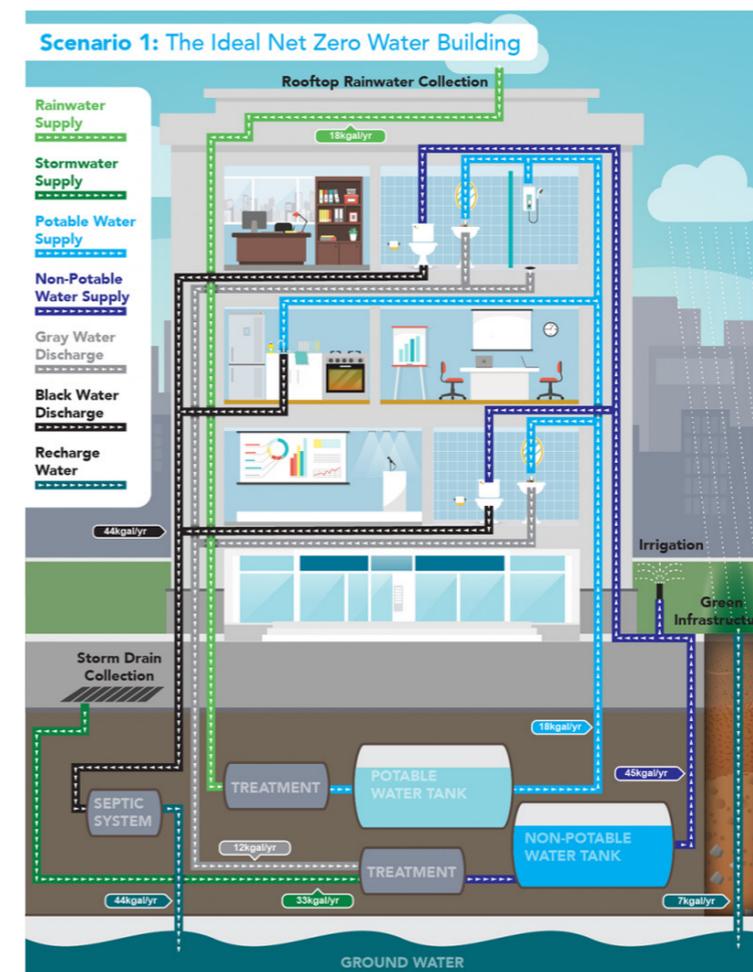
L'edificio a ciclo idrico zero è, infatti, pensato per essere un sistema idricamente neutro, in cui la somma delle acque provenienti da fonti alternative e di ritorno alla fonte di approvvigionamento originale, è uguale all'acqua complessivamente consumata (Englehardt, J.D., et al., 2013; Englehardt, J.D., et al., 2016; EERE, 2022a). L'obiettivo del bilancio zero di acqua è preservare la quantità e la qualità delle fonti naturali di acqua evitandone il deterioramento e l'esaurimento, mediante l'utilizzo di fonti alternative e misure di massima efficienza. Per verificare che un edificio risponda a tali criteri è necessario che le acque in uso da fonti alternative e le acque di ritorno, sommate tra loro, corrispondano all'acqua totale in uso nell'edificio. È considerata acqua proveniente da fonti alternative l'acqua che derivi da fonti sostenibili (non potabili), le acque di ritorno sono invece costituite dalle acque reflue raccolte all'uscita dell'edificio e riportate, una volta depurate, alla fonte originale e, in ultimo, si definisce acqua totale la somma delle acque provenienti da fonti potabili e non potabili.

Per monitorare il funzionamento di questo sistema idricamente neutro devono essere raccolti annualmente dati sull'utilizzo dell'acqua, in termini di acqua potabile, di acqua non potabile, di acqua da fonti alternative, di acque reflue e di acqua piovana. Una volta sommati tra loro tutti i consumi di acqua dolce e i consumi alternativi di acqua per calcolare il consumo totale annuo di acqua dell'edificio questi si sommano a loro volta con le acque da fonti alternative, le acque reflue trattate e l'acqua piovana restituita alla fonte originale. Se questa somma è uguale o superiore al fabbisogno idrico totale annuo di acqua, allora l'edificio è considerato *net-zero water*, di tipo ideale quando usa fonti di acqua alternative in loco per sopperire all'intero fabbisogno dell'edificio e tutte le acque reflue in uscita dall'edificio sono trattate in loco e ritornano alla fonte originale di

approvvigionamento (EERE, 2022b), o convenzionale se invece bilancia il prelievo di acqua potabile dalla rete con l'utilizzo di acqua da fonti alternative e con le acque di ritorno garantite dalla permeabilità delle aree verdi (EERE 2022c).

Di seguito, nella figura 3.7 si riporta lo schema di funzionamento di un edificio *net-zero water* ideale.

3.7



Didascalie alle immagini.
3.7. Schema di funzionamento del sistema idricamente neutro in edificio ideale *net-zero water* (immagine tratta da EERE, 2022b)

Di edifici a consumo idrico quasi zero che rispondano, sebbene in forma semplificata, a questo schema, ci sono diversi esempi virtuosi reali nell'architettura contemporanea, che non soltanto soddisfano il requisito di consumo idrico zero ma sono addirittura architetture *off-grid* cioè totalmente sconnesse dalla rete, in grado di produrre in proprio tutta l'energia elettrica e termica di cui hanno bisogno, di ricavare l'acqua da un pozzo o dalla pioggia e di depurare in modo naturale i reflui e di azzerare le proprie emissioni legate alla fase operativa.

Tra queste, ad esempio, la tenuta in Estremadura (3.8), nata come una antica casa colonica spagnola, abbattuta e totalmente ricostruita riutilizzando i materiali originali con strategie volte ad avviare l'assenza di possibili allacci alle utenze urbane ovvero con un mix di fotovoltaico e mini-idroelettrico per l'elettricità e la piscina che ha anche funzione di riserva idrica per irrigare il giardino, oltre ai due corsi d'acqua che scorrono tutto l'anno, e che costituiscono l'apporto di acqua dolce potabilizzata e utilizzata per bere e fare il bagno (Àbaton Architecture Studio, 2013); l'*Hill Country House*, una casa di campagna in Texas (3.9) che, concepita come prototipo per una comunità sostenibile, è una casa autosufficiente in un ambiente rurale, indipendente dagli allacci delle reti comunali di acqua e energia: un pannello solare da 8 kW fornisce l'80% del consumo energetico annuo, il riscaldamento e il raffreddamento meccanico sono resi possibili da un sistema geotermico da 5 tonnellate, e un sistema di raccolta dell'acqua piovana da 30.000 galloni soddisfa tutte le esigenze idriche annuali del proprietario. Inoltre, durante la costruzione, gli architetti hanno sviluppato un piano di gestione dei rifiuti per affrontare lo smaltimento dei materiali inutilizzati e di eventuali rifiuti prodotti in loco (Mirò Rivera Architects, 2018); la *Rain Harvest Home* situata in una riserva naturale nelle montagne a sud di Valle Bravo in Messico (3.10-3.11), di cui l'architettura, l'impronta e il sistema vegetale, sono stati orientati al raggiungimento di un complesso olistico, completamente integrato nel suo contesto naturale ed è stata progettata con lo scopo di creare una struttura che potesse funzionare *off-grid* attraverso un impianto fotovoltaico solare e un sistema di trattamento e stoccaggio dell'acqua in loco, che la rendesse auto sufficiente 365 giorni l'anno dal punto di vista idrico, lavorando in tandem con il clima locale dove le estati sono umide e piovose, e inverni estremamente secchi (Hutchinson R. Architecture, 2020).

Didascalie alle immagini.

nella pagina accanto -
3.8. Scheda con dati generali del progetto, dati climatici e immagini della tenuta in Estremadura (immagini tratte da Àbaton Architecture Studio, 2013);

nelle pagine seguenti -
3.9. Scheda con dati generali del progetto, dati climatici e immagini dell'*Hill Country House* (immagini e progetto tratti da Mirò Rivera Architects, 2018);
3.10. Scheda con dati generali del progetto, dati climatici e immagini della *Rain Harvest Home* (immagini, schema funzionale della gestione circolare della risorsa idrica per la *Rain Harvest Home* tratti da Hutchinson R. Architecture, 2020);
3.11. Immagine della *Rain Harvest Home* e impronta dei tre volumi immersi nella vegetazione naturale. Volumi che costituiscono il sistema di raccolta, trattamento e riutilizzo dell'acqua, e le soluzioni indipendenti per la produzione energetica e alimentare in loco (immagine tratta da Testa, C., 2021)

Tenuta in Estremadura, Caceres, Spagna

3.8

DATI GENERALI DEL PROGETTO

nome del progetto
Tenuta in Estremadura

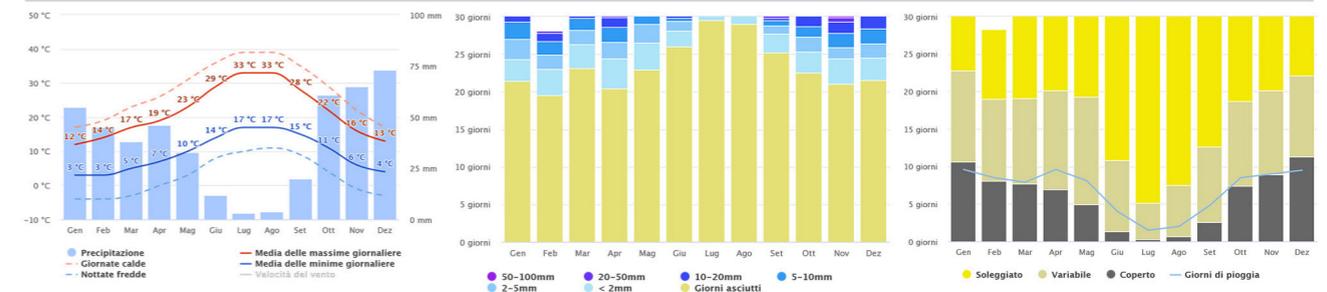
progettisti
Àbaton Architecture Studio

periodo di realizzazione
2013

luogo
Caceres, Estremadura, Spagna



DATI CLIMATICI



IMMAGINI DEL PROGETTO



Texas Hill Country House, Texas, USA

DATI GENERALI DEL PROGETTO

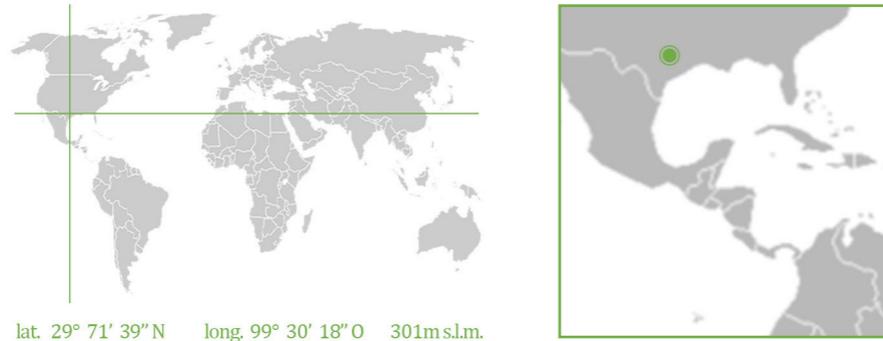
nome del progetto
Texas Hill Country House

progettisti
Miró Rivera Architects

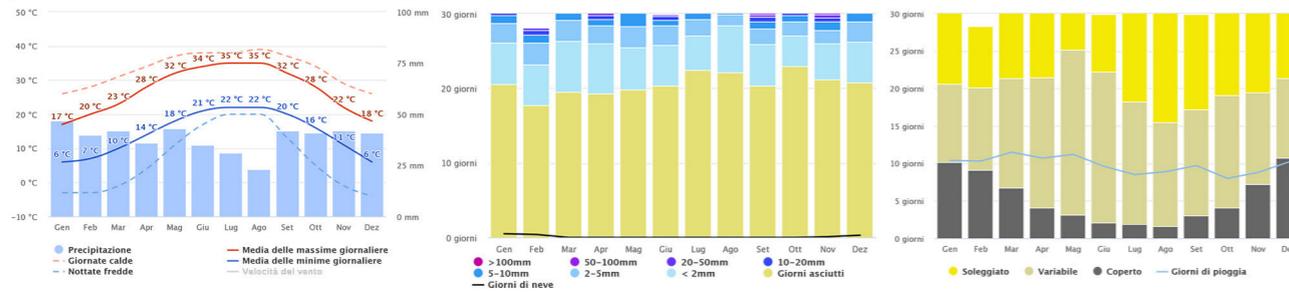
periodo di realizzazione
2017

luogo
Texas Hill Country, Texas (USA)

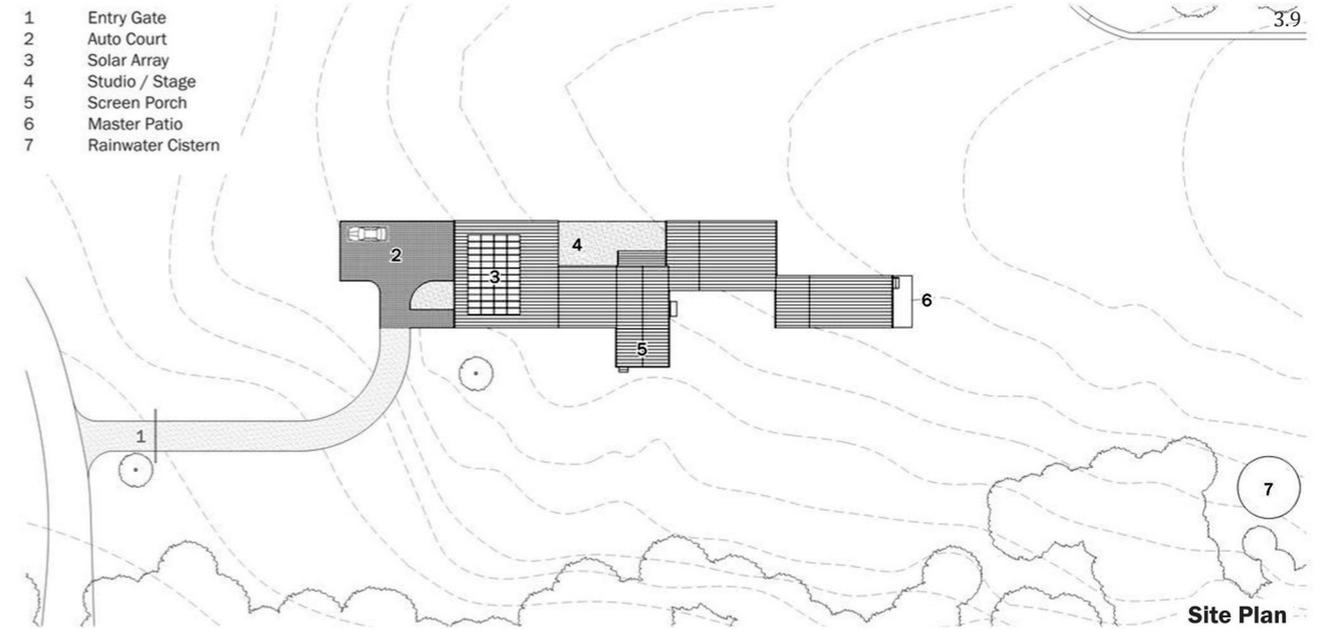
funzione
esempio di architettura off-grid:
nuova costruzione destinata a
residenza autonoma in ambiente rurale



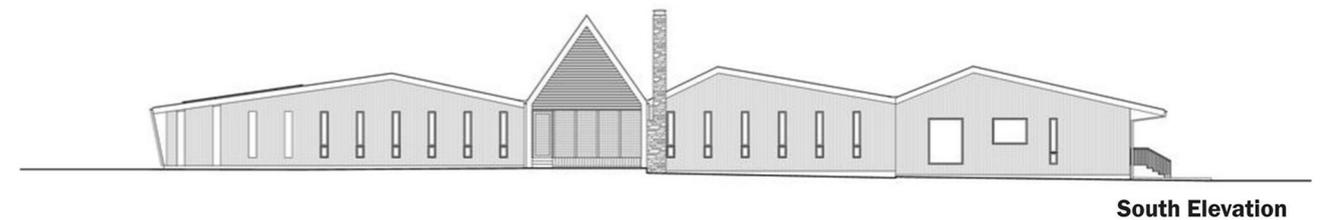
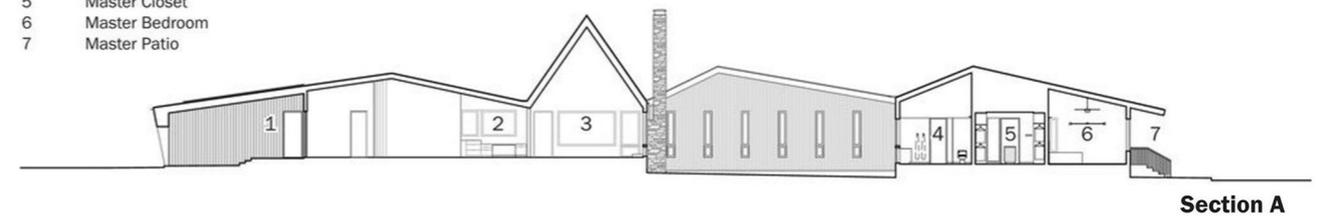
DATI CLIMATICI



IMMAGINI DEL PROGETTO



- 1 Entry
2 Dining
3 Living
4 Master Bath
5 Master Closet
6 Master Bedroom
7 Master Patio



Rain Harvest Home, Temascaltepec, Mexico

DATI GENERALI DEL PROGETTO

nome del progetto
Rain Harvest Home

progettisti
Robert Hutchison Architecture & Javier Sanchez Arquitectos

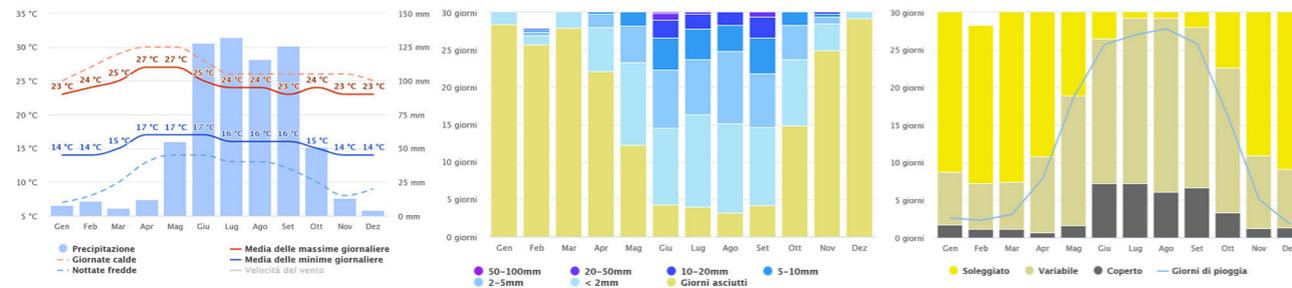
periodo di realizzazione
2020

luogo
Temascaltepec, Citta del Messico (Messico)

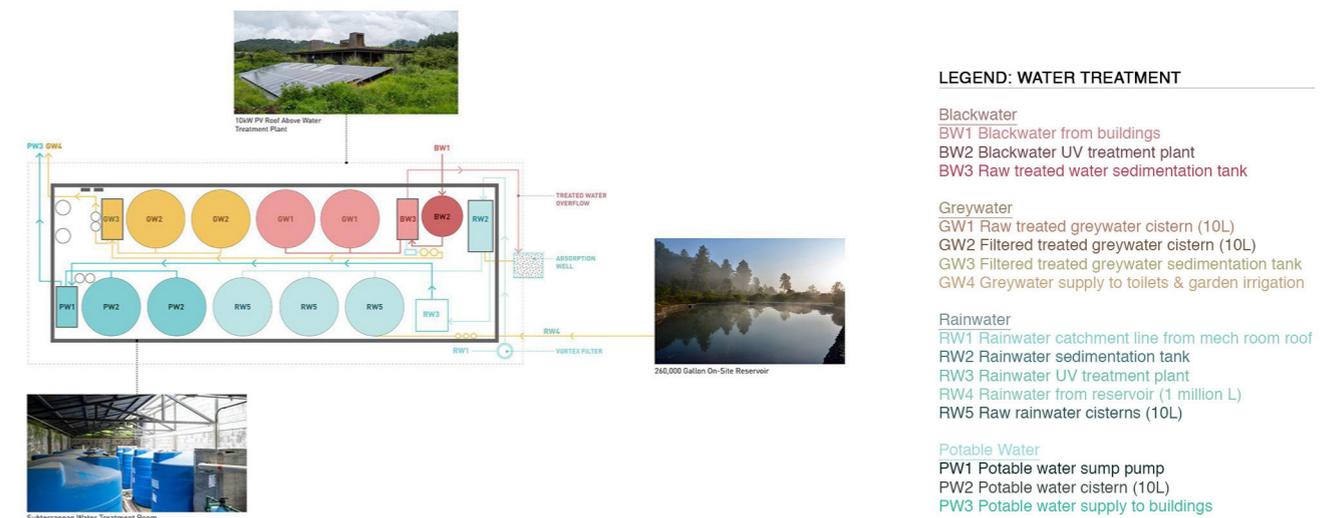
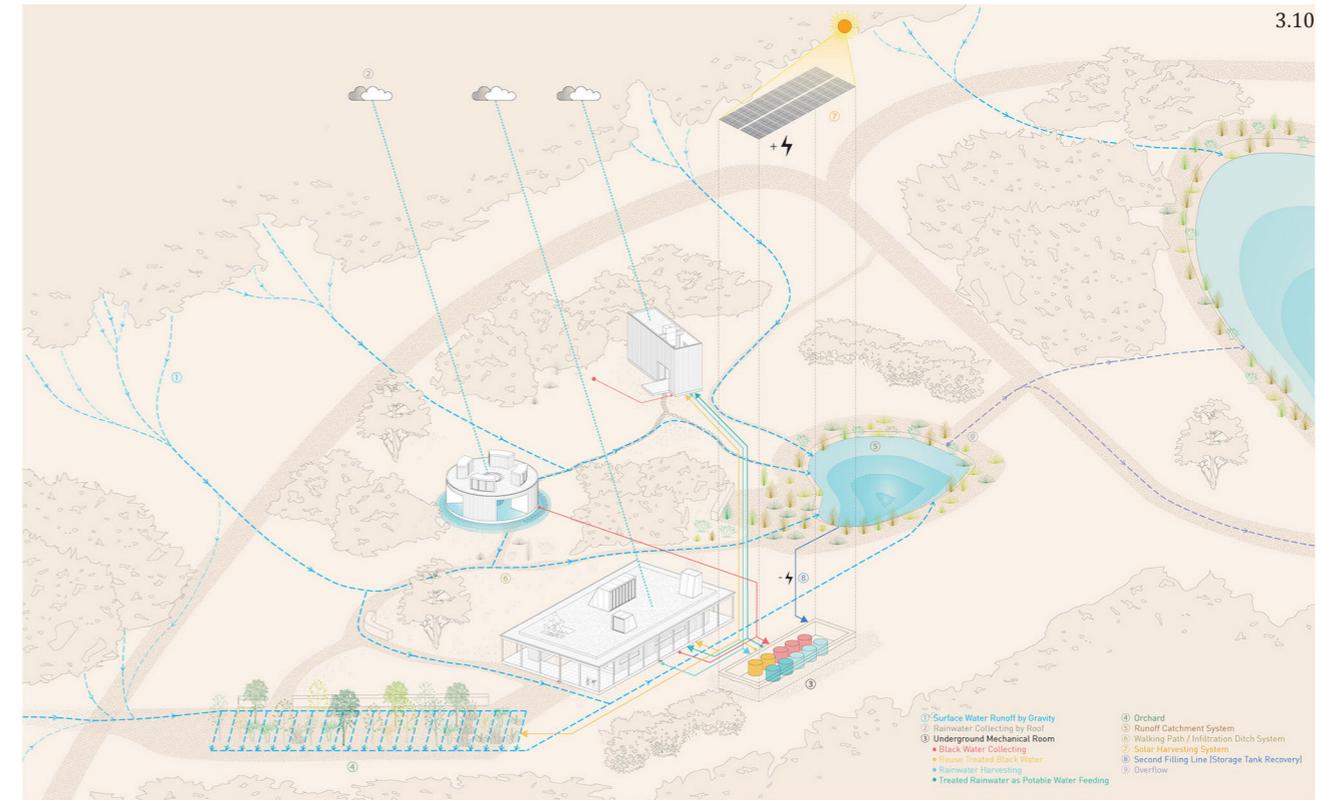
funzione
esempio di architettura off-grid:
nuova costruzione - residenza autonoma
in riserva naturale sulle montagne



DATI CLIMATICI



IMMAGINI DEL PROGETTO





Tuttavia questo genere di architettura, come si evince dai tre progetti sinteticamente presentati a scopo esemplificativo, è diffusa in zone prevalentemente naturali, lontane dai contesti urbani, dove al di là della vocazione rivolta all'architettura sostenibile, c'è una necessità di risolvere il problema della distanza dalle reti di distribuzione delle utenze; e soprattutto si rivolge a nuove costruzioni a carattere prevalentemente abitativo e unifamiliare, nelle quali non ci sono vincoli di preesistenze e dunque, qualunque tipo di soluzione tecnologica o impiantistica che riguardi un sistema di tubazioni o canalizzazioni da realizzare, la si pensa su una piccola o media scala di progetto e con le caratteristiche necessarie a soddisfare il requisito di autosufficienza dell'utenza.

Inoltre, andando ad analizzare il quadro normativo di riferimento per gli edifici che rispondano allo standard *net-zero water* in contesti urbani, che come anticipato precedentemente sono ancora estremamente rari, si può notare che questo accade perché nella gran parte del panorama legislativo mondiale mancano ad oggi ancora normative necessarie a far sviluppare agevolmente tali progetti (Crosson, C., 2018) e i protocolli finalizzati alle certificazioni di sostenibilità come Itaca, Leed e Breeam, che pure agevolano questo genere di progetti e la soddisfazione degli standard di impatto ambientale zero, non costituiscono un vincolo legislativo.

3.5 Considerazioni sulle *circular* e *climate-neutral cities*

Alla luce del quadro di riferimenti e definizioni presentate all'interno di questo Capitolo emerge chiaramente che l'obiettivo principale comune, sia per gli interventi rivolti agli edifici che per quelli rivolti alle infrastrutture idriche alla scala del distretto e alla scala urbana, consiste nel chiudere i vari cerchi dei materiali e delle risorse naturali, tra questi, in particolare, chiudere il cerchio sull'uso dell'acqua: riutilizzare tutta l'acqua contenuta nei materiali e riusare le sostanze che si trovano nell'acqua stessa, attraverso strategie di depurazione e filtrazione il più possibili naturali, riducendo così al minimo gli sprechi da acqua potabile, servizi igienico-sanitari, irrigazione, riscaldamento e raffreddamento e favorendone il "secondo uso".

Ogni metropoli deve, dunque, imparare a sfruttare appieno questa risorsa, in quanto ricca fonte di energia e nutrienti (tra cui carbonio, azoto, fosforo, calore, rifiuti organici e biosolidi).

Gestire l'acqua in modo efficiente e con un'ottica di circolarità all'interno dell'area urbana sarà dunque una delle azioni necessarie per isolare una città dal cambiamento climatico, disaccoppiandone la crescita economica dall'uso eccessivo e dallo spreco dell'acqua, consentendo alle città di crescere in modo significativo senza consumare più quantità ingiustificate di questa preziosa risorsa (Stuchtey, M., 2015).

References

- Àbaton Architecture Studio (2013), Àbaton projects - Estate in Extremadura, Spain. Available at: <https://abaton.es/en/projects/estate-in-extremadura/>
- Androutsopoulos, A., et al. (2020), Mapping the deep renovation possibilities of European Buildings in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 410 (2020) 012056, doi:10.1088/1755-1315/410/1/012056;
- Antonini, E., Tucci, F. (2017), Progettare un futuro desiderabile per le città, in Antonini, E., Tucci, F. (eds.), Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy, la costruzione di un manifesto della Green Economy per l'architettura e la città del futuro, ISBN 978-88-6627-216-8, Edizioni Ambiente, Milano;
- ARUP (2016), The Circular Economy in the Built Environment, London. Available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>
- ARUP, The Rockefeller Foundation and the Resilience Shift (2019a), The City Water Resilience Approach, London;
- ARUP, The Rockefeller Foundation and the Resilience Shift (2019b), The City Water Resilience Approach - Water Resilience Literature Review, London;
- ARUP (2020a), Five-minute guide to zero net energy in buildings, London. Available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/promotional-materials/section/five-minute-guide-to-net-zero-energy-in-buildings>
- ARUP (2020b), Net Zero Carbon buildings: three steps to take now, London. Available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/net-zero-carbonbuildings-three-steps-to-take-now>
- ARUP and Ellen Macarthur Foundation (2020c), From principles to practices: realising the value of circular economy in real estate, London;
- ARUP (2022), How the water sector can embrace net zero, London. Available at: <https://www.arup.com/perspectives/clear-thinking-how-the-water-sector-can-embrace-net-zero>
- Baiani S. (2016), "L'esistente come risorsa. Re-duce Re-use Re-cycle", in Baiani, S., Clemente, C. (eds.), B-Side Inerti urbani, Il progetto tecnologico per la riqualificazione di spazi dimenticati, 23-32. Nuova Cultura, Roma
- Bardi, U., Alvarez Pereira, C. (2022), Limits and Beyond: 50 years on from The Limits to Growth, what did we learn and what's next? A report to the Club of Rome. Exapt Press. ISBN: 978-19-1454-903-8;
- Berrill, P. et al. (2016), Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe, Environmental Research Letters 11(1), p. 014012 doi: 10.1088/17489326/11/1/014012
- Bionova e One Click LCA (2018), "The Embodied Carbon Review Embodied carbon reduction in 100+ regulations & rating systems globally", Bionova Ltd. Available at: https://www.oneclicklca.com/wpcontent/uploads/2018/12/Embodied_Carbon_Review_2018.pdf
- C40 Cities (2017a), How Cities are building the Future we want: city progress towards meeting Net Zero Carbon Buildings Declaration commitments, London;
- C40 Cities (2018), Net Zero Carbon Buildings Declaration – Planned Actions to Deliver Commitments, London;
- C40 Cities (2020), The multiple benefits of Deep Retrofits: a toolkit for cities, C40 Cities Climate Leadership Group, London;
- C40 Cities (2022), Net Zero Carbon Buildings Declaration - Annual City Progress Report, London;
- Campioli, A., Torricelli, M.C., Mannino, I. (2017), Approccio Lyfe Cycle per la sostenibilità nel settore delle

costruzioni e nelle trasformazioni del territorio, in Antonini, E., Tucci, F. (eds.), *Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy*, la costruzione di un manifesto della Green Economy per l'architettura e la città del futuro, ISBN 978-88-6627-216-8, Edizioni Ambiente, Milano;

Center for Neighborhood Technology (2010), *The Value of Green Infrastructure - A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits*, Washington;

Circle Economy (2019), *City-as-a-service - how circular services models will practically shape the city of the future*. Circle Economy, Amsterdam;

Circle Economy (2022), *The Circularity Gap Report 2022*. Circle Economy, Amsterdam;

Circular Economy Network e Enea (2021), *3° Rapporto sull'Economia Circolare in Italia - Focus sull'economia circolare nella transizione alla neutralità climatica*, Roma;

COM (2021c), *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - "Pronti per il 55%": realizzare l'obiettivo climatico dell'UE per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica - COM(2021) 550 final*, Bruxelles;

Crosson, C. (2016), *Achieving Net Zero Water in Severe Drought Prone Areas: A Case Study of Catchment, Storage, and Infiltration Optimization*. *Procedia Engineering*. 145. 782-789. 10.1016/j.proeng.2016.04.102;

Crosson, C. (2018), *Innovating the Urban Water System: Achieving a Net Zero Water Future Beyond Current Regulation*. *Technology Architecture+ Design* 2, no. 1 (2018): 68-81, <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1420966>

De Groote, M., Lefever, M., Reinaud, J. for Building Performance Institute Europe e Industrial Innovation for Competitiveness i24c (2016), *Scaling Up Deep Energy Renovation - Unleashing the Potential through Innovation & Industrialisation*, ISBN 978-94-9126-319-4, Building Performance Institute Europe, Bruxelles;

EC (2013), *Building a green infrastructure for Europe*, Luxembourg. ISBN 978-92-79-33428-3 doi: 10.2779/54125;

EC (2020b), *Proposed Mission: 100 Climate-neutral Cities by 2030 - by and for the Citizens*. Interim Report of the Mission Board for climate-neutral and smart cities, Publications Office of the European Union, Luxembourg;

EC (2022b), *Commission staff working document - evaluation of the Council Directive 91/271/CEE of 21 May 1991, concerning urban waste-water treatment - SWD(2019) 700 final*, Bruxelles;

Ecologic Institute for International and European Environmental Policy (2007), *EU Water Saving potential. Report Part I and II - ENV.D.2./ETU/2007/0001r*, Berlin. Available at: https://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/water_saving_1.pdf

EEA (1998), *Life Cycle Assessment (LCA) - a guide to approaches, experiences and information sources*, report no. 6/1998, Copenhagen. ISBN 9209267-079-0;

EEA (2019), *Adaptation Challenges and Opportunities for the European Energy System - Building a climate resilient low-carbon energy system*, EEA Report n. 01/2019, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-065-7 doi:10.2800/227321

EEA (2020a), *Climate change mitigation: Cutting greenhouse gas emissions through circular economy actions in the building sector*, briefing n. 06/2020, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-247-7 - doi: 10.2800/675663;

EEA (2020b), *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*, Copenhagen. ISBN: 978-92-9480-270-5 - doi: 10.2800/324620;

EEA (2022), *Beyond water quality - sewage treatment in a circular economy*, EEA Report n. 05/2022, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-478-5 doi:10.2800/897113

EERE (2022a), *Net Zero Water Building Strategies*. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Washington DC. Available at: <https://www.energy.gov/eere/femp/net-zero-water-building-strategies>

EERE (2022b), *Scenario 1: The Ideal Net Zero Water Building*. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Washington DC. Available at: <https://www.energy.gov/eere/femp/scenario-1-ideal-net-zero-water-building>

EERE (2022c), *Scenario 2: The Mainstream Net Zero Water Building*. Office of Energy Efficiency & Renewable

Energy. Washington DC. Available at: <https://www.energy.gov/eere/femp/scenario-2-mainstream-net-zero-water-building>

Ellen Macarthur Foundation (2017a), *Cities in the Circular economy: an initial exploration*, Chicago. Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/cities-in-the-circular-economy-an-initial-exploration>

Ellen Macarthur Foundation in collaboration with SUN (Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit) and the McKinsey Center for Business and Environment (2015), *Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe*, Chicago. Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>

Englehardt, J.D., Wu, T., Tchobanoglous, G. (2013), *Urban net-zero water treatment and mineralization: Experiments, modeling and design*. *Water research*. 47. 4680-4691. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.026>.

Englehardt, J.D., Wu, T., Frederick Bloetscher, F., Deng, D., du Pisani, P., Eilert, S., Elmir, S., Guo, T., Jacangelo, J., LeChevallier, M., Leverenz, H., Mancha, E., Plater-Zyberk, E., Sheikh, B., Steinle-Darling, E. and Tchobanoglous, G. (2016), *Net-zero water management: achieving energy-positive municipal water supply*. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 2016,2, 250-260. <https://doi.org/10.1039/C5EW00204D>;

European Parliament (2012), *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC*;

Eurostat (2018), *Population and population change statistics*. Luxembourg. Available at: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Population_and_population_change_statistics#EU-28_population_continues_to_grow

Fabbri, M., De Groote, M., Rapf, O. for Building Performance Institute Europe (2016), *Building Renovation Passports - Customised roadmaps towards deep renovation and better homes*, ISBN 978-94-9114-317-5, Building Performance Institute Europe, Bruxelles;

Fricko, O., et al. (2016), *Energy sector water use implications of a 2 °C climate policy*, *Environmental Research Letters* 11(3), 034011 doi:10.1088/1748-9326/11/3/034011

Ghimire, S.R., Barkdoll, B.D. (2007), *Issues in Energy Consumption by Municipal Drinking Water Distribution Systems. Restoring Our Natural Habitat - Proceedings of the 2007 World Environmental and Water Resources Congress*. 1-10. 10.1061/40927(243)471.

Glasgow Chamber of Commerce and Circular Glasgow in partnership with The Business of Cities (2021), *The Circular Economy & Cities - Implications and Imperatives*, Glasgow. Available at: <https://www.circularglasgow.com/wp-content/uploads/2021/04/The-Circular-Economy-and-Cities-Report.pdf>

Global Buildings Performance Network - Shnapp, S., Sitjà, R., Laustsen, J. (2013), *What is a Deep Renovation Definition? - Technical Report*, Global Building Performance Network, Paris;

Global Water Intelligence e Water without Carbon (2022), *Mapping water's carbon footprint - our net zero future hinges on wastewater*, Media Analytics Ltd., Oxford. Available at: <https://www.globalwaterintel.com/water-without-carbon>

Green City Network (2021), *La carta delle città verso la neutralità climatica*, Roma;

GUCE (1998b), *Direttiva 98/83/CE del Consiglio del 3 novembre 1998 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano - L. 330/32 del 5.12.98 e successivamente modificata da Regolamento (CE) n 1882/2003 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 settembre 2003 (L.284 del 31.10.2002), Regolamento (CE) n 596/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 giugno 2009 (L. 188 del 18.7.2009) e Direttiva (UE) 2015/1787 della Commissione del 6 ottobre 2015 (L. 260 del 7.10.2015)*;

GUUE (2018b), *Direttiva UE 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza*

energetica – L 156/75 del 19.6.2018;
GUUE (2018c), Direttiva UE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2019 che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica – L 328/210 del 21.12.2018;
Hernandez, P., Kenny, P. (2010), From net energy to zero energy buildings: defining lifecycle zero energy buildings (LC-ZEB) in *Energy and Buildings* 42(6) 815-821, doi:10.1016/j.enbuild.2009.12.001;
Hirvonen, J., Saari, A., Jokisalo, J., Kosonen, R. (2022), Socio-economic impacts of large-scale deep energy retrofits in apartment buildings, in *Journal of Cleaner Production*, 368(133187), ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2022.133187>
Hutchinson R. Architecture (2020), Project of a desert house designed for water. Available at: <https://robhutcharch.com/casa-temascaltepec>
I4C (2021a), Italy Climate Report 2021 – la performance dell'Italia sui temi del Clima e dell'Energia, Roma. Available at: <https://italyforclimate.org/wp-content/uploads/Italy-Climate-Report-2021-Italy-for-Climate.pdf>
I4C (2021b), La roadmap per la neutralità climatica dell'Italia – edizione 2021, Roma. Available at: <https://italyforclimate.org/wp-content/uploads/I4C-Roadmap-2030-per-la-neutralita%CC%80-climatica-dellItalia-2021.pdf>
I4C (2021c), Una legge per la protezione del Clima in Italia – position paper di Italy for Climate, Roma. Available at: <https://italyforclimate.org/wp-content/uploads/legge-clima-position-paper-dicembre-2021.pdf>
IEA (2018), World Energy Outlook 2018, International Energy Agency, Paris. Available at: <https://www.iea.org/weo2018/>
IPCC (2018a), Special Report on Global Warming of 1.5 Degrees, Geneva, Switzerland;
IPCC (2018b), Annex I: Glossary, In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_AnnexI_Glossary.pdf
IPCC (2022c), 2022: Water. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi:10.1017/9781009325844.006.;
IPCC (2022d), 2022: Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 907–1040, doi:10.1017/9781009325844.008
IRENA (2015), Renewable energy in the water, energy & food nexus, Abu Dhabi, UAE. Available at: http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Water_Energy_Food_Nexus_2015.pdf
IRP for UNEP (2020), Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya;
ISPRA (2020), Indicatori di efficienza e decarbonizzazione nei principali paesi europei – edizione 320/2020 – ISBN 978-88-448-1006-1, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma
Kehrein, P., et al. (2020), A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants — market supply potentials, technologies and bottlenecks, *Environmental Science: Water Research & Technology* 6, pp. 877-910, <https://doi.org/10.1039/c9ew00905a>
Ligtvoet W., et al. (2018), The Geography of Future Water Challenges: PBL Netherlands. Available at: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-the-geography-of-future-water-challenges-2920_2.pdf
Liu, F., Tait, S., Schellart, A., Mayfield M, Boxall J. (2020), Reducing carbon emissions by integrating urban water

systems and renewable energy sources at a community scale, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 123 (2020) 109767. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109767>
Lorenzen, M., Scher, M. - Salesforce (2020), More than a Megawatt: Embedding Social & Environmental Impact in the Renewable Energy Procurement Process, San Francisco;
Losasso, M., Davoli, P., Leone, M.F. (2017), Ambiente costruito e Mitigazione climatica, in Antonini, E., Tucci, F. (eds.), *Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy, la costruzione di un manifesto della Green Economy per l'architettura e la città del futuro*, ISBN 978-88-6627-216-8, Edizioni Ambiente, Milano;
Mancini, F., Lo Basso, G. (2020), How Climate Change affects the building energy consumptions due to cooling, heating and electricity demands of Italian Residential Sector, in *Energies* 13(410), 1-24, DOI: 10.3390/en13020410
Marra Campanale, R. (2019), I conti ambientali per chiudere il cerchio, in *Obiettivo sostenibilità – l'Italia e l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile*, *Ecoscienza* n. 3/2019
Material Economics (2020), "The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation", Stockholm. Available at: <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy>
McMahon J.E., Price S.K., (2011), *Water and Energy Interactions*, Lawrence Berkley National Laboratory, Berkeley, CA. Available at: <https://escholarship.org/content/qt5pr6r5h6/qt5pr6r5h6.pdf?t=mq330>
Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. Behrens III W.W. (1972), *The limits to growth, a report for the club of Rome's project on the predicament of mankind*, Universe Books, New York. ISBN 0-87663-165-0;
Millennium Ecosystem Assessment, (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC - ISBN 1-59726-040-1;
Mirò Rivera Architects (2018), Publication of the details of the Hill Country House, located in Austin, Texas. Available at: <https://www.mirorivera.com/hill-country-house>
Naserisafavi, N., Yaghoubi, E., Sharma, A.K. (2022), Alternative water supply systems to achieve the net zero water use goal in high-density mixed-use buildings, *Sustainable Cities and Society*, Volume 76, 103414. ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103414>.
North America Weather Modification Council (2018), *Cloud seeding, the environment and the climate*, Austin, Texas. Available at: http://www.nawmc.org/publications/Environment%20r11%20press_final.pdf
Pittock, J. et al. (2015), *Climate, energy, and water: managing trade-offs, seizing opportunities*, Cambridge University Press, Cambridge (UK);
Płuciennik-Koropczuk E., Myszograj S., Mąkowski M. (2022), Reducing CO2 Emissions from Wastewater Treatment Plants by Utilising Renewable Energy Sources—Case Study. *Energies*; 15(22):8446. <https://doi.org/10.3390/en15228446>
Pouyfaucou, A.B. and L. García-Rodríguez (2018), Solar thermal-powered desalination: a viable solution for a potential market. *Desalination*, 435, 60–69, doi:10.1016/j.desal.2017.12.025;
Quaranta, E., Dorati, C. e Pistocchi, A. (2021), Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios. *Sci Rep* 11, 12163, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88141-7>
Ramboll Environ (2020), *Blue-green Infrastructures as tools for the management of urban development and the effects of climate change*, Madrid;
Ramboll's Liveable Cities Lab (2020), *Strengthening Blue-Green Infrastructure in our Cities - Enhancing Blue-Green infrastructure & social performance in high density urban environments*, Copenhagen;
REF Ricerche (2022a), *Soluzioni basate sulla natura nel servizio idrico: la risposta ad un clima che cambia*. Laboratorio SPL Collana Ambiente, Acqua n°228 dicembre 2022, REF Ricerche, Milano. ISSN ISSN 2531-3215
Romano, R., Andreucci, M.B., Giancola, E. (2022), Positive Energy District e azioni di Deep Renovation per andare oltre gli obiettivi UE 2025 in Ri-innovare l'abitazione, housing renovation – *Techne Journal, Journal of Technology for Architecture and Environment* n.24 (2022), SITdA e Firenze University Press, Firenze;

Ronchi, E. (2018), Prefazione in Tucci, F., *Costruire e Abitare Green, Approcci Strategie e Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale*, ISBN 978-88-94869-03-3, Altralinea Edizioni, Firenze;

Ronchi, E., Tucci, F. (2020), *Pandemia e alcune sfide green del nostro tempo*, dossier del Green City Network e della Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile. Available at: https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/Dossier_Pandemia-e-sfide-green-del-nostro-tempo-web.pdf

Ronchi, E., et al. per gli Stati Generali della Green Economy, Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile e Ecomondo (2021), *Relazione sullo stato generale della Green Economy – edizione 2021*, Roma;

Ronchi, E., Tucci, F., et al. per il Green City Network, Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile e Gestore Servizi Energetici (2022), *Indagine sull’impegno delle città verso la neutralità climatica – Rapporto di sintesi dei risultati dell’indagine*, Roma. Available at: https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/limpegno-delle-citta-verso-la-neutralita-climatica-2022.pdf

Scott, C.A., M. Kurian, J.L. Wescoat, Jr. (2015), *The water-energy-food nexus: Adaptive capacity to complex global challenges*. In M. Kurian and R. Ardakanian (eds.), *Governing the Nexus: Water, Soil and Waste Resources Considering Global Change*, Springer, Berlin, pp. 15-38;

Seattle Public Utilities and King County (2020), *Green Stormwater Infrastructure - Overview and Accomplishment Report*, Nature-based solutions for managing polluted runoff, Seattle;

Smol, M. et al. (2020), *Circular economy model framework in the European water and wastewater sector*, *Journal of Material Cycles and Waste Management* 22, pp. 682-697, <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00960-z>

Strohbach, M.W., Arnold, E., Haase, D. (2012), *The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach*, in *Landscape and Urban Planning*, Volume 104, Issue 2, Pages 220-229, ISSN 0169-2046, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.013>

Stuchtey, M. (2015), *Rethinking the water cycle*, McKinsey & Company. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/rethinking-the-water-cycle>

Testa, C. (2021), *Rain Harvest Home at one with nature*. In *The Plan magazine* - vol. 129/2021. Available at: <https://www.theplan.it/eng/magazine/2021/the-plan-129-04-2021/rain-harvest-home>

The Circonomist & NextGen EU (2021), *Circular economy trailblazers reveal path towards sustainable water use and new markets*. Available at: <https://nextgenwater.eu/circular-economy-trailblazers-reveal-path-towards-sustainable-water-use-and-new-market>

Tucci, F. (2018), *Costruire e Abitare Green, Approcci Strategie e Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale*, ISBN 978-88-94869-03-3, Altralinea Edizioni, Firenze;

Tucci, F., Baiani, S., D’Olimpio, D., Altamura, P., Turchetti, G. (2020a), *Resilience, adaptation and mitigation under a green building approach in Sposito, C., Resilience between mitigation and adaptation. Project. Essays and Researches*, Palermo University Press. ISBN: 978-88-5509-094-0;

Tucci, F., Cecafofso, V., Caruso, A., Turchetti, G. (2020b), *Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città green - assi strategici, indirizzi, azioni, d’intervento per la resilienza dell’ambiente costruito*; FrancoAngeli Editore, Milano. ISBN 978-88-351-0952-5;

Tucci, F., et al. per gli Stati Generali della Green Economy, Green City Network e Sapienza Università di Roma (2021a), *Rapporto “Verso la neutralità climatica delle Green City: approcci, indirizzi, strategie e azioni”*, Sapienza Università di Roma, Roma;

Tucci, F., Baiani, S., Altamura, P., Cecafofso, V. (2021b), *District Circular Transition e progetto tecnologico verso un modello di Circular City*, in *Techne Journal, Journal of Technology for Architecture and Environment* n.24 (2022) 22(2021), 227-239. Firenze University Press, Firenze. ISSN 2239-2243; doi: 10.36253/techne-10612;

UN-Water (2020), *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*, UNESCO, Paris. ISBN 978-92-3-100371-4;

UN-WWAP and UN-Water (2018), *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based*

Solutions for Water. UNESCO, Paris. ISBN 978-92-3-100264-9;

UNEP (2021), *2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*, Nairobi. Available at: https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf

UNEP (2022a), *Adaptation Gap Report 2022: Too Little, Too Slow – Climate adaptation failure puts world at risk*, Nairobi. Available at: <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>

UNEP (2022b). *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. Nairobi. Available at: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>

UNEP DTU Partnership, UN Environment-DHI Center on Water and Environment and CTCN Climate Technology Centre & Network (2017), *Climate Change Adaptation Technologies for Water: Fog Harvesting, a practitioner’s guide to adaptation technologies for increased water sector resilience*. Available at: https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/resources/fog_harvesting.pdf

WAREG (2019), *Five Year Report 2014-2019*. WAREG Secretariat, Milano;

WE (2020a), *EU Water Alliance – Opportunity and necessity for Europe to build a water-smart society and circular economy*, Bruxelles. Available at: <https://watereurope.eu/eu-water-alliance-launches-its-manifesto/>

WE (2020b), *Water Europe Contributions to the European Green Deal and Horizon Europe – Water Europe Vision Implementation 2020-2027 and Annexes*, Bruxelles;

WE (2021), *For a green, circular & smart urban wastewater treatment directive*, Bruxelles;

WEF (2019), *The Net-Zero Challenge: Global Climate Action at a Crossroads*, briefing paper (Part 1), Geneve/Cologny Switzerland;

WEF (2020), *The Net-Zero Challenge: Fast-Forward to Decisive Climate Action*, insight report. Geneve/Cologny Switzerland;

WEF (2021a), *Circular Cities: A circular water economy for cleaner, greener, healthier, more prosperous cities - The Imagine If Water Series. Briefing Paper*. Geneve/Cologny. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Imagine_IF_Water-Series_2021.pdf

WEF (2021b), *Net Zero Carbon Cities: An Integrated Approach*, Geneve/Cologny Switzerland. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Carbon_Cities_An_Integrated_Approach_2021.pdf

WEF (2021c), *Net-Zero Challenge: the supply chain opportunity*, insight report. Geneve/Cologny Switzerland;

WEF in collaboration with Arup and AlphaBeta (2022), *BiodiverCities by 2030: Transforming Cities’ Relationship with nature - insight report*. Geneve/Cologny Switzerland;

WEF in collaboration with JLL (2021), *Green Building Principles: The Action Plan for Net-Zero Carbon Buildings*, insight report. Geneve/Cologny Switzerland;

Wilder, M.O., et al. (2016), *Desalination and water security in the US–Mexico border region: assessing the social, environmental and political impacts*. *Water Int.*, 41(5), 756–775, doi:10.1080/02508060.2016.1166416;

WWC (2018), *Start with water – putting water on local action agendas to support global change*, Marseille;

WWF Italia (2014), *L’impronta idrica dell’Italia*. Ufficio Editoria WWF Italia, Roma;

Zhivov, A., Lohse, R. (2020), *What Is Deep Energy Retrofit? In: Deep Energy Retrofit*. Springer, Cham, ISBN 978-3-030-30679-3 https://doi.org/10.1007/978-3-030-30679-3_2

Zhivov, A., Lohse, R. (2021), *Major Renovation and Deep Energy Retrofit. In: Deep Energy Retrofit — A Guide for Decision Makers*, SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer, Cham, ISBN 978-3-030-6621 https://doi.org/10.1007/978-3-030-66211-0_5

CAPITOLO 4 Analisi dei casi studio significativi

ABSTRACT (INGLESE)

Climate change is, therefore, upon us. With global temperature records being broken year after year and prospects increasingly dire for the extent of the future causes of climate change and its effects, the world and Europe have been forced to respond to the global climate and environmental emergency. Cities play a key role in achieving climate neutrality by 2050, a goal set by the European Green Deal. They occupy only 4% of the EU's land area, but consume over 65% of the world's energy and account for over 70% of global CO₂ emissions.

Since the mitigation of the causes of climate change strongly depends on urban action and the political leaders are now mostly aware of it, there are many cities that have embarked on the path to accelerate their transformation according to the green approach. European cities can contribute substantially to the Green Deal objective of reducing emissions by 55% by 2030. Indeed, the challenge of climate neutrality not only represents a decisive commitment for the future of cities, but also an opportunity for ecological redevelopment and improvement of local development and well-being for citizens.

Even before the cities' commitment intensified in recent years, also thanks to specific missions with relative funding sources, such as the European Community's "Climate-Neutral and Smart Cities" mission, already starting from the second half of the last century, some cities, urban districts and neighbourhoods have embarked on paths aiming at achieving this goal and at positioning themselves as avant-garde examples to follow and to refer to in terms of experimentation and innovation.

Below are 100 case studies, many of which were examined for the report "Towards climate neutrality of Green Cities: approaches, guidelines, strategies and actions" with the aim of studying, deepening and highlighting the way in which Cities, Urban Districts and Neighbourhoods, on a global and European scale, have operated or are operating in a smart, green and climate-neutral direction according to the analysis of 6 main thematic axes, more or less present, in the various case studies examined: energy transition, bio-climate responsiveness, functional mixité and proximity, resource circularity and self-sufficiency, sustainable mobility, urban greening and "green and grey" CO₂ subtraction and storage. Starting from the definition of the 6 main thematic axes, a further selection was made, by the author, which led, through intermediate criteria to further analyses and insights, to the circumscription of the 2 case studies considered most relevant for the themes mainly addressed within this discussion.

ABSTRACT

Il cambiamento climatico è, dunque, alle porte. Con i record di temperatura globale che vengono battuti anno dopo anno e le prospettive sempre più disastrose per l'entità del futuro delle cause del cambiamento climatico e dei suoi effetti, negli ultimi anni il mondo e l'Europa sono stati forzatamente chiamati a rispondere all'emergenza climatica e ambientale globale. Le città svolgono un ruolo fondamentale nel raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050, obiettivo imposto dal *Green Deal* europeo. Occupano solo il 4% della superficie terrestre dell'UE, ma consumano oltre il 65% dell'energia mondiale e rappresentano oltre il 70% delle emissioni globali di CO₂. E, poiché la mitigazione delle cause del cambiamento climatico dipende fortemente dall'azione urbana, e i vertici politici ne sono ormai per lo più consapevoli, sono molte le città che hanno intrapreso il percorso nell'accelerazione della loro trasformazione secondo l'approccio *green*. La sfida della neutralità climatica, infatti, non solo rappresenta un impegno decisivo per il futuro delle città, ma anche un'occasione di riqualificazione ecologica e di miglioramento dello sviluppo locale e del benessere per i cittadini. Prima ancora che l'impegno delle città si intensificasse negli ultimi anni, anche grazie a missioni specifiche con relative fonti di finanziamento, come la missione "*Climate-Neutral and Smart Cities*" della Comunità Europea, già a partire dalla seconda metà del secolo scorso alcune città, Distretti Urbani e quartieri hanno intrapreso percorsi volti al raggiungimento di questo obiettivo e a porsi come esempi di avanguardia da seguire e a cui fare riferimento in materia di sperimentazione e innovazione. Di seguito vengono riportati 100 casi studio, molti dei quali sono stati presi in esame per il report "Verso la neutralità climatica delle Green City: approcci, indirizzi, strategie e azioni" con l'obiettivo di studiare, approfondire ed evidenziare il modo in cui Città, Distretti Urbani e Quartieri, su scala globale ed europea, hanno operato o stanno operando in direzione smart, green e climate-neutral secondo l'analisi di 6 assi tematici portanti, più o meno presenti, nei vari casi studio presi in esame: *energy transition, bio-climate responsiveness, functional mixité and proximity, resource circularity and self-sufficiency, sustainable mobility, urban greening and "green and gray" CO₂ subtraction and storage*. A partire dalla definizione dei 6 assi tematici portanti è stata fatta una ulteriore selezione, a cura dell'autrice, che ha portato, attraverso criteri intermedi ad ulteriori analisi ed approfondimenti, alla circoscrizione dei 2 casi studio ritenuti più rilevanti per i temi principalmente affrontati all'interno di questa Trattazione.

4.1 Analisi dei 100 Casi Studio significativi. Definizione dei criteri di riferimento

A partire da quanto dichiarato nel precedente Capitolo, l'aumento dell'efficienza nell'uso dell'acqua, del ciclo integrato delle acque e la riduzione del consumo idrico e delle perdite idriche comportano un minor consumo di energia e minori emissioni di gas a effetto serra; per questa ragione questo tema è stato fondamentale nella determinazione dei casi studio ritenuti più pertinenti ai fini della Trattazione: la selezione, sempre più stringente, ha portato infatti alla scelta di quei casi studio che, non solo abbiano applicato soluzioni concrete a partire dalle strategie volte all'*energy transition*, alla *natural resources circularity* e alla *CO₂ subtraction and storage*, ma che abbiano anche già analizzato in termini numerici e quantitativi, i dati effettivi di sottrazione di CO₂ ottenuta grazie al miglioramento della circolarità delle risorse naturali, in particolare delle risorse idriche, sebbene lo abbiano fatto a partire da strategie distinte tra loro e con soluzioni altrettanto differenti. Questi diversi approcci testimoniano come non ci sia un'unica strada per raggiungere il fine ultimo della riduzione delle emissioni di CO₂ mediante il miglioramento del processo di circolarità delle risorse naturali ma che diverse strade, se combinate insieme e soprattutto se corredate da un apparato solido di monitoraggio dei dati a testimonianza dei benefici ottenuti, possono concorrere al raggiungimento della Decarbonizzazione dei Distretti Urbani e, a cascata, in ambito urbano e sovra-urbano.

Alla luce degli obiettivi e dei criteri di selezione apportati e sinteticamente esposti nel paragrafo 3.3 del precedente Capitolo, sono stati individuati i 100 Casi Studio significativi a scala globale (4.1) in funzione della presenza o meno dei sei assi tematici portanti di *energy transition*, *bio-climate responsiveness*, *functional mixité and proximity*, *resource circularity and self-sufficiency*, *sustainable mobility*, *urban greening and "green and grey" CO₂ subtraction and storage*. Dopo l'individuazione una prima fase di analisi ha riguardato i dati a disposizione con il fine di poter suddividere i 100 casi studio in base alla presenza, o meno, di strategie mirate a ciascuno degli assi (4.2).

Didascalie alle immagini.
nelle pagine seguenti -

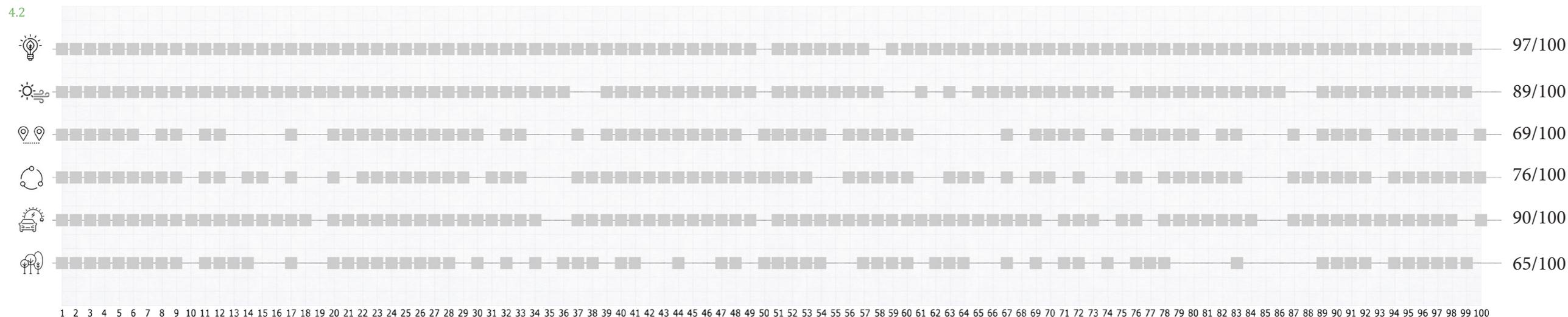
4.1. Individuazione dei 100 Casi Studio significativi a scala globale - rielaborazione dell'elenco dell'autrice, a partire dalla selezione di Casi Studio effettuata per il Report (immagine tratta da Tucci, F., et al., 2021a e rielaborata dall'autrice);

4.2. Matrice di individuazione della presenza di strategie mirate ai 6 assi tematici portanti nei 100 Casi Studio significativi a scala globale

4.1



- 1.Aspem Seestadt_Vienna
- 2.Clicky Batignolles_Parigi
- 3.Vauban_Friburgo
- 4.Eco-Viikki_Helsinki
- 5.BedZed_Londra
- 6.Bo01_Malmo
- 7.Le Albere_Trento
- 8.Hammarby_Stoccolma
- 9.Orestad_Copenaghen
- 10.Helsingborg_(Oceanhamnen)_Malmo
- 11.La Marine Eco-district_Parigi
- 12.District of La Fleuriaye_Nantes
- 13.ATELIER_Amsterdam and Bilbao
- 14.Horizon 2020 (City ExChange)
- 15.Eikenott ecodistrict_Gland
- 16.Atlantech Lagord, La Rochelle
- 17.ECO-Life_Kortrijk
- 18.ECO-Life_Høje-Taastrup
- 19.City-Zen_Amsterdam
- 20.City-Zen_Grenoble
- 21.CITYFiED_Laguna de Duero
- 22.CITYFiED_Lund
- 23.AVE-Ecodistrict_Atlanta
- 24.East Harbour Ecodistrict_Toronto
- 25.Southwest Ecodistrict_WDC
- 26.Nordhavn_Copenaghen
- 27.Am Schlierberg_Friburgo
- 28.La Confluence_Lione
- 29.Ecoquartiere Île-Saint-Denis_Parigi
- 30.Tassafaronga Village_Oakland
- 31.Pajol_Parigi
- 32.Circular Buikslotherham_Amsterdam
- 33.Ecoquartiere Ex Pegna_Firenze
- 34.Lloyd Ecodistrict_Portland
- 35.Ginko_Bordeaux
- 36.Pacific Beach Ecodistrict_Sandiego
- 37.Seaholm Ecodistrict_Austin
- 38.Millvalle Ecodistrict_Pittsburgh
- 39.Smartseille Ecodistrict_Marsiglia
- 40.Zaanstad's Achtersluispolder district
- 41.Ready_Aarhus
- 42.Ready_Vxjo
- 43.Sinfonia_Innsbrusck
- 44.Sinfonia_Bolzano
- 45.Cityfied_Soma
- 46.ZAC Paul Bourget_Parigi
- 47.Villages nature_Bailly Romainvilliers
- 48.Scharnhauser Park_Ostfildern, DE
- 49.Pontaise-Blécherette_Losanna,
- 50.Parc Marianne Eco-Districti_Montpellier
- 51.ECO D_Detroit
- 52.Capitol Ecodistrict_Seattle
- 53.Deietenbach_Friburgo
- 54.Hunziker Areal_Zurich
- 55.Limerick District
- 56.Greenwich Millenium Vilage_Londra
- 57.Stockholm Royal Seaport_Stoccolma
- 58.London Royal Seaport_Londra
- 59.Ecodistrict_Vitoria-Gasteiz
- 60.MAThUP Lighthouse project_Valencia
- 61.MAThUP Lighthouse project_Dresden
- 62.MAThUP Lighthouse project_Antalya
- 63.Ruggedised_Rotterdam
- 64.Ruggedised_Umea
- 65.Sharing City_Lisbona
- 66.SolarCity_Linz
- 67.Vesterbro_Copenaghen
- 68.Kalundborg_Kalundborg
- 69.SunValley Ecodistrict_Denver
- 70.Gare de Rungis_Parigi
- 71.Nieuwe Dokken_Ghent
- 72.Frequel-Fontarabie_Parigi
- 73.Ecoquartiere Cognento_Modena
- 74.Ecoquartiere Prairie-au-Duc_Nantes
- 75.Boucicaut_Parigi
- 76.Darling Quarter_Sydney
- 77.Docks de Saint Ouen_Saint Ouen
- 78.Riesfield_Friburgo
- 79.Kronsberg_Hanover
- 80.Green District Hafen City_Amburgo
- 81.Scharnhauser Park_Ostfildern
- 82.Ecodistretto "SUPE.R.P.!"
- 83.La Duchere Ecoquartier_Parigi
- 84.Französisches Viertel-Südstadt_Tubinger
- 85.Ecoquartiere Bijlmermeer_Amsterdam
- 86.Cloughjordan Eco-village_Cloughjordan
- 87.Ecoquartiere Schwabinger Tor_Monaco
- 88.GWL Terrein_Amsterdam
- 89.Ecoquartiere Ecoparc_Neuchâtel
- 90.Haven-Stad (Port-City)_Amsterdam
- 91.Leidsche Rijn_Utrecht
- 92.Eva-Lanxmeer_Culemborg
- 93.Lliça d'Amunt_Barcellona
- 94.Trinitat Nova_Barcellona
- 95.Vallbona_Barcellona
- 96.Pont d'Issy, Issy-les-Moulineaux
- 97.Oberfeld Ostermundigen, Svizzera
- 98.Mühlen_Tubinga, Germania
- 99.Montévrain Eco-District_France
- 100.Lliça d'Amunt_Barcellona, Spagna



Analizzando i dati emersi, riportati nella matrice in figura 4.2, si evince che i due assi strategici presenti in misura maggiore sono l'asse *energy transition* (1^ riga della matrice) che si trova in 97 su 100 casi scelti e l'asse *sustainable mobility* (5^ riga della matrice) con 90 casi su 100 che riportano strategie mirate all'elettrificazione dei trasporti privati e pubblici e all'incentivazione della mobilità sostenibile: i due assi, infatti, sono strettamente collegati tra loro e sono anche fortemente incentivati a livello globale dal punto di vista economico, perché combinati insieme, come si evince dalle molteplici pubblicazioni in materia, possono accelerare in maniera considerevole il processo di decarbonizzazione, ricoprendo entrambi un ruolo cruciale per il raggiungimento dell'obiettivo della neutralità carbonica.

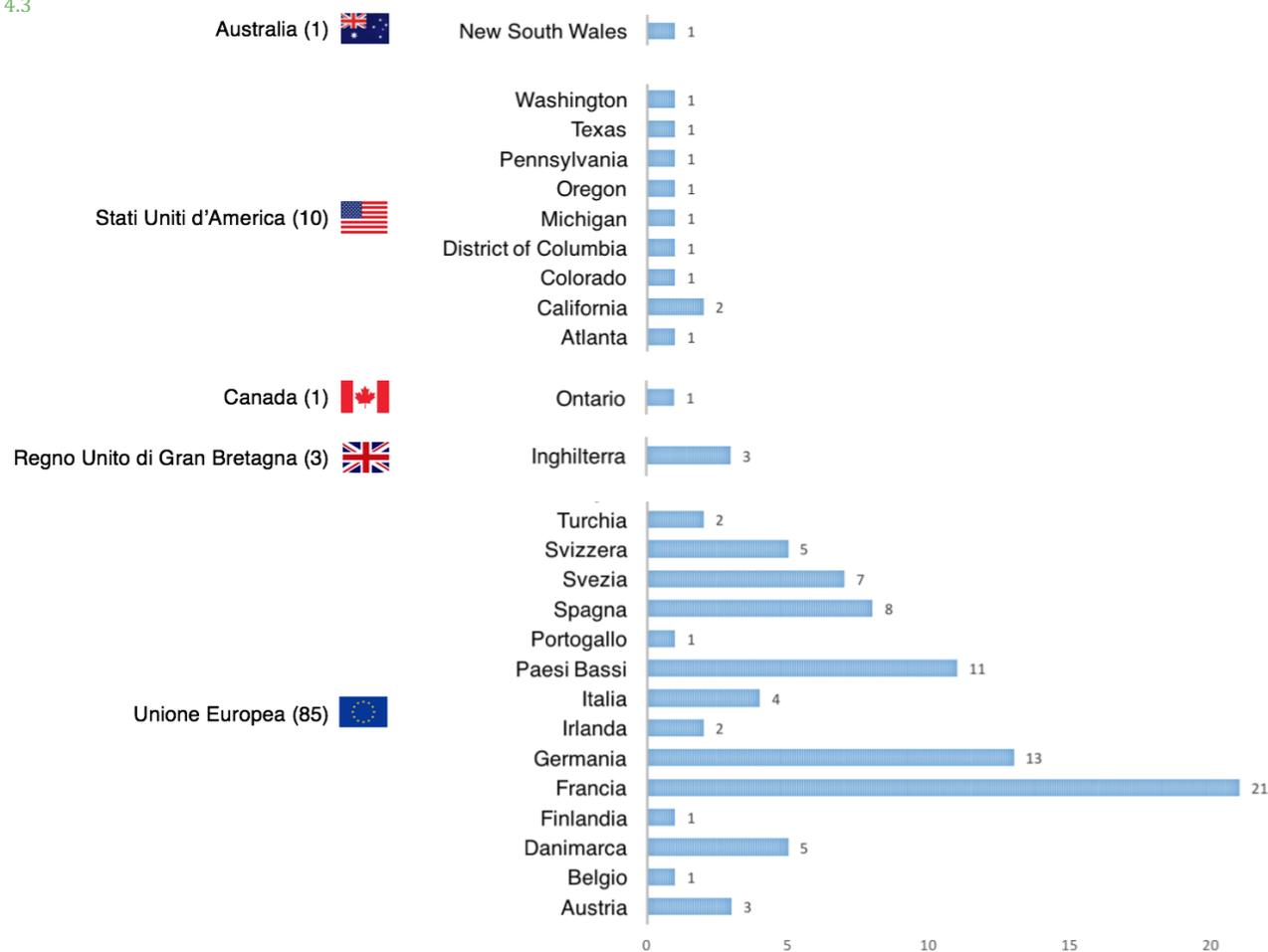
A seguire, in ordine decrescente, il terzo asse presente è l'asse di *bio-climate responsiveness* (2^ riga della matrice), con 89 casi su 100, che evidenzia la presenza di eventuali strategie bioclimatiche declinate, all'interno dei Distretti Urbani, al livello degli spazi aperti e intermedi tra gli edifici, alla scala dell'organismo edilizio nel suo insieme, al livello dell'involucro edilizio (Tucci, F., et al., 2021a): tale asse prende in considerazione tutte quelle strategie che, sebbene si declinino in molteplici soluzioni sperimentali sempre all'avanguardia, affondano le proprie radici in strategie già storicamente consolidate nella progettazione tecnologica ambientale degli edifici e, di conseguenza, all'interno di quartieri e Distretti Urbani; succes-

sivamente, nell'ordine, emerge l'asse *resources circularity and self-sufficiency* (4^ riga della matrice) con 76 casi su 100, e di questi 76 casi, come si vedrà nelle fasi successive di selezione, solo pochi esplicitano strategie mirate in particolar modo alle risorse idriche; a seguire ancora l'asse *functional mix and proximity* (3^ riga della matrice) con 69 casi su 100: questo asse fa riferimento ad un modello evoluto e dinamico di mix funzionale, finalizzato ad innescare il mix sociale e inter-generazionale e ad un'ottimizzazione dell'uso delle risorse materiali (spazi, flussi di risorse materiche) e immateriali (energia) in ambito urbano (Tucci, F., et al., 2021a); e per finire l'asse *urban greening and "green and grey" CO₂ subtraction and storage* (6^ riga della matrice) con 65 casi su 100, a testimonianza di come sia sì un settore di rilievo, degno di assoluta priorità in ambito urbano e fortemente incentivato e supportato dal punto di vista politico ed economico in ambito europeo e globale, ma, allo stesso tempo, questo dato evidenzia quanto sia ancora piuttosto carente dal punto di vista di risultati tangibili rilevati in risposta a strategie concrete attuate (e, auspicabilmente, già in fase di monitoraggio) per la sottrazione, la riduzione e lo stoccaggio di CO₂.

Dopo aver analizzato la presenza dei 6 assi strategici nei 100 casi studio significativi, attraverso la realizzazione e lo studio di sintesi della matrice, è stata condotta una seconda fase esplorativa di analisi dei dati che ha permesso di individuarne parallelamente sia

la loro collocazione geografica in base al Continente e allo Stato di appartenenza (4.3), che lo stato di avanzamento della loro progettazione, dei lavori o la loro epoca di realizzazione (4.4 - grafico di sinistra) e le loro caratteristiche dimensionali (4.4 - grafico di destra).

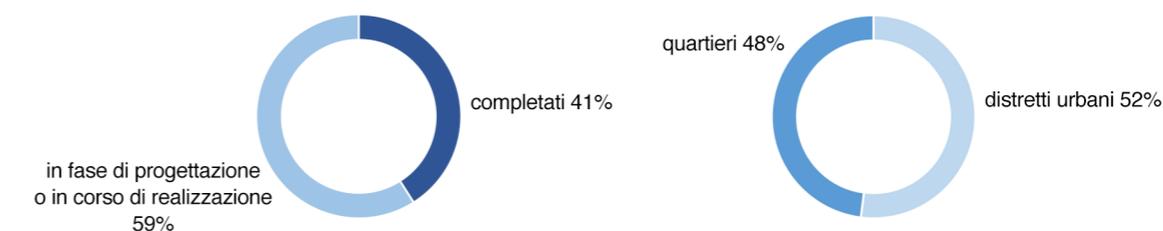
4.3



Dalla figura 4.3 emerge chiaramente la scelta di voler dare più spazio ai casi studio realizzati o, in fase di progettazione o realizzazione, all'interno dell'Unione Europea: questa scelta è motivata, da una parte dall'adesione (o dalla richiesta di adesione) delle città alla

4.4

Missione europea "100 Climate-neutral cities by 2030 – by and for the citizens" e dall'altra dalle affinità legislative oltre che, per determinate aree, climatiche, che legano parte dei paesi europei al contesto nazionale italiano.



Al termine di queste prime fase speditive di analisi che hanno riguardato complessivamente i 100 casi studio, le fasi successive hanno portato ad una circoscrizione dei casi studio fino ai due casi scelti.

La selezione è stata articolata in base a tre ulteriori criteri: il primo ha riguardato la compresenza dei 3 assi tematici di interesse specifico della Ricerca finalizzata alla redazione della presente Tesi di Dottorato, dunque, come precedentemente argomentato, gli assi *energy transition, natural resources circularity e CO₂ subtraction and storage* tra i casi studio che annoverano la risorsa idrica tra le risorse da tenere in considerazione nell'ottica della circolarità delle risorse naturali e della neutralità climatica; il secondo criterio ha valutato quali dei casi esplicitassero strategie o azioni volte ad una gestione sostenibile ed un uso circolare della risorsa idrica, valutandone il contributo concreto dal punto di vista qualitativo; il terzo criterio ha, infine, permesso di individuare, dopo aver analizzato le informazioni e i dati a disposizione, i 2 casi studio che, oltre a contemplare la gestione sostenibile e l'uso consapevole della risorsa idrica da un punto di vista qualitativo, hanno anche esplicitato, l'apporto quantitativo di riduzione delle emissioni di CO₂ a livello distrettuale grazie all'applicazione delle strategie individuate.

Didascalie alle immagini.
4.3. Suddivisione dei 100 casi studio significativi in funzione della loro collocazione geografica;
4.4. Suddivisione dei 100 casi studio significativi in funzione del loro stato di avanzamento dei lavori o la loro epoca di realizzazione (grafico a sinistra) e delle loro caratteristiche dimensionali (grafico a destra)

4.2 Criterio 1: La risorsa idrica e la compresenza degli assi tematici *energy transition*, *natural resources circularity* e *CO₂ subtraction and storage*

Il primo criterio è stato articolato in una fase preselettiva che, prima ancora di verificare la compresenza dei tre assi tematici di interesse della presente Ricerca, ha previsto la selezione dei 100 casi andandone ad eliminare a priori quei casi che non tengono conto, o quantomeno non esplicitano, che ruolo abbia l'acqua tra le loro strategie distrettuali.

Da questa preselezione è emerso che la risorsa idrica è, in linea di massima, dichiarata come oggetto di interesse e di attenzione per la transizione dei contesti urbani verso la neutralità climatica, in quasi tutti i 100 casi studio scelti ma solo 33 di questi 100 esplicitano (e dichiarano e documentano) i propri intenti mirati alla gestione sostenibile, all'uso consapevole e all'efficientamento del ciclo idrico integrato in un'ottica di circolarità della risorsa naturale.

Gli esiti di tale processo di selezione sono riportati nelle figure 4.5 e 4.6.

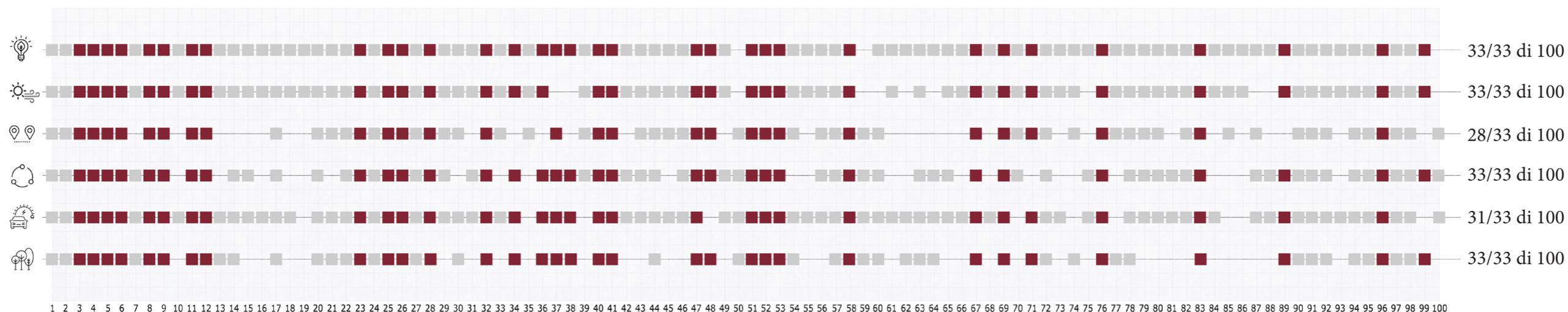
Dalla matrice rappresentata nella figura 4.5 si evidenzia non solo la presenza dei 3 assi tematici *energy transition*, *natural resources circularity* e *CO₂ subtraction and storage* (rispettivamente 1^a - 4^a e 6^a riga della matrice) in tutti e 33 i casi scelti, ma anche la presenza nei 33 casi di un quarto asse: l'asse *bio-climate responsiveness* (2^a riga della matrice), a testimonianza di quanto strategie attive, legati ai sistemi impiantistici, e passive (soluzioni bioclimatiche) debbano lavorare sempre in stretta correlazione tra loro sia per le nuove costruzioni che per arrivare ad ottenere una *Deep Energy-Zero Emission Renovation* del patrimonio edilizio esistente, come da definizione precedentemente data nel precedente Capitolo, al paragrafo 3.1.

Didascalie alle immagini.

4.5. Matrice di individuazione della presenza di strategie mirate ai 3 assi tematici di particolare importanza ai fini della Trattazione, nei 33 (in bordeaux) dei 100 casi studio significativi a scala globale per i propri intenti mirati alla risorsa idrica; nella pagina seguente -

4.6. Individuazione dei 33 dei 100 casi studio significativi (in bordeaux) a scala globale che esplicitano, dichiarano e documentano i propri intenti mirati alla risorsa idrica (immagine tratta da Tucci, F., et al., 2021a e rielaborata dall'autrice)

4.5



4.6



1. Aspern Seestadt_Vienna
2. Clucky Batignolles_Parigi
3. Vauban_Friburgo
4. Eco-Viikki_Helsinki
5. BedZed_Londra
6. Bo01_Malmo
7. Le Albere_Trento
8. Hammarby_Stoccolma
9. Orestad_Copenaghen
10. Helsingborg_(Oceanhamnen)_Malmo
11. La Marine Eco-district_Parigi
12. District of La Fleuriaye_Nantes
13. ATELIER _ Amsterdam and Bilbao
14. Horizon 2020 (City ExChange)
15. Eikenott ecodistrict_Gland
16. Atlantech Lagord, La Rochelle
17. ECO-Life_Kortrijk
18. ECO-Life_Høje-Taastrup
19. City-Zen_Amsterdam
20. City-Zen_Grenoble
21. CiTyFiED_Laguna de Duero
22. CiTyFiED_Lund
23. AVE-Ecodistrict_Atlanta
24. East Harbour Ecodistrict_Toronto
25. Southwest Ecodistrict_WDC
26. Nordhavn_Copenaghen
27. Am Schlierberg_Friburgo
28. La Confluence_Lione
29. Ecoquartiere Île-Saint-Denis_Parigi
30. Tassafaronga Village_Oakland
31. Pajol_Parigi
32. Circular Buikslotherham_Amsterdam
33. Ecoquartiere Ex Pegna_Firenze
34. Llyoid Ecodistrict_Portland
35. Ginko_Bordeaux
36. Pacific Beach Ecodistrict_Sandiego
37. Seaholm Ecodistrict_Austin
38. Millvalle Ecodistrict_Pittsburgh
39. Smartseille Ecodistrict_Marsiglia
40. Zaanstad's Achtersluispolder district
41. Ready_Aarhus
42. Ready_Vxjo
43. Sinfonia_Innsbruck
44. Sinfonia_Bolzano
45. Cityfied_Soma
46. ZAC Paul Bourget_Parigi
47. Villages nature_Bailly Romainvilliers
48. Scharnhauser Park_Ostfildern, DE
49. Pontaise-Blécherette_Losanna,
50. Parc Marianne Eco-Districti_Montpellier
51. ECO D_Detroit
52. Capitòl Ecodistrict_Seattle
53. Deietenbach_Friburgo
54. Hunziker Areal_Zurich
55. Limerick District
56. Greenwich Millenium Vilage_Londra
57. Stockholm Royal Seaport_Stoccolma
58. London Royal Seaport_Londra
59. Ecodistrict_Vitoria-Gasteiz
60. MAtchUP Lighthouse project_Valencia
61. MAtchUP Lighthouse project_Dresden
62. MAtchUP Lighthouse project_Antalya
63. Ruggedised_Rotterdam
64. Ruggedised_Umea
65. Sharing City_Lisbona
66. SolarCity_Linz
67. Vesterbro_Copenaghen
68. Kalundborg_Kalundborg
69. SunValley Ecodistrict_Denver
70. Gare de Rungis_Parigi
71. Nieuwe Dokken_Ghent
72. Frequel-Fontarabie_Parigi
73. Ecoquartiere Cognento_Modena
74. Ecoquartiere Prairie-au-Duc_Nantes
75. Boucicaut_Parigi
76. Darling Quarter_Sydney
77. Docks de Saint Ouen_Saint Ouen
78. Riesfield_Friburgo
79. Kronsberg_Hanover
80. Green District Hafen City_Amburgo
81. Scharnhauser Park_Ostfildern
82. Ecodistretto "SUPE.R.P.!"
83. La Duchere Ecoquartier_Parigi
84. Französisches Viertel-Südstadt_Tubinger
85. Ecoquartiere Bijlmermeer_Amsterdam
86. Cloughjordan Eco-village_Cloughjordan
87. Ecoquartiere Schwabinger Tor_Monaco
88. GWL Terrein_Amsterdam
89. Ecoquartiere Ecoparc_Neuchâtel
90. Haven-Stad (Port-City)_Amsterdam
91. Leidsche Rijn_Utrecht
92. Eva-Lanxmeer_Culemborg
93. Lliça d'Amunt_Barcellona
94. Trinitat Nova_Barcellona
95. Vallbona_Barcellona
96. Pont d'Issy, Issy-les-Moulineaux
97. Oberfeld_Ostermundigen, Svizzera
98. Mühlen_Tubinga, Germania
99. Montévrain Eco-District_France
100. Lliça d'Amunt_Barcellona, Spagna

4.3 Criterio 2: Apporto qualitativo delle risorse idriche nella riduzione delle emissioni di CO₂ a livello distrettuale

Dopo aver ristretto il campo di indagine ai 33 casi studio a scala globale più significativi ai fini della presente Tesi, in funzione della presenza di strategie e azioni degli assi tematici *energy transition, natural resources circularity e CO₂ subtraction and storage* e mirate alle risorse naturali, ed in particolare a quelle idriche, un ulteriore criterio di selezione è stato guidato dal secondo criterio scelto, ovvero la relazione che la corretta gestione sostenibile e l'uso consapevole delle risorse idriche ha in termini di riduzione delle emissioni di CO₂ in ambito urbano.

Andando a fare una valutazione critica delle informazioni a disposizione sui 33 casi studio selezionati, nell'ottica sinergica, ed estremamente attuale, della circolarità delle risorse naturali e della riduzione, sottrazione e stoccaggio delle emissioni di gas climalteranti per il conseguimento dell'obiettivo di neutralità climatica è emerso che solo 7 dei 33 casi tengono conto dell'apporto dato dalla risorsa idrica e dall'efficientamento del ciclo integrato delle acque per la riduzione delle emissioni di CO₂ a scala distrettuale, come si evince dalla figura 4.7 e dall'elenco riportato nella **tabella 4.1**.

Didascalie alle immagini.

4.7. Sintesi delle fasi di individuazione e dei criteri di selezione, a partire dai 100 Casi Studio significativi, che hanno portato alla circoscrizione dei 7 Casi Studio che combinano la gestione sostenibile e l'uso consapevole delle risorse idriche con la riduzione delle emissioni di CO₂ a scala distrettuale;



Località	Dimensioni intervento	Anno inizio lavori	Stato di avanzamento	Risparmio di CO ₂ emessa
District of La Fleuriaye Carquefou, Francia	65 ha 37 ha distretto	1995 2013	2010 in corso	- 6728 TCO ₂ /anno
Hammarby Neighbourhood Stoccolma, Svezia	200 ha quartiere	2004	2016	- 40%
Nordhavn District Copenaghen, Danimarca	25 ha distretto	2018	In corso	n/a
Deietenbach Neighbourhood Friburgo, Germania	107 ha quartiere	2020	In corso	n/a
Zaanstad Achteerluispolder District Zaandam, Paesi Bassi	n/a distretto	-	Lavori non cominciati	n/a
Seaholm Ecodistrict Austin, Texas, USA	33 ha distretto	2012	2017	n/a
AVE-Ecodistrict Atlanta, Georgia, USA	93 ha distretto	2016	In corso	n/a

Nella **tabella 4.1** sono riportati i dati di sintesi dei 7 Casi Studio scelti, in particolare andandone ad evidenziare, oltre ai dati geografici e al periodo di realizzazione e lo stato di avanzamento, anche i dati legati alla dimensione dell'intervento e ad uno dei parametri ambientali di piovosità annua, tra i parametri ambientali legati alla risorsa idrica che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici, la cui importanza e relazione riguardo alla scelta dei casi studio, e del caso pilota, verrà esposta nel Capitolo successivo.

Varie sono state le soluzioni adottate dalle città e dai Distretti Urbani, proprio a dimostrazione della multi-scalarità degli interventi attuabili e dei molteplici benefici raggiungibili grazie agli interventi

Didascalie alle immagini.
tab. 4.1. Individuazione dei 7 Casi Studio che tengono conto dell'apporto delle risorse idriche nella riduzione delle emissioni di CO₂ a livello distrettuale

sulle risorse idriche: l'approccio più diffuso è sicuramente quello della raccolta delle acque meteoriche provenienti dalle coperture degli edifici o da qualsiasi altra superficie che preveda la raccolta delle acque piovane, il filtraggio (l'eventuale trattamento se necessario) e il riutilizzo sia interno che esterno per attività che, tipicamente, non richiedano una qualità delle acque che rispetti i criteri di potabilità; in altri casi le acque nere dei WC e dei rifiuti delle cucine vengono raccolte tramite sistemi di aspirazione, basati sull'aria che raccoglie le acque reflue, e grazie ai quali gli odori nell'aria vengono purificati con un filtro a carboni attivi prima di rientrare in circolo e venire utilizzate nuovamente per gli scarichi, per irrigare giardini o per il lavaggio delle auto; alcuni Distretti Urbani hanno attuato soluzioni ad una scala ancora più ampia, affidandosi alla capacità di trattenere e immagazzinare acqua dei servizi ecosistemici di regolazione forniti dai suoli perché da questi dipendono la mitigazione di inondazioni, la regolazione del clima, l'approvvigionamento idrico, la riserva, lo stoccaggio e la fornitura di nutrienti e il mantenimento della biodiversità.

Tuttavia, nonostante le molteplici soluzioni messe in campo e riscontrate, già da una prima lettura della tabella nella pagina precedente si può notare come solo di 2 dei 7 casi scelti siano reperibili, ed effettivamente noti, dati quantificabili o già quantificati legati ad un risparmio effettivo della CO₂ che viene emessa in atmosfera grazie a strategie diverse, ma tutte concorrenti allo stesso obiettivo e concentrate sulla circolarità delle risorse naturali.

4.4 Criterio 3: Apporto quantitativo delle risorse idriche nella riduzione delle emissioni di CO₂ a livello distrettuale

Alla luce del terzo criterio di selezione applicati ed esposti nei paragrafi precedenti, si è giunti alla circoscrizione di 2 dei 100 casi studio ritenuti significativi ai fini della presente Tesi: il Distretto di La Fleuriaye a Carquefou (Nantes) in Francia, e il Quartiere di Hammarby a Stoccolma, in Svezia.

Didascalie alle immagini.
tab. 4.2. Circoscrizione dei 2 casi studio che forniscono dati quantitativi legati all'apporto delle risorse idriche nella riduzione delle emissioni di CO₂ a livello distrettuale

tabella 4.2	Località	Dimensioni intervento		Anno inizio lavori	Stato di avanzamento	Risparmio di CO ₂ emessa
District of La Fleuriaye	Carquefou, Francia	65 ha	distretto	1995	2010 in corso	- 6728 TCO ₂ /anno
Hammarby Neighbourhood	Stoccolma, Svezia	37 ha	quartiere	2004	2016	- 40%
Nordhavn District	Copenaghen, Danimarca	200 ha	distretto	2018	In corso	n/a
Deietenbach Neighbourhood	Friburgo, Germania	25 ha	quartiere	2020	In corso	n/a
Zaanstad Achtersluispolder District	Zaandam, Paesi Bassi	n/a	distretto	-	Lavori non cominciati	n/a
Seaholm Ecodistrict	Austin, Texas, USA	33 ha	distretto	2012	2017	n/a
AVE-Ecodistrict	Atlanta, Georgia, USA	93 ha	distretto	2016	In corso	n/a

Entrambi i casi studio sono già noti nell'ambito delle tematiche di eco-distretti ed eco-quartieri, in quanto casi pilota di rilievo per dimensioni, storicità e innovazione negli obiettivi delineati e nelle strategie e soluzioni applicate. Lo scopo dell'inserimento di questi 2 casi studio all'interno della Trattazione è quello di evidenziarne, dopo una breve e sintetica descrizione generale, gli aspetti più strettamente legati ai temi specifici dei tre assi strategici *energy transition*, *natural resources circularity* e *CO₂ subtraction and storage* e farne, dunque, emergere il percorso svolto e, nel caso di La Fleuriaye ancora in parte in corso di svolgimento ed evoluzione, con la finalità di diventare rispettivamente Distretto e Quartiere ad emissioni zero, ben prima del 2050.

4.4.1 Caso Studio 1: Distretto di La Fleuriaye a Carquefou in Francia

Carquefou è una città in pieno sviluppo, ricca di fascino, fluidità e dinamismo: un territorio in equilibrio che unisce sviluppo urbano, verde, servizi e convivialità.

Il comune conta oggi oltre 18.000 abitanti. Il suo paesaggio è composto per più del 50% della sua superficie da spazi naturali. Specchi d'acqua, paludi, torbiere, valle di Erdre, prati e boschi di Seilleraye, Maubreuil. Carquefou è un territorio di 4.342 ettari, di cui 2.000 aree agricole e orticole, 800 aree naturali preservate, 200 ettari di spazi verdi comunali e 11.000 alberi di dominio pubblico. A metà degli anni Novanta, La Fleuriaye ha concretizzato l'ambizioso progetto urbanistico di un quartiere sostenibile, esemplare in termini di rispetto per l'ambiente, e che combina, in un contesto verde, alloggi di qualità, servizi, tempo libero, importanti spazi destinati ad attività culturali, centri di formazione e un polo terziario particolarmente dinamico. Fin dalla sua creazione, La Fleuriaye ha beneficiato della sua vicinanza a Nantes e alle strade principali per attrarre un gruppo di imprese e residenti. Questo successo sta ora assumendo una nuova dimensione con il prossimo completamento dell'estensione occidentale.

Questo ampliamento riprende le ambizioni iniziali dell'impatto neutro sull'ambiente, l'integrazione nel paesaggio e la diversità di funzioni, aggiungendo 3 nuove componenti: rispetto della biodiversità, edifici passivi e produzione diffusa di energia fotovoltaica, per un impatto ambientale totalmente neutro. Particolarmente curata è l'integrazione dell'habitat e dei vari centri funzionali nel paesag-

gio. Con lo stesso scopo, la priorità data al traffico lento, alla mobilità sostenibile e ai parcheggi sotterranei o in aree con superficie permeabile vegetale, contribuiscono a limitare l'impatto delle auto sull'ambiente (Loire-Atlantique Développement, 2022).

Il distretto di La Fleuriaye, a Carquefou, si è sviluppato, e si sta sviluppando, in due fasi:

Fase 1.

Il Fleuriaye (lato orientale) è di 65 ettari, costruito tra il 1995 e il 2010 che si compone di:

- 120 aziende del terziario su 55.000 m²;
- 1000 abitazioni;
- un teatro;
- un'università: il University Institute of Technology (IUT);
- una scuola di musica;
- spazi destinati ad attività culturali;

Fase 2.

Il Fleuriaye Ovest di 37 ettari, in costruzione dal 2013, si articola a sua volta in due sotto-fasi e, tra quanto già realizzato e quanto verrà aggiunto entro il termine dei lavori previsto per il 2025, comprenderà (Mairie de Carquefou, 2022):

- una prima sotto-fase con quasi 320 unità abitative, di cui 100 di edilizia popolare, già consegnate, oltre alla realizzazione di un centro ippico e di 10.000 m² di terziario e servizi di varia natura;
- una seconda sotto-fase con alloggi collettivi e alloggi individuali: in totale tra 250 e 300 unità abitative completate nel 2025 e un istituto medico-educativo (EMI).

I 3 macro-obiettivi del Distretto sono:

1. fornire un ambiente di vita e comfort d'uso al fine di garantire la salute degli abitanti. È a questo scopo che tutte le nuove abitazioni della zona sono state costruite seguendo i principi imposti dalla certificazione Passivhaus ampliando così gli obiettivi di sviluppo urbano (ambiente di vita, comfort, salute) all'interno di alloggi di qualità;
2. proporre a La Fleuriaye Ovest una valutazione dell'impatto neu-

Didascalie alle immagini.
nelle pagine seguenti -

4.8. Scheda con dati generali del progetto, dati climatici e immagini del Distretto di La Fleuriaye (immagini tratte da Loire-Atlantique Développement, 2022) e schema progettuale di 140 unità abitative collettive distribuite su 2 blocchi in 4 edifici (immagine tratta da Agencé Magnum, 2017);

4.9. Immagine del Distretto di La Fleuriaye: un quartiere progettato per avere un impatto neutro sull'ambiente (immagine tratta da Loire-Atlantique Développement, 2022)

Distretto di La Fleuriaye, Carquefou, Francia

DATI GENERALI DEL PROGETTO

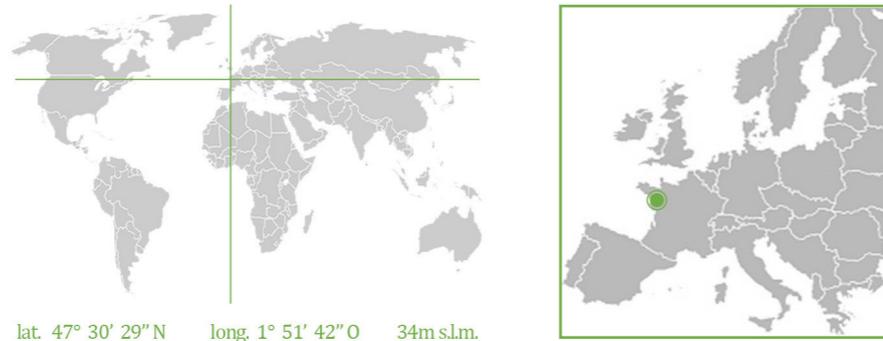
nome del progetto
Distretto di La Fleuriaye, Carquefou

progettisti
Atelier 14 Architecte, PADW Architects, Tectolab e Magnum architectes & urbanistes

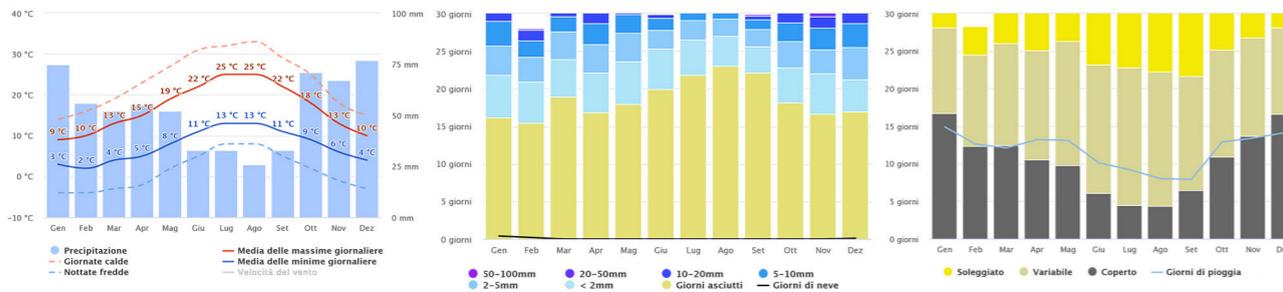
periodo di realizzazione
1 fase: 1995-2013; 2 fase: 2010-in corso

luogo
Carquefou (Nantes), Francia

funzione
Distretto Urbano
a impatto neutro sull'ambiente



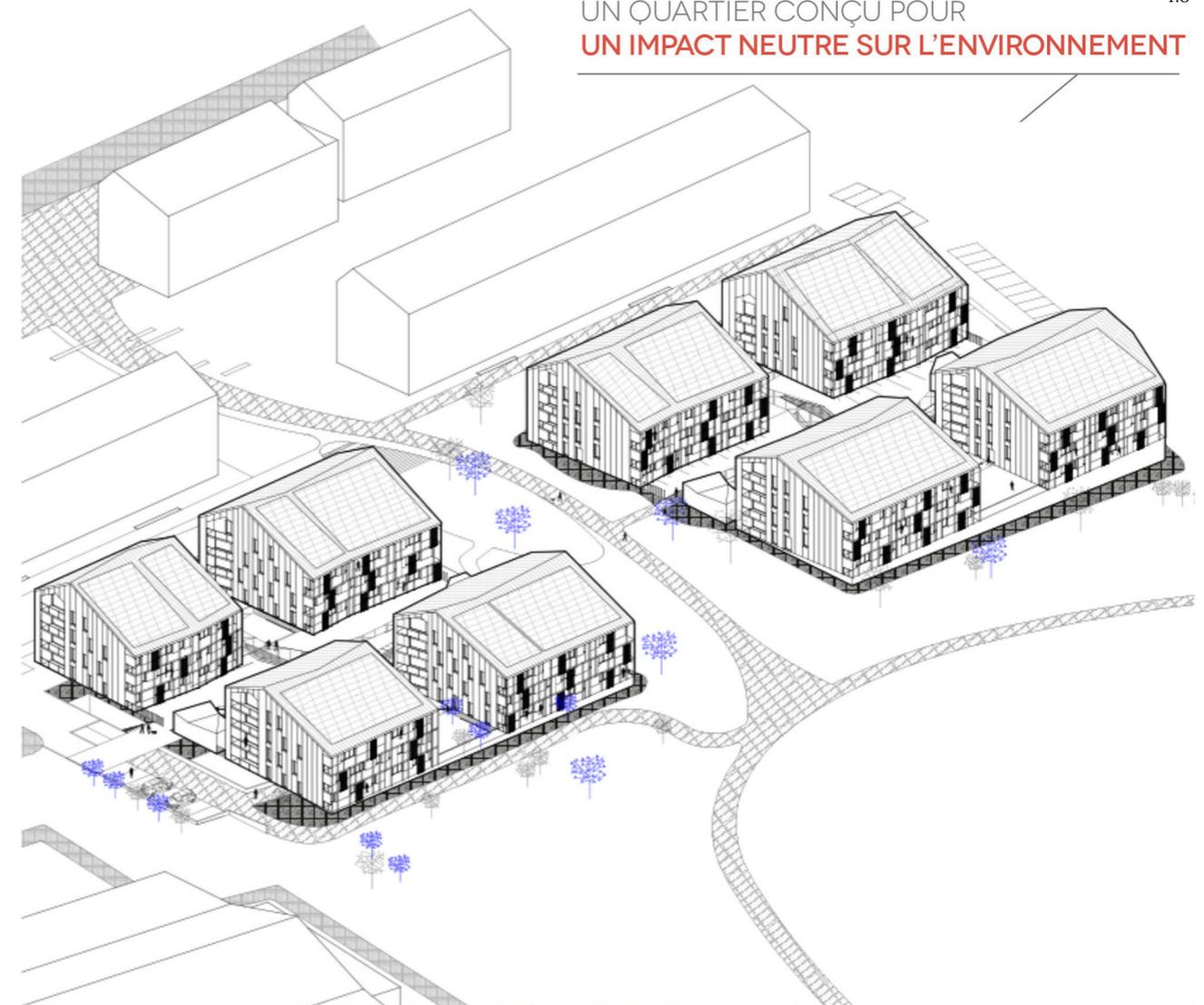
DATI CLIMATICI



IMMAGINI DEL PROGETTO



UN QUARTIER CONÇU POUR
UN IMPACT NEUTRE SUR L'ENVIRONNEMENT



300
LOGEMENTS CERTIFIÉS
PASSIVHAUS

80%
DES BESOINS EN
ÉNERGIE DU QUARTIER
ASSURÉS PAR L'ÉNERGIE
PHOTOVOLTAÏQUE

RESPECT
DE LA
BIODIVERSITÉ



tro nell'ambiente energetico attraverso lavoro specifico e mirato su biodiversità, paesaggio e risorse naturali, di alloggi energeticamente passivi, la produzione di energia rinnovabile pari o superiore ai consumi del quartiere grazie alla generalizzazione del solare fotovoltaico su tutti i tetti esposti a sud: nella parte orientale è in corso di sviluppo anche un obiettivo di controllo del consumo di energia e della produzione di energia rinnovabile come estensione delle azioni avviate su La Fleuriaye Ovest, in particolare con la proiezione futura verso progetti di autoconsumo collettivo. Al completamento di tali progetti il Distretto vanterà un tasso di copertura delle energie rinnovabili superiore al 100% su La Fleuriaye Ovest e circa del 42% sull'intero perimetro del Distretto;

3. l'attuazione di un modello economico trasponibile, limitando l'utilizzo di finanziamenti pubblici (Réseau durable, 2015).

4.4.1.1 L'asse strategico "Energy Transition"

Dati quantitativi:

Fabbisogno elettrico totale dell'area di progetto/anno:

7 300 000,00 kWh

Produzione totale di energia elettrica dell'area di progetto/anno:

3 000 000,00 kWh

La conservazione delle risorse e la limitazione delle emissioni di gas serra sono pienamente integrate nella logica di sviluppo dell'intero distretto di La Fleuriaye. Infatti, la generalizzazione degli edifici passivi positivi sulla Fleuriaye Ovest e le azioni di controllo della domanda energetica e della produzione di energia rinnovabile sulla Fleuriaye Est rispondono pienamente a questi obiettivi.

Gli orientamenti ottimali degli edifici su La Fleuriaye Ovest, uniti all'involucro passivo, consentono di mantenere una temperatura di 20°C nelle abitazioni in inverno senza riscaldamento. Il tutto pur consentendo l'estate, un vero comfort senza surriscaldamento grazie alla buona gestione degli apporti solari e un sistema di ventilazione a doppio flusso, molto efficace per rinfrescare le case mediante la ventilazione notturna. Tutte le abitazioni passive comprendono apparecchiature di qualità al fine di limitare i consumi legati ad usi specifici (come quelli destinati all'automazione, al monitoraggio, al controllo da remoto, elettrodomestici ad alta efficienza, ecc.), che

rappresentano una quota significativa dei consumi abitativi, tanto più che questa elevatissima attenzione alla prestazione e all'efficienza energetica permette di abbattere le altre voci di consumo come il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di acqua calda sanitaria.

Il Quartiere di La Fleuriaye è al centro di un importante processo di gestione energetica che concilia il controllo dei costi e la qualità architettonica. La Fleuriaye Ovest punta al 100% di energia rinnovabile. Per fare questo si tratta prima di tutto di ridurre i consumi generali del quartiere, e compensare la totalità dei consumi con un insieme coerente di produzione di energie rinnovabili. Su tutta la programmazione distrettuale si è deciso di generalizzare lo standard passivo conciliando la minimizzazione dei consumi, con la massimizzazione del comfort termico estivo ed invernale e la reale qualità dell'aria. Il progetto nella sua parte occidentale mira ad un bilancio energetico neutro con un contributo di energia rinnovabile equivalente al consumo universale. Per fare questo sono richiesti più di 2,3 MWp di solare termico che saranno installati sugli edifici del Fleuriaye Ovest.

Entro la fine del 2018 sono stati collegati circa 1,2 MWp al Fleuriaye Ovest, che rappresentano un tasso di copertura di energia rinnovabile superiore al 100% per un tasso di autoconsumo prossimo al 55%. Molti progetti su singole case a La Fleuriaye Ovest prevedono anche l'utilizzo della biomassa attraverso la stufa a legna che permette lo sviluppo di un'altra forma di energia rinnovabile e contribuisce al raggiungimento del nostro obiettivo 100% di energia rinnovabile.

Per quanto riguarda La Fleuriaye Est, sono in fase di sviluppo 2 progetti di autoconsumo che coinvolgono partner privati e pubblici per un totale di 200 kWp di capacità di produzione solare fotovoltaica per autoconsumo collettivo. A queste operazioni si associa una ricerca di minori consumi energetici con prime derivazioni che possono portare ad una riduzione dei consumi mediamente fino al 30%. Per quanto riguarda gli edifici di La Fleuriaye Ovest, l'intero distretto si rivolge all'etichetta Passivhaus, tutti gli edifici produrranno tanta energia rinnovabile di quanta ne consumeranno. Oggi la consegna delle prime 320 unità abitative ha posizionato l'area come il più grande distretto Passivhaus a energia positiva in Francia.

Per ottenere questo risultato, ogni attore della filiera edilizia si è assunto parallelamente la responsabilità di limitare il costo di costruzione e il costo di gestione degli alloggi, definendo i lotti per

ottenere l'ottimizzazione della cattura solare gratuita dal loro orientamento e una forma predefinita di tetto dalle specifiche del trasferimento del terreno al blocco e apportando un approccio alla rete intelligente che incorpora una gestione *smart* dell'energia, della produzione di energia rinnovabile e l'adeguatezza tra produzione e consumo (Loire-Atlantique Développement, 2022; Nantes Métropole, 2017; Bardon, L., 2018).

4.4.1.2 L'asse strategico "Resources circularity and self-sufficiency"

Oltre che un'ottima gestione dei rifiuti organici attraverso operazioni di raccolta e macinazione rifiuti vegetali organizzata a 500 m dal perimetro e diversi punti di riciclo volontario posti in prossimità delle residenze, particolare attenzione è riservata alla gestione della risorsa idrica nel comprensorio.

Dal punto di vista naturalistico, sul territorio non ci sono fiumi sul perimetro del proprio sviluppo ma è presente uno stagno ricalibrato.

Con la finalità di limitare gli impatti ambientali del progetto ed apportare una gestione sostenibile ed efficiente della risorsa idrica all'interno del perimetro del Distretto (Bardon, L., 2018).

Alla scala paesaggistica, sono previsti:

- lavori di sterro pesanti solo in periodi secchi, per non impattare con periodi di forti piogge;
- per il sistema di filtrazione dell'acqua e depurazione dell'acqua, le prese principali saranno dotate di barriere del tipo "filtro a paglia";
- per il sistema di stoccaggio sistematico dell'acqua piovana che scorre su tutta l'area sono previsti bacini di ritenzione con scarichi fissi in ambiente naturale di 3 l/s/ha e decantazione dei corpi sospesi;
- è prevista inoltre l'applicazione di tecniche alternative che aiuteranno a limitare l'impermeabilizzazione del suolo, ridurre la velocità e migliorare la qualità dell'acqua in arrivo ai bacini attraverso sistemi di depurazione e drenaggio naturali con tetti verdi, parcheggi drenanti, valli/fossi di raccolta;
- realizzazione di *raingardens* e sistemi di stoccaggio delle acque provenienti da coperture, parcheggi e *bioswales*;
- per quanto riguarda le zone umide, il progetto prevede il ripristino dello stagno di Renaudières. Lo scopo di questo restauro è quello di

ripristinare il suo carattere iniziale e molto più naturale.

Alla scala degli edifici, sono previsti:

- sistemi di raccolta e recupero delle acque meteoriche;
- soluzioni tecnologiche volte a ridurre il volume del consumo idrico come l'installazione di limitatori di flusso e di pressione, frangigetto/frangi-flusso, vari tipi di rubinetti ed interruttori e accorgimenti di risparmio con e senza sostituzione della cassetta WC.

4.4.1.3 L'asse strategico "CO₂ subtraction and storage"

La Fleuriaye è caratterizzato dalla realizzazione di un parco di circa 80 ettari, l'introduzione di oltre 11 mila specie vegetazionali e di pavimentazioni fotocatalitiche che contribuiscono, congiuntamente alla adozione di strategie di *green-blue infrastructures*, a un incremento di biodiversità e sottrazione e stoccaggio di CO₂ dall'atmosfera (Tucci, F., et al., 2021c).

Impatto quantitativo in termini di CO₂ = 6728 tCO₂

Il metodo utilizzato per calcolare l'impatto della CO₂ (Bardon, L., 2018) prevede la quantificazione della CO₂ emessa in atmosfera a partire dalla produzione di energia all'interno del Distretto:

Premessa del calcolo – dati legati al contesto francese:

In Francia 1 kWh = 81 g CO₂ (ADEME)

In Francia 1 kWh PV = 50 g CO₂ (ADEME) (Agence de la transition écologique e République française, 2011a; 2011b)

Generazione del Distretto: 2,5 MWp, producibili 1150 kWh/kWp

Produzione annua: 2 875 000 kWh

Emissione CO₂ PV = 2,875 x 50 = 143,75 TCO₂/anno

Emissione CO₂ Equivalente rete = 2,875 x 81 = 233 TCO₂/anno

Zona di emissione: 143,75 - 233 = -89,25 TCO₂/anno

Consumo RT2012 = Consumo passivo x 1,4 minimo (feedback dal monitoraggio energetico sull'edilizia passiva e in particolare sulla prima scuola passiva nei Paesi della Loira)

Consumo passivo = 120 kWh/m²*(anno) tutti gli usi combinati.

Nuovo distretto passivo = 55.000 m² SP = 6,6 GWhep/anno. Equivalente RT2012 = 6,6 x 1,4 = 9,24 GWhep/anno

Inoltre c'è una valutazione sulla quantità di CO₂ risparmiata annualmente grazie alle passività = 2,64 GWhep = circa 1 GWhe = circa 81 tCO₂ all'anno

La somma delle strategie volte all'efficientamento energetico e alle soluzioni passive adottate a livello distrettuale ha portato alla determinazione di:

TOTALE CO₂ Risparmiato all'anno grazie alla produzione solare + le strategie attuate alla scala dell'edificio pari a circa 170t.

Risparmio nel corso della vita dell'edificio: (30 anni di pannelli solari e 50 anni di costruzione) = 81 * 50 + 89,25 * 30 = 6728 tCO₂

4.4.2 Caso Studio 2: Quartiere di Hammarby a Stoccolma in Svezia

Hammarby Sjöstad è un eco-quartiere urbano nella parte meridionale del centro di Stoccolma. 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". Ha un profilo ambientale esplicito ed è rinomato a livello internazionale per il suo modello di sviluppo urbano sostenibile, l'impegno per edifici ad alta efficienza energetica, l'accesso ai trasporti pubblici e sistemi circolari di gestione dei rifiuti e acque (Svane, Ö., 2008).

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, previsto nel 2017, 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. In quegli anni sorsero industrie manifatturiere di grandi dimensioni e, in seguito, una serie di attività artigianali ospitate in capannoni di lamiera. 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. Va sottolineato come i siti in stato di abbandono nella zona di Hammarby fossero poco numerosi, ma l'area fu considerata attraente per l'uso abitativo anche grazie alla sua prossimità con il centro della città. Nell'intento di perseguire gli ambiziosi obiettivi di sostenibilità dell'intervento urbano e di annullamento degli impatti ambientali è stato creato un apposito modello ecologista a circuito chiuso, l'"Hammarby Model" (riportato in fig. 4.10), che verrà approfondito nel paragrafo 4.4.2.2.

Il nome del quartiere deriva dal fatto che Hammarby è situato sulle rive del lago che bagna la capitale svedese e l'acqua rappresenta la sua principale fonte energetica. Oltre all'utilizzo di biomasse e biogas, dei pannelli solari posti sugli edifici del quartiere, è la centrale idroelettrica che contribuisce a garantire agli oltre ottomila appartamenti del quartiere una copertura quasi totale del fabbisogno energetico.

L'acqua e il verde sono stati due degli elementi generatori del progetto, influenzando alcune delle scelte progettuali che riguardano gli edifici e lo spazio aperto. Per massimizzare l'affaccio degli edifici sull'acqua del lago Hammarby Sjö nello studio distributivo dell'area è stato preferito un tessuto costituito per lo più da isolati a corte aperta che consentono la continuità dello spazio urbano e del sistema del verde.

Tutto ciò ne fa una delle più interessanti realizzazioni in Europa di un quartiere ecosostenibile, dove soluzioni urbanistiche ed architettoniche di pregio sono state coniugate con le più moderne tecnologie, con l'obiettivo di ridurre drasticamente l'impatto ambientale e tagliare del 50% le emissioni di gas serra (Gaffney, A., et al., 2007; European Regional Development Fund, et al., 2019).

4.4.2.1 L'asse strategico "Energy Transition"

Dati quantitativi:

Consumo abitazioni: 72 kWh/mq/ab⁵ per riscaldamento;

Fonte di energia: solare, eolico, idrico e trattamento rifiuti;

Riscaldamento edifici: teleriscaldamento (47% rifiuti, 34% acque, 16% olio biologico);

5. Sono costantemente in corso monitoraggi sui consumi energetici degli edifici quindi il dato è indicativo e variabile.

Didascalie alle immagini.
nelle pagine seguenti -

4.10. Scheda con dati generali del progetto, dati climatici e immagini del Quartiere di Hammarby a Stoccolma (immagini tratte da <https://www.hammarbysjostad.se/photos/>) e schema dell'Hammarby Model di Hammarby Sjöstad: sistema integrato di energia, rifiuti e acqua (immagine tratta da Urban Green-blue grids for resilient cities, 2018);
4.11. Immagine del Quartiere di Hammarby Sjöstad (immagine tratta da <https://envac.no/prosjekt/hammarby-sjostad/>)

Hammarby Sjöstad, Stoccolma, Svezia

DATI GENERALI DEL PROGETTO

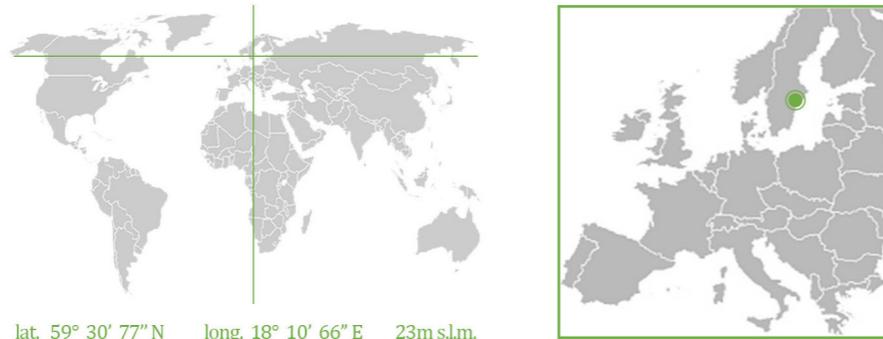
nome del progetto
Quartiere di Hammarby Sjöstad

progettisti
Strategic master plan led by architect Jan Inghe-Hagstrom; over 30 different architects included: White Architects, Nyréns Architect Firm, and Erséus

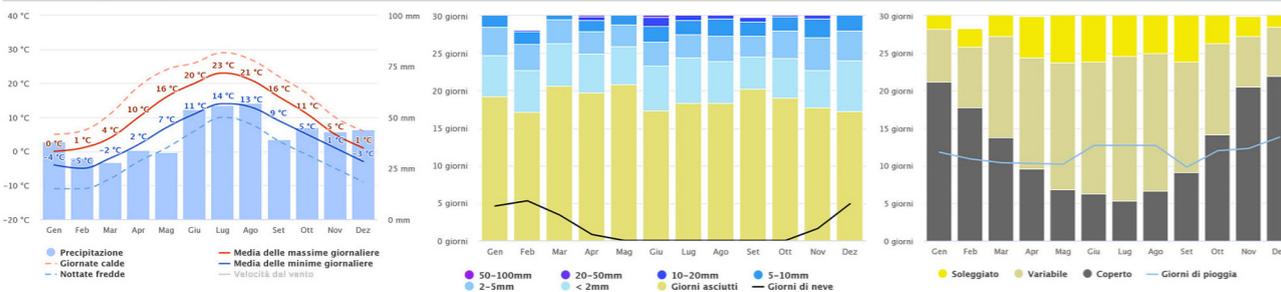
periodo di realizzazione
2004-2016

luogo
Hammarby Sjöstad, Stoccolma, Svezia

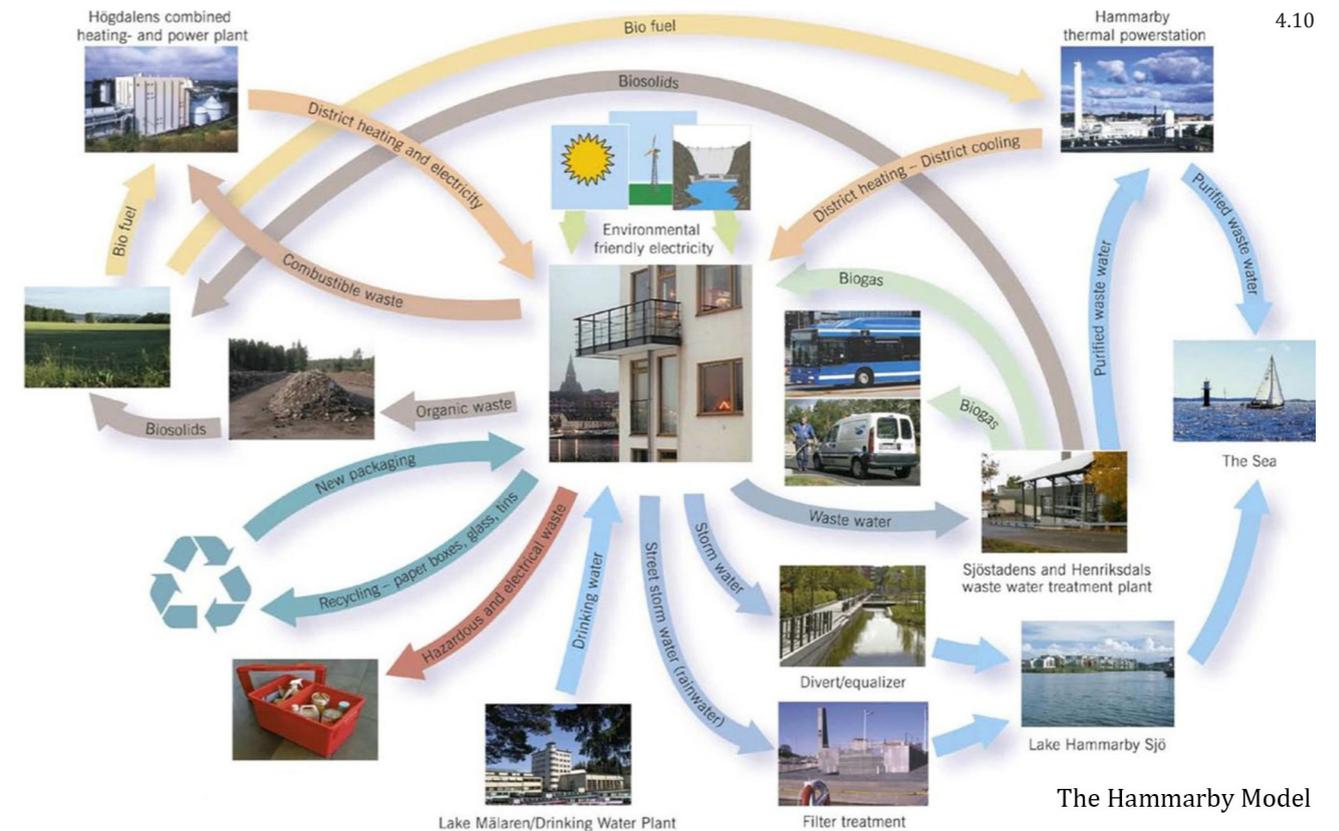
funzione
ex area industriale e portuale dismessa convertita in Eco Quartiere



DATI CLIMATICI



IMMAGINI DEL PROGETTO



IMMAGINI DEL PROGETTO



The Hammarby Model



4.11

La maggior parte dell'energia elettrica è prodotta dai pannelli solari presenti sui tetti delle abitazioni e dalla centrale idroelettrica. Le abitazioni ad Hammarby Sjöstad raggiungono medie di fabbisogno energetico di 72 kWh/m²a, di cui il 47% deriva dai rifiuti domestici. La principale fonte di riscaldamento ad Hammarby Sjöstad è il teleriscaldamento. Il 34% di questo calore proviene da acque reflue depurate, il 47% da rifiuti domestici combustibili e il 16% da biocarburanti. Quando il calore è stato estratto dalle acque reflue calde e depurate, l'acqua fredda rimanente può essere utilizzata per il teleraffrescamento: viene utilizzato, ad esempio, nelle celle frigorifere dei negozi di alimentari e anche negli edifici per uffici in sostituzione dei sistemi di condizionamento dell'aria ad alto consumo energetico.

Hammarby Sjöstad sta sperimentando diverse soluzioni per l'approvvigionamento energetico: all'interno del quartiere è prodotto il 50% dell'energia utilizzata, generata a partire dalle acque di scarico e grazie agli impianti solari, termici e fotovoltaici.

Per raggiungere questo risultato gli scarichi fognari vengono convogliati in un impianto di produzione di gas, che viene poi utilizzato sia per produrre energia elettrica che per i trasporti pubblici.

Particolarmente interessante il fatto che viene recuperato anche il calore contenuto nelle acque reflue trattate. Sono stati installati 390 metri quadri di pannelli solari termici, che consentono di soddisfare metà del fabbisogno di calore per le esigenze di acqua calda di un intero isolato (*Viken block*). Presso il centro informazione ambientale dell'area (*Glashuset*) è stata installata una cella a combustibile. La cella a combustibile genera elettricità e calore grazie a un impianto di cogenerazione che fornisce calore e energia elettrica distribuiti in tutto il quartiere. Circa 900 appartamenti ad Hammarby Sjöstad ora dispongono di cucine a biogas. Il biogas proviene dagli stessi residenti. Si forma quando i fanghi del trattamento delle acque reflue vengono depositati. Sorprendentemente, la quantità di biogas "prodotta" dalla famiglia media è vicina a quella che usa per cucinare. Sostituendo le cucine elettriche con quelle alimentate a biogas, il consumo di energia elettrica è stato ridotto del 20% negli edifici in questione (Urban Green-blue grids for resilient cities, 2018; Stockholms stad, et al., 2007). Gli edifici di Hammarby Sjöstad sono classificati secondo lo *Sweden Green Council* (SGBC) e sono progettati secondo gli standard delle certificazioni *Miljöbyggnad* (*Environmental Building*), *Green Building*, BREEAM e LEED (China Development Bank Capital's Green, et al., 2015).

4.4.2.2 L'asse strategico "Resources circularity and self-sufficiency"

Gestione dei rifiuti: differenziata, organico in biogas e concime, incenerimento del residuo non riciclabile;

Gestione delle acque: consumo idrico pari a 100 l/g/ab (-50% rispetto al fabbisogno svedese);

Impiego di materiali: materiali a basso impatto ambientale: vetro, legno, acciaio, pietra e prodotti eco-certificati e che non siano tossici; è vietato l'uso di metalli pesanti ed oli sulle facciate e sui tetti anche per evitare che l'acqua piovana venga contaminata.

Le zone verdi di proprietà privata sono collegate alle aree verdi pubbliche, a percorsi ciclabili e pedonali. Il quartiere è strutturato come una città immersa nel verde nella quale la parte di edificato è armonizzata con il lago, presente a nord del quartiere e i boschi dell'entroterra a sud.

Sono diverse le strategie adottate per mantenere intatta la continuità biologica: le zone umide ripariali come habitat per la flora e la fauna autoctona vengono recuperate e preservate; le aree contaminate da attività industriali sono sottoposte a bonifica; l'acqua del lago è depurata con sistemi naturali; è presente una rete di corridoi verdi e canali per la raccolta delle acque meteoriche che attraversa gli spazi pubblici e privati del quartiere, collegando le aree boschive all'ambiente umido del lago; l'uso di fertilizzanti azotati per la manutenzione delle aree verdi è fortemente limitato e si utilizzano compost derivanti dalla frazione organica dei rifiuti domestici; è stato creato un grande parco naturalistico sulla penisola di Sickla Udde.

Nell'intento di perseguire gli ambiziosi obiettivi di sostenibilità dell'intervento urbano e di annullamento degli impatti ambientali è stato creato il modello ecologico a circuito chiuso sopra citato: l'"*Hammarby Model*" (riportato in fig. 4.10). Il modello considera l'insediamento come una sorta di ecosistema in cui le varie componenti di scarto sono inserite in un ciclo virtuoso che fa sì che nulla o quasi vada perduto, e anzi sia riutilizzato per il sostentamento del quartiere.

Dal punto di vista della riduzione dei consumi idrici uno degli obiettivi ambientali di Hammarby Sjöstad è la riduzione del 50% del consumo d'acqua. A Stoccolma il consumo è di 200 litri d'acqua pro

capite al giorno: Mentre nell'eco-quartiere l'obiettivo posto è stato di scendere a 100 litri.

Attualmente, grazie alle soluzioni tecnologiche già introdotte, il consumo è intorno ai 150 litri con l'intento di ridurre ancora.

Un altro obiettivo è quello di rendere più pulite le acque di scarico: grazie al trattamento delle acque reflue vengono dispersi meno contaminanti nell'arcipelago di Stoccolma e i fanghi residui possono venire impiegati nei terreni agricoli. Il livello di sostanze pericolose è stato ridotto del 50% e il 95% del fosforo viene separato e riciclato per uso agricolo.

Di particolare interesse è un impianto pilota per testare l'efficacia di nuove tecnologie volte a trattare le acque nere provenienti dall'equivalente di 600 persone.

In primo luogo si è provveduto a tenere separate le acque di origine domestica da quelle di origine industriale, al fine di ridurre i contaminanti chimici, e da quella piovana.

Le acque di scarico possono così essere trattate in un impianto specifico che consente di estrarre biogas per riscaldamento e locomozione.

Anche l'acqua piovana viene gestita in maniera differenziata ed innovativa: gli edifici, come già anticipato a proposito dell'impiego dei materiali, sono stati realizzati con materiali a basso impatto ambientale come vetro, legno, acciaio, pietra e prodotti eco-certificati e non tossici e l'uso di metalli pesanti e oli su tetti e facciate è stato vietato per scongiurare la contaminazione dell'acqua piovana. Quest'ultima, infatti, viene convogliata nei canali del quartiere attraverso un sistema di cascate, mentre quella delle strade viene lasciata decantare in vasche al fine di depositare i contaminanti prima di essere riversata nel lago.

Le acque in uscita dagli edifici vengono inviate a una apposita centrale di trattamento, da cui vengono estratte tre componenti:

- biogas riutilizzabile nelle cucine e per i veicoli destinati al trasporto locale;
- componenti organici utilizzabili per la fertilizzazione dei terreni e per la produzione di biogas da inviare alla centrale di produzione di energia termica ed elettrica;
- acqua pulita riscaldata, reimmessa poi nel ciclo degli impianti di teleriscaldamento. La raccolta dei rifiuti solidi urbani è organizzata livello di zona, di isolato, e di edificio a seconda delle tipologie di

rifiuto.

Dal punto di vista della gestione dei rifiuti, la filosofia che sta alla base del trattamento di quelli domestici ad Hammarby Sjöstad è quella di considerarli una risorsa da utilizzare e una opportunità per risparmiare risorse naturali.

Nel quartiere i rifiuti vengono trattati a tre diversi livelli: di edificio, di isolato e di quartiere.

Una rete di tubazioni pneumatiche interrate, poste nei sotterranei dei singoli edifici, collegano le corti degli edifici al centro di raccolta differenziata centralizzata all'interno del quartiere. La differenziazione dei rifiuti all'origine permette che la parte riutilizzabile di essi venga immediatamente inviata a impianti di riciclaggio (vetro, metallo, carta) senza l'attraversamento dell'area da parte dei camion speciali. L'inceneritore riceve la porzione combustibile e non riciclabile dei rifiuti e produce energia termica ed elettrica.

I rifiuti organici sono destinati al compostaggio per essere utilizzati come fertilizzanti biologici per coltivazioni non edibili. Da queste si produce parte del biogas che alimenta la centrale termica per il teleriscaldamento. Hammarby Sjöstad utilizza quindi un sistema di riciclo a "ciclo chiuso" nel quale gli abitanti contribuiscono attivamente per la metà al sistema energetico producendo rifiuti, mentre il resto si ottiene da fonti pulite.

A livello di isolato vengono raccolti rifiuti quali grandi imballaggi, vecchi elettrodomestici, apparecchiature elettriche ed elettroniche. I rifiuti pericolosi quali vernici, smalti, solventi, batterie ed altri prodotti chimici devono essere portati in uno specifico punto di raccolta nell'isola ecologica del quartiere (Stockholms stad, et al., 2007; China Development Bank Capital's Green, et al., 2015; Pandis Iverot, S., et al., 2011).

4.4.2.3 L'asse strategico "CO₂ subtraction and storage"

Un percorso per raggiungere l'obiettivo di dimezzare le emissioni basate sui consumi ad Hammarby Sjöstad viene presentato nella figura 4.12, inserita nella pagina seguente.

Lo scenario proposto riduce le emissioni basate sui consumi da 7,7 a 3,85 tonnellate di CO₂eq per persona all'anno⁶. Le interrelazioni proposte in questo studio (Olson, P., et al., 2021) si basano tra cinque categorie: trasporto via terra, cibo, settore residenziale, aviazio-

6. Un punto debole dei dati esposti nella figura 4.12 (nella pagina seguente) è l'incertezza nelle emissioni di riferimento: in Svezia non esistono ancora statistiche ufficiali sulle emissioni basate sui consumi regionali o locali, tuttavia la stima di base mostrata è stata effettuata nel modo più accurato possibile nello studio (Olson, P., et al., 2021)

ne e altri consumi (4.12).

Il risultato porta al raggiungimento dell'obiettivo locale della *Carbon Law* di dimezzare le emissioni tra il 2020 e il 2030. Il trasporto via terra deve affrontare il ritmo di mitigazione più elevato con una riduzione delle emissioni di quasi il 90% mentre il cibo richiede il dimezzamento delle emissioni basate sui consumi e il fabbisogno abitativo di circa l'80%. In particolare, tra le cinque categorie presentate, quella che viene approfondita ai fini della presente trattazione è quella legata al settore residenziale che per il dimezzamento delle emissioni deve fare fronte ad una riduzione dei consumi di circa l'80%.

Nel 2020, la domanda di energia ad Hammarby Sjöstad era superiore a quanto originariamente previsto e, pur avendo lavorato duramente, già dagli anni 2010 per ridurre la domanda energetica degli edifici, ma entro il 2020, l'intreccio di nuove tecnologie, modelli di business e collaborazione orientata agli obiettivi ha consentito una massiccia trasformazione energetica.

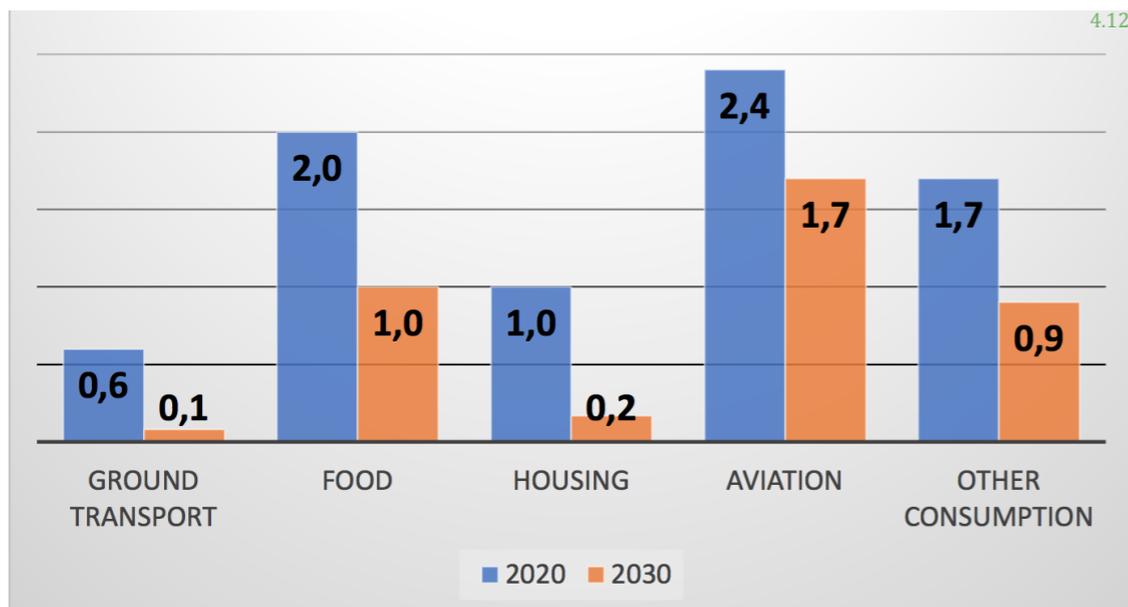


Figure 10. Hammarby Sjöstad's Carbon Law transition. From 7,7 to 3,85 tons per person and year between 2020 and 2030 (ton CO₂e/person).

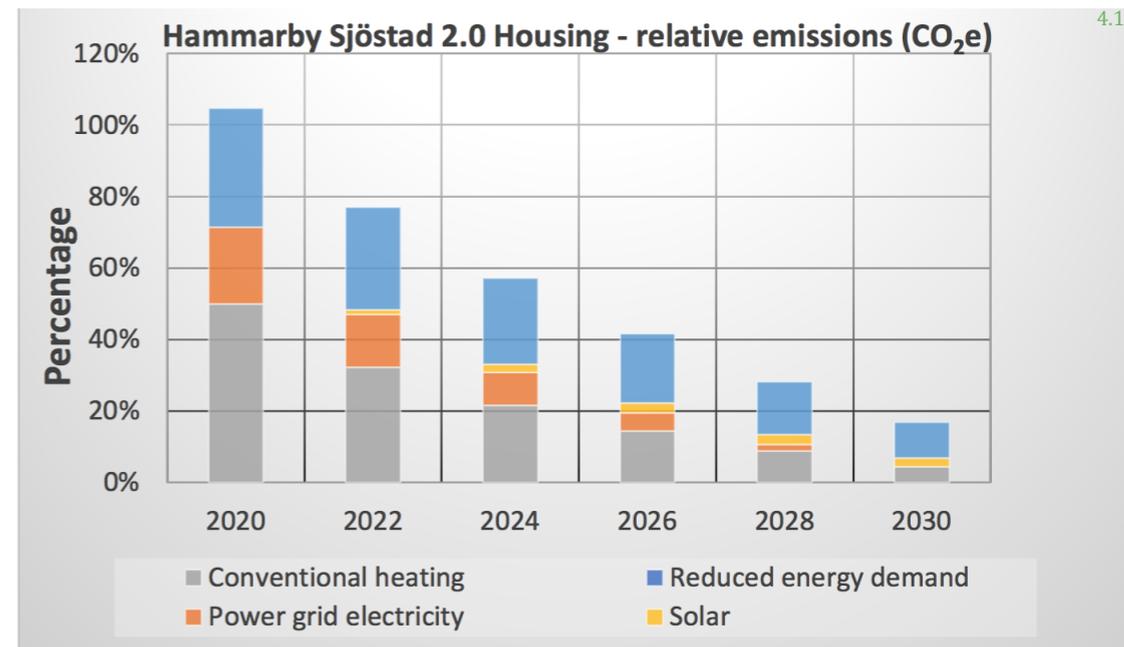


Figure 17. The Hammarby Sjöstad 2.0 scenario for Housing. Relative emission split between Nordic electric mix, solar, conventional heat demand and reduced heat demand (total CO₂e per person).

La domanda di riscaldamento in percentuale degli edifici si prevede che sarà ridotta del 50% già nel 2025 (4.13). Questo grazie al mix energetico che deriva prevalentemente da fonti energetiche interamente rinnovabili (rifiuti, acqua, e olii biologici) e alle soluzioni tecnologiche installate negli edifici (nuove pompe di calore, sistemi di ventilazione ed energetici ottimizzati, soluzioni a catena volte all'accumulo di energia per una distribuzione più *smart*).

Le cooperative edilizie e alcuni altri proprietari di Hammarby Sjöstad hanno lavorato insieme e, in collaborazione hanno procurato ed esplorato nuove soluzioni e tecnologie che li hanno avvicinati all'obiettivo climatico locale.

L'atteggiamento nei confronti della transizione era che tutti dovevano fare tutto il possibile ogni volta che si presentava un'opportunità, nell'ottica di una economia sempre più volta verso la circolarità. Tutti i modelli realizzati sono costantemente monitorati dai ricercatori e alla luce dei calcoli di previsione climatica prevalente, e poiché i risultati ottenuti fino ad ora riscontrano una buona riuscita

Didascalie alle immagini.
4.12. Hammarby Sjöstad: la previsione per il raggiungimento dell'obiettivo locale della Carbon Law di dimezzare le emissioni tra il 2020 e il 2030 (grafico tratto da Olson, P., et al., 2021);

4.13. Hammarby Sjöstad: Emissioni relative suddivise tra mix elettrico, solare, domanda di calore convenzionale e domanda di calore ridotta (CO₂eq totale per persona) (grafico tratto da Olson, P., et al., 2021)

delle soluzioni attuate, le emissioni basate sui consumi delle abitazioni risultano effettivamente in via di diminuzione verso l'obiettivo dell'83% (Olson, P., et al., 2021).

Alla luce dei dati sopra esposti, dal punto di vista dell'edilizia residenziale l'approvvigionamento elettrico deve passare dal 100% di alimentazione elettrica convenzionale con mix elettrico, al 100% di energia solare locale, e già questa trasformazione porta ad una riduzione lineare del 10% annuo.

Inoltre la domanda di energia in tutte le abitazioni deve essere dimezzata prima del 2025 seguendo il ritmo di riduzione del 25, 40, 50, 60 e 70% rispettivamente durante il 2022, 2024, 2026, 2028 e 2030. Parallelamente lo sviluppo e l'innovazione tecnologica si stanno dimostrando molto alti, al 70%, questo grazie ai cambiamenti volti all'energia rinnovabile nel teleriscaldamento e dal miglioramento dell'efficienza delle celle solari.

4.5 Confronto e considerazioni sulle soluzioni emerse dall'approfondimento dei Casi Studio

Al di là delle oggettive differenze dal punto di vista dimensionale, il distretto di La Fleuriaye a Carquefou e l'eco-quartiere Hammarby Sjöstad a Stoccolma, evidenziano due approcci per il raggiungimento dell'obiettivo della neutralità climatica concettualmente diversi tra loro.

Nel distretto di La Fleuriaye sono delineate delle strategie precise e puntuali che portano all'efficientamento energetico degli edifici, all'efficientamento del ciclo integrato delle acque e ad un attento piano di gestione dei rifiuti: strategie che sono, tuttavia, sistemi disgiunti tra loro, che viaggiano su strade parallele, senza lavorare effettivamente in sinergia, cosa che invece si evince in maniera estremamente chiara leggendo le strategie integrate di energia, acqua e rifiuti, messe in campo nell'eco-quartiere Hammarby Sjöstad.

Che gli obiettivi francesi siano più prettamente incentrati sulla transizione energetica come strada per raggiungere nel più breve tempo possibile l'obiettivo della decarbonizzazione, è un dato che si evidenzia dal forte coinvolgimento del settore energetico, dagli standard *Passivehaus* definiti nella progettazione e raggiunti, e dalla vocazione molto spiccata rivolta ai PED (*Positive Energy District*), con l'intento di produrre almeno tanta energia quanta se ne consuma, su base annua.

Al tempo stesso, nell'eco-quartiere svedese la forte attenzione rivolta al settore energetico parte da un presupposto diverso, ovvero quello di cogliere l'opportunità di una economia sempre più volta verso la circolarità e finalizzata alla salvaguardia, alla tutela e al risparmio delle risorse naturali.

Questa differenza non va analizzata soltanto in un'ottica di approcci diversi scelti a monte dai progettisti e dagli investitori pubblici e privati in entrambi i contesti, ma va inserita in un quadro di confronto più ampio, che fa riferimento alle differenti caratteristiche climatiche e geografiche che separano le due realtà europee: se da

una parte il contesto svedese presenta un indice di piovosità annua tendenzialmente alto, quello francese ha un indice di piovosità medio-bassa; allo stesso tempo a Carquefou c'è una frequenza assidua di fenomeni di siccità mentre a Stoccolma la frequenza è pressoché nulla con una proiezione fino al 2070 che vede i periodi siccitosi francesi aumentare fino a picchi del 70%, mentre quelli svedesi rimanere costanti; inoltre la proiezione del *trend* di ricarica delle acque di falda oscilla tra il -10% e lo 0% a Carquefou mentre oscilla tra lo 0% e il 10% a Stoccolma (EEA, 2021).

Osservando i dati climatici forniti dall'EEA sulla base dell'analisi dei periodi storici e delle proiezioni future sui diversi scenari climatici proposti dall'IPCC, le scelte di entrambe le città trovano ulteriori motivazioni che rafforzano da una parte la strategia francese di privilegiare il ricorso ai pannelli fotovoltaici e dunque la spinta pressoché totalitaria verso l'efficientamento energetico del proprio Distretto grazie alla realizzazione di impianti solari fotovoltaici, dall'altra quella svedese di privilegiare le proprie risorse idriche per la produzione energetica, affinché non vadano sprecate come risorse naturali, ma anzi rientrino in un'ottica sempre più strettamente circolare.

Un'ultima considerazione va fatta sui dati quantitativi di riduzione delle emissioni di CO₂ in entrambi i contesti urbani, nonostante siano nel primo caso espressi in termini quantitativi oggettivi e mentre nel secondo in termini più approssimativi percentuali e, per altro, ancora in fase di raggiungimento:

nel caso francese di Carquefou la riduzione di 6728 tCO₂ si ottiene grazie alla riduzione dei consumi energetici degli edifici, alle soluzioni tecnologiche passive e ai servizi, e proprio tra i servizi va sottolineato anche l'efficientamento del settore idrico per il ciclo integrato delle acque a livello paesaggistico, oltre che al livello degli edifici, che sebbene non venga esplicitato in maniera evidente, fa comunque parte di quell'insieme di riduzione dei consumi grazie ai quali si può prevedere di raggiungere l'obiettivo di neutralità climatica.

Nel caso svedese, anche sotto questo aspetto, emerge un approccio più olistico, in quanto in previsione di una riduzione del 50% delle emissioni di gas serra in atmosfera, viene previsto sia il contributo dato dalla riduzione dei consumi idrici ed energetici sia il con-

tributo dato dalla re-immissione in circolo delle risorse naturali e di rifiuti, andando inoltre a porre anche dei vincoli più stringenti in termini di inquinamento da altre sostanze delle risorse naturali che vengono re-immesse nelle falde acquifere e, più generalmente, nell'atmosfera.

Alla luce di queste considerazioni fatte a partire dall'analisi approfondita dei 2 casi studio, emerge chiaramente come non ci sia un'unica strada giusta per raggiungere l'obiettivo di neutralità climatica al 2050 in ambito urbano ma che le soluzioni più coerenti debbano essere ricercate alla luce dei parametri ambientali e climatici che contraddistinguono un contesto rispetto ad un altro e che, solo in base ad una attenta analisi del contesto geo-morfologico nel suo insieme, è possibile mirare nella maniera più corretta e coerente possibile al miglioramento del processo di circolarità delle risorse e, dunque, a soluzioni di più ampio respiro mirate ad una *Deep Energy-Zero Emission Renovation* dei Distretti e dei Quartieri urbani.

References

- Agencé de la transition écologique e République française (2011a), Resource centre for greenhouse gas accounting – calculation methods: GHG inventories for territories, France;
- Agencé de la transition écologique e République française (2011b), Resource centre for greenhouse gas accounting – calculation methods: specific regulatory exercises, France;
- Agencé Magnum (2017), Carquefou 140 logements collectifs Passivhaus. Répondre à un contexte fortement paysagé et des exigences environnementales d'éco-quartier. Available at: <http://www.agencemagnum.com/projets/tempo-et-parc-de-flore-140-logements-passivhaus/>
- Bardon, L. (2018), District of La Fleuriaye. Available at: <https://www.construction21.org/city/fr/district-of-la-fleuriaye.html>
- China Development Bank Capital's Green and Smart Urban Development Guidelines (2015), Hammarby Sjöstad an Urban Development Case Study of Hammarby Sjöstad in Sweden, Stockholm. Available at: https://hammarbysjostad20.se/wp-content/uploads/2019/06/Hammarby-Sjostad_report_eng.pdf
- EEA (2021), Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment, EEA Report n. 12/2021, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-391-7 doi:10.2800/320975
- European Regional Development Fund, Baltic Urban Lab and Interreg Central Baltic (2019), Hammarby Sjöstad - one of the world's most successful urban renewal districts. Available at: <https://www.balticurbanlab.eu/goodpractices/hammarby-sj%C3%B6stad-one-world%E2%80%99s-most-successful-urban-renewal-districts>
- Gaffney, A., Huang, V., Maravilla, K., Soubotin, N. (2007), Hammarby Sjöstad Stockholm, Sweden: a case study. CP249, Fall;
- Loire-Atlantique Développement – SELA (2022), La Fleuriaye, nature d'avance Carquefou. Available at: <http://www.quartierlafleuriaye.fr/decouvrir/nature-davance/>
- Mairie de Carquefou (2022), ZAC (Zone d'Aménagement Concerté) di Fleuriaye II. Available at: <https://www.carquefou.fr/zac-de-la-fleuriaye-ii/>
- Nantes Métropole (2017), le grand débat: la Transition Énergétique c'est nous. Rapport Final par la Commission du débat, Nantes;
- Olson, P., Svane, Ö., Gullström, C. (2021), Mind the gap! Backcasting local actors' climate transition in Hammarby Sjöstad, Stockholm. Futures 128 (2021) 102703. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102703>
- Pandis Iverot, S., Brandt, N. (2011), The development of a sustainable urban district in Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden? Environmental Development Sustainability, DOI 10.1007/s10668-011-9304-x
- Réseau durable, réflexions sur l'énergie en réseau (2015), Villes & territoires intelligents - La Fleuriaye: éco-quartier emblématique de Carquefou. Available at: <https://reseaudurable.com/la-fleuriaye-eco-quartier/>
- Stockholms stad, Stockholm Vatten, GlashusEtt, Fortum and Hammarby Sjöstad (2007), Hammarby Sjöstad – a unique environmental project in Stockholm. Stockholm, Sweden;
- Svane, Ö. (2008), Situations of Opportunity – Hammarby Sjöstad and Stockholm City's process of environmental management. Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 15(2), 76–88;
- Tucci, F., Cecafosso, V., Caruso, A., Turchetti, G. (2020b), Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città green - assi strategici, indirizzi, azioni, d'intervento per la resilienza dell'ambiente costruito; FrancoAngeli

Editore, Milano. ISBN 978-88-351-0952-5;

Tucci, F., et al., per gli Stati Generali della Green Economy, Green City Network e Sapienza Università di Roma (2021a), Rapporto “Verso la neutralità climatica delle Green City: approcci, indirizzi, strategie e azioni”, Sapienza Università di Roma, Roma;

Tucci, F., Giampaolotti, M. (2021c), EUROPA Città Green, in Dotti, M. (a cura di) *L'Eco-futuro magazine: Abitare sostenibile oltre la tana*. Rivista bimestrale, anno 3 – numero 6, pp. 36-38; *Econnection: la comunicazione che innova*, Roma;

Urban Green-blue grids for resilient cities (2018), Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden. Available at: <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/hammarby-sjostad-stockholm-sweden/>

CAPITOLO 5 Problematiche emerse rispetto agli ambiti tematici della Ricerca

ABSTRACT (INGLESE)

It is necessary to update the UWWTD to address today's challenges in line with the Green Deal and the digitalisation of Europe: the revision must address the complexity of the topic with a water-oriented approach as much as energy. A well-designed UWWTD must embrace the circular economy, achieve carbon neutrality by 2050, digitize water management and integrate new technologies. A holistic approach is the key driver for energy performance, resource recovery and water reuse.

Without water-saving technologies, including water reuse, the European Union has estimated a 16% increase in water abstraction in Europe by 2030, moreover, the climate neutrality measures adopted without considering the effects on management of water resources risk intensifying water crises. To make matters worse, we are not even close to maximizing the use of the water reaching our Urban Districts: a quarter of the water that enters a building is wasted. It is these inefficiencies that worsen water scarcity, and determine the need to adopt more energy-intensive water supply methods which, consequently, risk emitting greater quantities of greenhouse gases and worsen the conditions of the subsoil and the causes of climate change, rather than mitigating its effects.

For many of the choices currently adopted, although there are extensive references to the environmental, social and economic benefits that each of the solutions brings within cities or districts, there is no quantitative calculation aiming at the water footprint and the reduction of greenhouse gas emissions which split the "blue" dimension from the "green" or "grey" dimension, highlighting it as a single contribution. This clearly brings out the problem of too little awareness of the need for an integrated zero-emission water cycle management, to fully implement the principles of the circular economy, not only through the opportunity of its interconnection with other sectors such as that of building and energy, but also as an absolute load-bearing system. Furthermore, the carbon footprint and the water footprint, although they are contemporary and similar concepts in many respects, have been studied, studied in depth and accepted at two totally different levels: the concept of "carbon footprint" is widely accepted and used for the description of greenhouse gases and the measurement of emissions from the strictest to the broadest sense using different calculation methods and approaches. Almost simultaneously, the "water footprint" has also become popular, but there is still an immense potential in terms of defining emission measurement tools, similar to those developed for calculating the carbon footprint.

ABSTRACT

È necessario aggiornare l'UWWTD per affrontare le sfide odierne in linea con il *Green Deal* e la digitalizzazione dell'Europa: la revisione deve affrontare la complessità dell'argomento con un approccio orientato alle risorse idriche tanto quanto all'energia. Un UWWTD ben progettato deve abbracciare l'economia circolare, raggiungere la neutralità del carbonio entro il 2050, digitalizzare la gestione dell'acqua e integrare nuove tecnologie. Un approccio olistico è il motore chiave per la prestazione energetica, il recupero delle risorse e il riutilizzo dell'acqua. Senza tecnologie per il risparmio idrico, compreso il riutilizzo dell'acqua, l'Unione europea ha stimato un aumento del 16% dell'estrazione di acqua in Europa entro il 2030, inoltre, le misure di neutralità climatica adottate senza considerare gli effetti sulla gestione delle risorse idriche rischiano di intensificare le crisi idriche. Per peggiorare le cose, non ci si sta neppure avvicinando alla massimizzazione dell'utilizzo dell'acqua che raggiunge i nostri Distretti Urbani: un quarto dell'acqua che entra in un edificio va sprecata. Sono queste inefficienze a peggiorare la scarsità d'acqua, e a determinare la necessità dell'adozione di metodi di approvvigionamento idrico più energivori che rischiano di emettere maggiori quantità di gas serra, e peggiorare le condizioni del sottosuolo e le cause dei cambiamenti climatici, anziché mitigarne gli effetti. Per molte delle scelte attualmente adottate, pur essendoci riferimenti ai benefici ambientali, sociali ed economici che ciascuna delle soluzioni apporta all'interno delle città o dei Distretti, manca un calcolo quantitativo mirato all'impronta idrica e alla riduzione delle emissioni di gas serra che scinda la dimensione "blue" rispetto alle dimensioni "green" o "grey", mettendola in evidenza come singolo contributo. E questo fa emergere la problematica della poca consapevolezza della necessità di una gestione del ciclo integrato delle acque a emissioni zero, per realizzare i principi dell'economia circolare, non solo attraverso l'opportunità della sua interconnessione con altri settori quali l'edilizia e l'energia, ma anche come sistema portante assoluto. Inoltre, l'impronta di carbonio e l'impronta idrica, seppure siano concetti coetanei e simili, sono stati studiati e approfonditi a due livelli totalmente diversi: il concetto di "impronta di carbonio" è ampiamente accettato e utilizzato per la descrizione dei gas serra e la misurazione delle emissioni mediante diversi metodi e approcci di calcolo; anche l'"impronta idrica" è diventata popolare ma su questa, esiste ancora un immenso potenziale in termini di definizione di strumenti di misurazione delle emissioni, simili a quelli elaborati per il calcolo dell'impronta di carbonio.

5.1 Problematiche di origine antropica

Il modello e l'intensità dell'attività umana hanno sconvolto – attraverso gli impatti sulla quantità e sulla qualità – il ruolo dell'acqua come principale agente ambientale. Crescita della popolazione, crescita economica, modello di produzione/commercio, modello di consumo (cambiamento alimentare, uso di bioenergia) e sviluppo tecnologico, sono tutti fattori che contribuiscono a dei cambiamenti nell'impronta idrica (Ertug Ercin, A., et al., 2014). Per questa ragione, le decisioni che vengono prese oggi in merito alla gestione delle risorse idriche ed energetiche influenzeranno profondamente il futuro economico ed ambientale del Pianeta. Il cambiamento climatico e altre cause di stress stanno limitando la disponibilità di acqua pulita e di energia a basso costo. Una grande quantità di energia viene spesa per trattare, distribuire e utilizzare l'acqua, il che comporta che le strategie orientate all'acqua possono portare a riduzioni significative del consumo di energia e delle emissioni di gas serra. Le politiche di gestione dell'acqua che promuovono strategie di conservazione dell'acqua, efficienza, riutilizzo e sviluppo a basso impatto dovrebbero essere mirate per ottenere riduzioni sostanziali di consumi energetici e parallelamente di emissioni di gas a effetto serra (Griffiths-Sattenspiel, B., et al., 2009).

Parallelamente all'analisi di tali problematiche e alla ricerca di strategie che potessero farne fronte, ha preso piede la valutazione dell'impronta idrica come nuovo campo di ricerca, che si è radicato a partire da quattro problematiche di fondo:

- (1) i tassi di rinnovamento dell'acqua dolce sono limitati, quindi si deve studiare lo sviluppo dei modelli di consumo, produzione e commercio in relazione a queste limitazioni;
- (2) il pensiero della catena di approvvigionamento, in precedenza poco comune nella gestione dell'acqua, può aiutare ad affrontare l'uso sostenibile e la gestione consapevole dell'acqua tanto dal punto di vista delle aziende quanto da quello dei consumatori finali;
- (3) un approccio globale richiede la considerazione del consumo

della componente di acqua “verde” oltre a quella “blu”, l’attenzione nella gestione delle varie componenti di acqua e anche l’analisi dell’inquinamento idrico nello stesso quadro analitico;
(4) c’è una dimensione globale nella gestione dell’acqua perché i prodotti ad alta intensità idrica sono scambiati a livello internazionale, quindi è necessario studiare un sistema di controllo sul commercio di acqua virtuale e gli effetti dei paesi che esternalizzano la loro impronta idrica (Hoekstra A.Y., 2017).

5.1.1 Il circolo vizioso dello spreco dell’acqua in ambito urbano: dai gestori del servizio idrico agli utenti finali

La sicurezza idrica è definita come “la capacità di una popolazione di salvaguardare l’accesso sostenibile a quantità adeguate di acqua di qualità accettabile per sostenere i mezzi di sussistenza, il benessere umano e lo sviluppo socio-economico, per garantire la protezione contro l’inquinamento di origine idrica e disastri che vedano protagoniste le risorse idriche e per preservare gli ecosistemi in un clima di pace e stabilità politica” (EEA, 2021; IPCC, 2022c).

La storia mostra un forte legame tra lo sviluppo economico e lo sviluppo delle risorse idriche. Ci sono diversi esempi di come l’acqua abbia contribuito allo sviluppo economico e di come lo sviluppo abbia, a sua volta, richiesto un maggiore sfruttamento e impiego dell’acqua. La costante crescita della domanda di prodotti agricoli per soddisfare le diverse esigenze delle popolazioni in crescita è stata la principale causa dell’uso agricolo dell’acqua.

Gli effetti delle attività che impoveriscono e inquinano l’acqua sulla salute umana e sugli ecosistemi rimangono in gran parte non dichiarati o difficili da misurare, ma cresce la necessità di un’efficace protezione degli ecosistemi e dei beni e servizi che producono, da cui la vita e i mezzi di sussistenza dipendono e su cui si basano (UN-WWAP, 2009) in quanto l’acqua dolce è una risorsa critica e sempre più in rapida diminuzione, come si è visto nel paragrafo 3.4.

Tuttavia la qualità e la disponibilità dell’acqua non sono le uniche sfide ambientali: l’uso dell’acqua è anche una delle principali fonti di emissioni di gas serra derivanti dal suo ciclo integrato a partire dalla sua produzione fino al trattamento e alla distribuzione. La produzione di acqua consuma così tanta energia perché, ad oggi, è paragonabile ad un vero e proprio processo industriale su larga scala, ancora basato per lo più su un’ottica lineare e troppo poco

circolare: all’interno del ciclo di approvvigionamento idrico l’acqua viene estratta da terra tramite apposite pompe, serbatoi o altre fonti o, in alternativa, viene dissalata, processo ancora più energivoro (UN-Water, 2020), viene poi filtrata e trattata chimicamente, quindi distribuita ai consumatori, il più delle volte con tubazioni che si articolano su lunghe distanze. E il viaggio dell’acqua non finisce quando raggiunge il consumatore: una volta utilizzata, l’acqua viene trasferita agli impianti di trattamento delle acque reflue, che consumano ancora più energia. Tra l’altro, dal punto di vista del consumatore, il riscaldamento dell’acqua rappresenta in genere la seconda o la terza maggiore spesa energetica a livello domestico (Griffiths-Sattenspiel, B., 2010).

Il Servizio idrico integrato, costituito dall’insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue, compresi i servizi di captazione adduzione a usi multipli e i servizi di depurazione (GURI, 2012), consuma molta energia e rilascia, conseguentemente, grandi quantità di gas serra. Queste emissioni sono tra i peggiori gas serra, con un impatto sul riscaldamento globale che è centinaia di volte più incisivo della sola CO₂ (UN-WWAP, 2009). Le emissioni totali di gas serra derivanti dall’uso dell’acqua variano a seconda della fonte dell’acqua, della distanza dagli utenti e di altri fattori.

Mediamente si stima che ogni metro cubo di acqua consumata generi complessivamente circa 10,6 kg di emissioni di carbonio. A peggiorare le cose, non ci stiamo avvicinando alla massimizzazione dell’utilizzo dell’acqua che raggiunge i nostri edifici.

Un’altra statistica evidenzia, infatti, che oltre il 25% dell’acqua che entra in un edificio, in un cantiere o in un impianto industriale va sprecata (WINT, 2022): queste inefficienze aumentano i livelli di scarsità d’acqua, costringendo all’adozione di metodi di approvvigionamento idrico che richiedono più energia ed emettono più gas serra.

È chiaro, quindi, che una delle problematiche a cui si deve cercare di porre rimedio è lo spreco di acqua, che va ridotto con un duplice vantaggio: in primo luogo, la riduzione dell’esaurimento di questa scarsa risorsa, in secondo luogo la diminuzione della quantità di energia utilizzata e di gas serra emessi dall’uso dell’acqua.

Il ripensamento delle infrastrutture idriche deve essere in prima linea visto il suo ruolo incredibilmente vitale nella creazione di un paesaggio urbano più sostenibile (WEF, 2021a).

La competizione per l’acqua e la gestione delle evidenti carenze

per soddisfare le esigenze della società e dell'ambiente richiedono risposte da parte delle società idriche attraverso una migliore gestione, e prima ancora risposte dal punto di vista politico con una migliore legislazione e meccanismi di allocazione che siano più efficaci e trasparenti.

La qualità e la quantità di acqua che un'area urbana utilizza, riutilizza e scambia con il bacino idrografico più ampio è intrinsecamente legata alla salute dell'ambiente locale, per queste ragioni si deve puntare sempre più verso una saggia pianificazione delle risorse idriche, la valutazione della disponibilità e dei bisogni in uno spartiacque, la possibile riallocazione o l'espansione dello stoccaggio nei bacini esistenti, una maggiore enfasi sulla gestione consapevole della domanda idrica e un migliore equilibrio tra equità ed efficienza nell'uso dell'acqua.

Le scelte di gestione dell'acqua dovrebbero emergere da consultazioni e negoziazioni informate sui costi e sui benefici di tutte le opzioni dopo aver considerato l'interconnessione dei bacini, le relazioni tra terra e risorse idriche e la coerenza e la coerenza delle decisioni con altre politiche governative, in questa direzione agiscono le politiche dei Criteri Ambientali Minimi, rivolte al settore pubblico dell'edilizia, che hanno l'obiettivo di razionalizzare l'uso dell'acqua, ridurre il consumo, disciplinare il riuso e la depurazione.

Altri responsabili nell'ambito cittadino dello spreco dell'acqua sono proprio i cittadini, gli utenti finali, sui quali si deve lavorare di più ai fini di una sensibilizzazione riguardo ai problemi idrici, infatti uno dei motivi dietro l'uso inefficiente dell'acqua è proprio il comportamento umano: le istituzioni locali e gli organi preposti all'istruzione, hanno l'obbligo sempre più stringente di accrescere il *responsible behaviour*, di informare, illustrare, dibattere ed innescare un confronto circa le opportunità e i comportamenti da adottare per incidere in modo efficace sul rispetto e sul risparmio della risorsa idrica. Non ci si deve rivolgere solo a *stakeholder* e gestori del servizio idrico, ma vanno coinvolti anche e soprattutto i singoli cittadini, cercando di stimolarne il senso di responsabilità condivisa e la partecipazione attiva, fornendo loro gli strumenti e le informazioni utili per adottare quelle buone pratiche che si traducono anche in un risparmio economico, oltre che indubbiamente in benefici di carattere ambientale e sociale.

I fattori comportamentali che includono fattori associati alla percezione del rischio, atteggiamenti, alla conoscenza delle norme, etc.,

sono fondamentali per fornire all'utente una visione integrata al fine di modellarne e guidarne il comportamento in una direzione che sia più responsabile nell'utilizzo dell'acqua (Callejas Moncaleano, D.C., et al., 2021; Probert, J., et al., 2014).

L'obiettivo principale deve, dunque, essere quello di chiudere in toto il cerchio sull'uso dell'acqua.

Le città devono cercare di riutilizzare tutti i materiali nell'acqua e nell'acqua stessa, riducendo al minimo gli sprechi da acqua potabile, servizi igienico-sanitari, irrigazione, riscaldamento e raffrescamento.

Ripensare a delle città circolari che mettano l'acqua al centro delle proprie priorità e che la gestiscano ciclicamente, con consapevolezza e cognizione di causa, e la mantengano il più possibile all'interno dell'ambiente urbano per massimizzarne il valore, devono necessariamente diventare l'obiettivo fondamentale. Questo contribuirebbe in maniera consistente alla diminuzione dello stress sugli ecosistemi naturali e isolerebbe le città dagli stress ambientali esterni (WEF, 2021a).

Le città hanno, dunque, l'obbligo non solo di adattarsi ma di diventare resilienti e mitigare gli impatti dei cambiamenti climatici che si stanno già manifestando oggi e destinati a peggiorare, come ondate di caldo eccessivo, alluvioni, precipitazioni imprevedibili e giorni di assoluta siccità.

5.1.2 Il potenziale noto ma sottovalutato della risorsa idrica nel processo di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e dei Distretti urbani

Il concetto di impronta idrica, si è radicato nel desiderio di illustrare i legami celati tra il consumo umano e l'uso dell'acqua (Hoekstra, A. Y., et al., 2007) e tra il commercio globale e la gestione delle risorse idriche ed è stato introdotto per avere un indicatore orientato alla domanda e al consumatore (Hoekstra, A. Y. (eds.), 2003).

Tale indicatore sposta l'attenzione verso la gestione della domanda, in cui questa non deve solo limitarsi a promuovere l'efficienza dell'uso dell'acqua, ma fa riferimento all'intera catena di approvvigionamento dell'acqua nel suo insieme, affrontando così anche i modelli di commercio e consumo (UN-WWAP, et al., 2012) e aiuta a mostrare l'estensione e l'ubicazione dell'uso dell'acqua proprio in relazione a tali modelli di consumo.

L'impronta idrica è definita come "il volume totale di acqua utilizzata nella produzione dei beni e dei servizi consumati da un individuo o comunità o prodotto da un'azienda" (Hoekstra, A.Y., et al., 2011), e viene misurata anche come impronta idrica di un paese: l'impronta idrica totale della produzione in Italia ammonta a circa 1.224 m³ pro capite all'anno (WWF Italia, 2014), mentre gli Stati Uniti hanno un'impronta idrica di 2.480 m³ pro capite all'anno, la Cina ha un'impronta di 700 m³ pro capite all'anno e l'impronta idrica globale è di 1.240 m³ pro capite all'anno (UN-WWAP, 2009). In tutto il mondo, le città hanno enormi impronte idriche: le città occupano meno del 3% della Terra, ma i bacini idrografici che forniscono loro acqua coprono circa il 41% (Ellen MacArthur Foundation, 2017b).

I quattro fattori principali che determinano l'impronta idrica di un paese sono il volume del consumo, il modello di consumo (ad esempio, consumo elevato o ridotto di carne), il clima (condizioni di crescita) e le pratiche agricole (efficienza dell'uso dell'acqua). L'impronta idrica interna di un paese è il volume di acqua utilizzata dalle risorse idriche domestiche; la sua impronta esterna è l'acqua utilizzata in altri paesi per produrre i beni che importa, l'acqua virtuale. È ancora dibattuto se l'acqua pluviale consumata dall'agricoltura debba essere presa in considerazione nel calcolo dell'impronta idrica è oggetto di dibattito.

Il rapporto tra impronta idrica interna ed esterna è rilevante, perché esternalizzare l'impronta idrica significa aumentare la dipendenza dalle risorse idriche estere ma anche trasferire gli impatti ambientali (UN-WWAP, 2009).

Questo approccio, relativamente recente, richiede un ripensamento del modello esistente di utilizzo dell'acqua con adattamenti che implicano cambiamenti sociali, politici e culturali che si traducono in una significativa riduzione della domanda di acqua. Con la crescente globalizzazione, non è più sufficiente esaminare le questioni idriche solo in un contesto nazionale. Decisioni locali sull'uso dell'acqua nell'agricoltura e nell'industria sono sempre più guidati da decisioni al di fuori del dominio idrico locale. La logica di tali usi diventerà sempre più discutibile dal momento che il cambiamento climatico sta portando a riduzioni della disponibilità di acqua.

E questo non è sostenibile: il modo in cui gli esseri umani usano l'acqua, e la loro impronta idrica, deve cambiare quanto prima.

E proprio in risposta alla crescente preoccupazione per il cambiamento climatico, il riscaldamento globale e l'aumento della popolazione, governi, aziende e consumatori stanno prendendo in considerazione modi per ridurre le emissioni di gas serra tramite strategie di riduzione e compensazione: la riduzione si riferisce allo svolgimento di attività con una minore intensità di carbonio; la compensazione si riferisce all'adozione di azioni esterne per compensare le impronte di carbonio mediante una qualche forma di cattura o riduzione del carbonio altrove (da parte di altri).

Queste strategie, come si è visto nel Capitolo 3 in merito alla definizione dell'asse strategico "*CO₂ subtraction and storage*", sono applicate e ampiamente supportate dalle imprese e dal governo (Ertug Ercin, A., et al., 2012) e già si è sulla buona strada grazie a dei meccanismi legislativi e tecnico-scientifici, già chiaramente definiti.

Nel caso dell'impronta idrica, la questione di come rispondere a queste esigenze è ancora dibattuta, ma è stato riconosciuto che anche qui si possono distinguere strategie di riduzione e compensazione e che la definizione di tali strategie sia per i gas serra che per l'acqua possono contribuire sinergicamente a fissare degli obiettivi reali da parte di tutti i paesi e, quindi, definire degli standard regolamentazione utili e preziosi per la riduzione delle emissioni da entrambi i punti di vista (Ertug Ercin, A., et al., 2012).

L'abbattimento dei gas a effetto serra e l'impegno per una società decarbonizzata non possono avvenire senza il sostegno concreto dei servizi pubblici locali e, in questa direzione, le *utilities* che possono fornire un contributo consistente sono quelle che operano nel settore idrico, considerando che la gestione delle acque urbane è uno dei servizi pubblici più impattati dal cambiamento climatico, che minaccia la capacità del sistema industriale di fornire acqua sicura, proteggere dall'inquinamento fiumi e mari, nonché difendere persone e risorse dalle inondazioni.

Tuttavia, ad oggi, a meno di informazioni aggregate e generali, non è disponibile a livello europeo o nazionale una quantificazione dei possibili contributi alle emissioni derivanti dal servizio idrico integrato, né specifica per singolo segmento dei servizi del ciclo (acquedotto, fognatura e depurazione) né dettagliata per singola tipologia di emissione associata (diretta o indiretta, biogenica o fossile).

In particolare per poter definire delle strategie efficaci in ambito ur-

banco per la riduzione dell'impronta idrica mancano, in primis, sia strumenti di calcolo univoci, che non lascino spazio a ipotesi arbitrarie e che guidino i consumatori e le industrie verso la riduzione del proprio impatto ambientale, che uno strumento legislativo particolarmente severo che lo regolamenti, per poter fissare degli obiettivi chiari di riduzione e compensazione dell'impronta idrica, che possano svolgere ruoli cruciali nell'uso ottimale ed efficiente oltre che nell'allocazione delle scarse risorse di acqua dolce, per tutti i paesi entro il 2030.

In questa direzione, si stima che la dichiarazione e la riduzione dell'impronta idrica diventeranno ufficialmente parte delle politiche governative e della strategia di sviluppo sostenibile in almeno il 90% dei paesi entro il 2030 (UN-WWAP, et al., 2012) e che questo potrà portare ad un potenziale di riduzione dell'impronta idrica di base elettrica di 87 miliardi di litri grazie ad iniziative di efficienza e ottimizzazione della domanda nel 2030 (WEF, 2021b).

L'applicazione della teoria e degli strumenti della regolazione economica al settore idrico è di per sé relativamente nuova nella maggior parte dei Paesi europei. È solo dopo il 2000 che, con poche eccezioni nell'Unione Europea, le autorità regionali e nazionali sono state create *ex novo* o hanno ricevuto poteri specifici per supervisionare l'efficienza e la qualità dei servizi idrici e delle acque reflue (WAREG, 2019).

Per la riduzione dell'impronta idrica, così come per la riduzione dell'impronta di carbonio, le politiche che affrontano la povertà, l'uso del suolo, il commercio, l'inquinamento, l'agricoltura, la sicurezza alimentare e il ruolo della popolazione dovrebbero essere considerate insieme (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Si deve sviluppare sempre di più un approccio legato al *City Water Resilience Approach* (ARUP et al., 2019), che aiuti le città a costruire la capacità dei sistemi idrici urbani resistere, adattarsi e trasformarsi di fronte alle nuove sfide a beneficio di tutti i residenti della città e che guidi in maniera chiara le decisioni delle parti interessate, tra cui il governo, il settore privato, il mondo accademico e gli attori della società civile.

Affrontando il problema dal punto di vista nazionale, in Italia negli ultimi 30 anni non si è registrato un evidente progresso nell'organizzazione di un servizio efficiente e responsabile, che privilegi l'uso efficiente delle risorse migliorando l'efficienza energetica e riducendo l'emissione di gas serra e la produzione di rifiuti da av-

viare a smaltimento, creando al contempo sinergie tra settori complementari.

Anzi, per certi versi, l'Italia appare arretrata rispetto agli standard dei paesi europei più evoluti (Mininni, G., et al., 2017), a dispetto delle condizioni climatiche che, come vedremo nei paragrafi successivi, ancora lasciano ampi margini di azione e uno sviluppo delle rinnovabili che, potenzialmente, favorirebbe la massimizzazione dell'efficienza energetica e dell'efficienza idrica del Paese.

È sufficiente prendere visione delle sfide emergenti e degli obiettivi per comprendere quale debba essere il notevole sforzo per portare l'Italia a un ruolo *leader* in Europa: il settore dell'acqua, come ampiamente argomentato fino a questo punto, può costituire un volano importante per muovere sostanzialmente l'economia in chiave *green*.

Per queste ragioni, gli sforzi volti alla riduzione della domanda non necessaria di acqua potabile di alta qualità attraverso un approccio più efficiente a partire dalla fonte energetica fino alla singola soluzione tecnologica e impiantistica, una migliore pianificazione urbana e dei sistemi di approvvigionamento idrico e dei cambiamenti comportamentali dei gestori e degli utenti finali, alla luce di un sistema di calcolo e di uno strumento legislativo univoco, saranno sempre più importanti.

Risulta dunque evidente come le politiche specifiche per la riduzione delle emissioni di gas serra da sole non siano più sufficienti per raggiungere degli obiettivi di riduzione che possano avere un impatto soddisfacente rispetto agli obiettivi europei di neutralità climatica imposti per il 2050 e come sia assolutamente necessaria, invece, l'integrazione di queste con le politiche per la riduzione delle emissioni derivanti dal ciclo integrato delle acque e l'implementazione di strategie e strumenti legislativi, volti alla mitigazione, basati sulle risorse naturali (IPCC, 2022a).

Tali politiche possono, e devono, essere considerate, a livello internazionale e nazionale, come uno strumento di fondamentale importanza per portare ad un uso più parsimonioso, efficiente, sostenibile ed equo delle risorse idriche del Pianeta.

5.2 Problematiche di origine naturale

Il consumo globale di acqua è aumentato ed è sestuplicato negli ultimi 100 anni e continua a crescere costantemente a un tasso di circa l'1% all'anno a causa dell'aumento della popolazione, dello sviluppo economico e del cambiamento dei modelli di consumo, dunque, il cambiamento climatico, unito ai fenomeni di urbanizzazione e crescita della popolazione, sta causando problemi di disponibilità di acqua e sicurezza nelle città di tutto il mondo.

I rischi derivanti dai vari aspetti dell'insicurezza idrica sono emersi come una significativa sfida globale.

Il *Global Risks Report* del *World Economic Forum* elenca la crisi idrica come uno dei primi cinque rischi in tutti i suoi rapporti a partire dal 2015 (WEF, 2015) fino ad oggi (WEF, 2022b).

I cambiamenti idrologici indotti dai cambiamenti climatici aggiungeranno sfide alla gestione sostenibile delle risorse idriche, che sono già sotto forte pressione in molte regioni del mondo. La salute umana, gli insediamenti urbani e rurali, la produzione di energia, lo sviluppo industriale e gli ecosistemi sono tutti dipendenti dall'acqua e quindi vulnerabili agli impatti del cambiamento climatico. Il degrado degli ecosistemi non porterà solo alla perdita di biodiversità, ma influenzerà anche la fornitura di servizi ecosistemici legati all'acqua, come la purificazione dell'acqua, la cattura naturale e lo stoccaggio del carbonio e la protezione naturale degli alimenti, nonché la fornitura di acqua (UN-WWAP, 2009). Tra le conseguenze di un ciclo idrologico in evoluzione c'è infatti la sua interazione con il ciclo del carbonio terrestre. La biosfera terrestre potrebbe aver assorbito circa il 25% delle emissioni di carbonio di origine antropica durante il secolo scorso ma non è chiaro per quanto tempo possa continuare (IPCC, 2022c).

Di tutti i pericoli naturali, alluvioni e siccità hanno colpito la maggior parte delle persone tra il 2000 e il 2019. Circa 1,65 miliardi di persone sono state colpite dalle alluvioni e 1,43 miliardi dalla siccità (FAO AQUASTAT, n.d.). Che si tratti di troppa acqua troppo velocemente, con precipitazioni estreme che provocano la fuoriuscita dei

reflui nelle aree urbane, o di quantità di acqua insufficiente, a causa di condizioni di siccità a lungo termine, nessuna città è immune da questi cambiamenti climatici (C40 Cities, 2022).

L'adattamento e la mitigazione delle cause dei cambiamenti climatici attraverso la gestione dell'acqua sono quindi azioni fondamentali ed essenziali per raggiungere gli obiettivi dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, l'accordo di Parigi sui cambiamenti climatici e il quadro di Sendai per la riduzione del rischio di catastrofi (UN-Water, 2020).

Inoltre, senza un adeguato adattamento, si prevede che i futuri impatti dei cambiamenti climatici legati all'acqua su vari settori dell'economia ridurranno il PIL globale entro la metà del secolo (IPCC, 2022c).

5.2.1 Mitigare le cause del cambiamento climatico e affrontarne in maniera adeguata le conseguenze

In combinazione con un approvvigionamento idrico più irregolare e incerto, il cambiamento climatico sta aggravando, e aggraverà ulteriormente, la situazione delle regioni attualmente soggette a stress idrico e genererà stress idrico anche nelle regioni in cui le risorse idriche sono ancora oggi abbondanti.

La maggior parte degli scienziati del clima concorda sul fatto che il riscaldamento globale comporterà un'intensificazione, un'accelerazione o un potenziamento del ciclo idrologico globale, e vi sono prove osservative che ciò stia già accadendo: il cambiamento climatico si manifesta, infatti, in una sempre crescente frequenza e grandezza di eventi estremi come ondate di caldo, precipitazioni senza precedenti, temporali e tempeste (UN-Water, 2020). Ma mentre tali tendenze delle precipitazioni sono state notate in alcune parti del mondo, in altre aree i modelli delle precipitazioni sono rimasti più o meno gli stessi nel periodo dei dati osservati, tuttavia è proprio il numero di eventi di precipitazioni estreme che sta crescendo a livello globale a causa della maggiore energia presente nell'atmosfera e questi, in particolare, producono precipitazioni intense, con conseguente aumento delle inondazioni urbane (IPCC, 2014).

Sono stati osservati cambiamenti nell'estensione del manto nevoso e nell'equivalente in acqua della neve e nella frequenza con cui le precipitazioni cadono sotto forma di neve. Nonostante l'evidenza dei cambiamenti di temperatura, ci sono poche prove di cam-

biamenti rilevabili nell'evaporazione e nell'evapotraspirazione. La scarsità d'acqua fisica è spesso un fenomeno stagionale, piuttosto che cronico, ed è probabile che il cambiamento climatico causi cambiamenti nella disponibilità stagionale di acqua durante tutto l'anno in diversi luoghi. La qualità dell'acqua sarà influenzata negativamente dall'aumento della temperatura dell'acqua, dalla riduzione dell'ossigeno disciolto e quindi da una ridotta capacità di autodepurazione dei corpi d'acqua dolce (UN-Water, 2020).

Il cambiamento climatico si sta sovrapponendo a un paesaggio idrologico che già si mostra complesso, e questo rende il suo segnale difficile da isolare, ma tuttavia sta facendo sentire la sua influenza su tutto il sistema di approvvigionamento idrico e di domanda idrica.

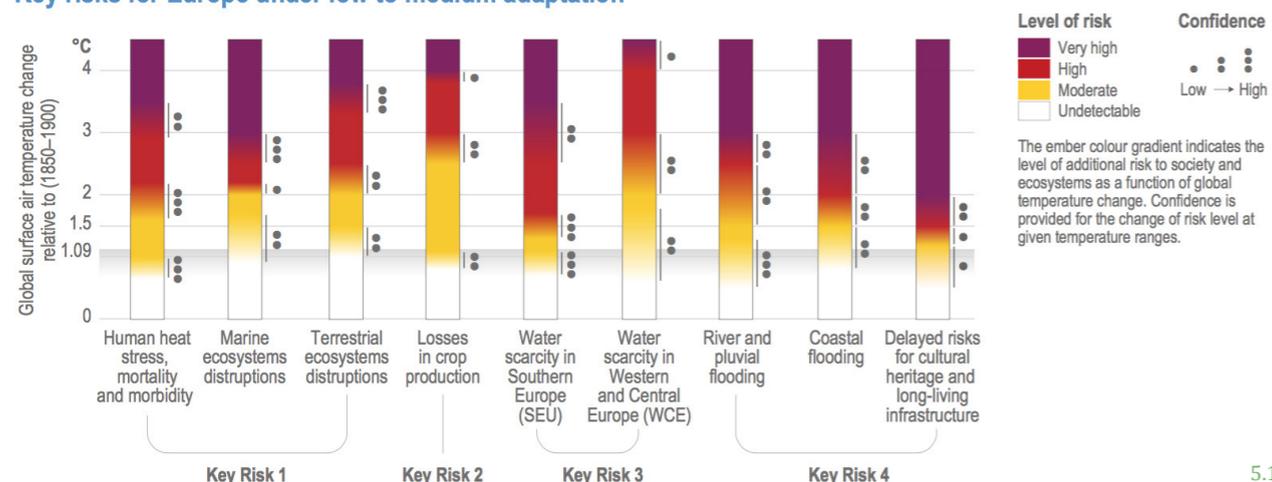
quattro categorie di rischi-chiave per quest'area, tutti e quattro direttamente correlati alla gestione delle risorse idriche:

- rischi causati da ondate di calore più forti e prolungate con effetti negativi sulla popolazione (decessi) e sugli ecosistemi terrestri e marini che comportano una riduzione degli habitat e la perdita di biodiversità;
- rischi per la produzione agricola a causa di una combinazione di caldo e siccità;
- rischi di scarsità di risorse idriche nell'Europa meridionale che, per un aumento della temperatura globale superiore ai 3°C, interessa anche l'Europa centro occidentale;
- rischi prodotti da maggiore frequenza e intensità di inondazioni costiere, fluviali, pluviali.

Chapter 13

Europe

Key risks for Europe under low to medium adaptation



5.1

Didascalie alle immagini.

5.1. Rischi-chiave legati alle risorse idriche per la regione europea in condizioni di adattamento da basso a medio (immagine tratta da IPCC, 2022b)

Il già citato Sesto Rapporto dell'IPCC (IPCC, 2022b; IPCC, 2022c) concentrandosi sugli impatti del cambiamento climatico, sia su scala globale che regionale, sulle opzioni di adattamento a tali cambiamenti, in atto e future, e sulle vulnerabilità e rischi futuri che questi cambiamenti comportano, mostra come la regione europea, specialmente la parte mediterranea, sia particolarmente vulnerabile agli effetti del riscaldamento globale e, in particolare, l'IPCC identifica

Nonostante la crescente evidenza che il cambiamento climatico stia già influenzando e influenzerà sempre di più la disponibilità e la distribuzione delle risorse idriche, permangono alcune incertezze legate all'impossibilità di prevedere con sicurezza l'impatto che i cambiamenti climatici potranno avere sui differenti parametri ambientali, strettamente connessi alle risorse idriche, in base ai differenti scenari di rischio legati al futuro sviluppo delle concentrazioni dei gas a effetto serra e degli aerosol.

5.2.2 I parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici: situazione attuale e proiezioni future

Pur essendo sempre più chiaro, alla luce del quadro delle problematiche di origine naturale appena esposto, che il presupposto della stazionarietà statistica non è più una base certa per una corretta pianificazione idrica, rimane comunque il fatto che l'analisi dei parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici, in combinazione tra loro, possono guidare le azioni da compiere in base alle caratteristiche geografiche e ai diversi contesti urbani sui quali intervenire nella maniera più adeguata possibile.

Per questa ragione, nei paragrafi che seguono si prenderà in considerazione la situazione attuale e le proiezioni future di 5 parametri ambientali ritenuti importanti ai fini di una corretta pianificazione idrica in ambito urbano, valutati nel contesto europeo:

- (1) Piovosità annua e stagionale;
- (2) Frequenza dei periodi di siccità;
- (3) Tasso di Umidità contenuta nel suolo;
- (4) Ricarica delle acque di falda;
- (5) Tasso di evapotraspirazione stagionale.

Tali parametri sono stati selezionati tra quelli elaborati dalla *European Environment Agency* e presentati nella pubblicazione "*Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment*", già citata nel paragrafo 4.4.3 a supporto dei casi studio francese di Carquefou e svedese di Hammarby, in cui vengono valutata la situazione delle risorse idriche in tutta Europa sia nel periodo storico compreso tra il secolo scorso e l'epoca contemporanea che in proiezione futura con stime di previsione per il periodo fino al 2100 (EEA, 2021), e sono stati poi confrontati con i dati a disposizione nel database della FAO dove sono raccolte informazioni sulle condizioni idrologiche mondiali attuali, passate e future (FAO AQUASTAT, n.d.) per avere un quadro ancora più esaustivo della situazione.

Si prevede che il cambiamento climatico aggraverà le attuali pressioni sulle risorse di acqua dolce in Europa, soprattutto nell'Europa meridionale, che già affronta un grave stress idrico, ma anche in alcune parti dell'Europa occidentale e centrale e che l'Europa settentrionale e nord-orientale e le zone montuose di tutta Europa saranno interessate dalla riduzione del manto nevoso e dallo scioglimento precoce della neve. Inoltre i cambiamenti climatici aumenteranno gli eventi meteorologici estremi stagionali, come siccità e inondazioni, e provocheranno incidenze più frequenti di flussi elevati durante la stagione delle piogge e flussi bassi durante la stagione secca dell'anno, mentre siccità più frequenti e intense stanno già colpendo aree estese in parti meridionali, centrali e limitate dell'Europa settentrionale. A causa del cambiamento climatico, si prevede che tali eventi estremi peggiorino e si espandano ulteriormente nel nord Europa in futuro (EEA, 2021).

L'analisi che segue fa riferimento ai dati tecnici rilevati dall'Agenzia Europea (EEA, 2021) che servono poi come base per le considerazioni critiche fatte dall'autrice della presente Tesi, in sede di scelta del caso pilota presentato all'interno della Trattazione nel Capitolo 7, e dei casi pilota che si intende analizzare come possibile sviluppo futuro di questa Ricerca, ai fini di un ulteriore test del *tool* di calcolo semplificato presentato nello stesso Capitolo, e del confronto e

dell'analisi delle soluzioni emerse dalle simulazioni.

5.2.2.1 Piovosità annua e stagionale

Per il periodo 1960-2015, in alcune parti dell'Europa settentrionale, le precipitazioni annuali sono aumentate fino a 7 mm e le precipitazioni estive fino a 1,8 mm. Al contrario, nell'Europa meridionale, le precipitazioni annuali sono diminuite fino a 9 mm e quelle estive fino a 2 mm. Alle medie latitudini dell'Europa, le precipitazioni non mostrano variazioni significative su scala annuale, ma si possono osservare significative diminuzioni nella stagione estiva in alcune parti dell'Europa centrale e orientale, come si evince da quanto riportato nella carta riportata alla pagina seguente (5.2).

I modelli delle precipitazioni annue sono cambiati in modo significativo: tra il 1960 e il 2018 le forti precipitazioni in inverno e in estate sono generalmente diventate più frequenti e intense in tutta Europa, soprattutto nelle aree settentrionali e nord-orientali. Parallelamente, guardando le proiezioni sui cambiamenti climatici (nell'ambito dell'RCP ad alte emissioni scenario 8.5, secondo la traiettoria di concentrazione di gas serra adottata dall'IPCC), e ponendo a confronto il periodo storico 1971-2000 con il futuro periodo 2071-2100, si può ipotizzare che le precipitazioni medie annue diminuiranno del 10-30% in molte parti dell'Europa meridionale e di oltre il 30% nel Mediterraneo sud-orientale e sud-occidentale. Inoltre, è prevista una diminuzione più forte nella stagione estiva, poiché le precipitazioni estive dovrebbero diminuire del 20-40% in un'area estesa che copre l'Europa meridionale e occidentale mentre, al contrario, si prevede un aumento annuo del 10-30% in molte parti dell'Europa centrale, orientale e settentrionale. Soprattutto nei paesi baltici e scandinavi sono previsti aumenti significativi fino al 30% anche nella stagione estiva, come si può osservare dalla Carta riportata in figura 5.3. Si prevede inoltre che le forti precipitazioni diventeranno più frequenti e intense in futuro quasi ovunque in Europa in inverno, con aumenti significativi fino al 35% in Scandinavia, nell'Europa nordorientale e orientale a causa dei cicloni extratropicali estremi più frequenti. Le forti precipitazioni estive rimarranno simili o, nella maggior parte dei casi, aumenteranno leggermente.

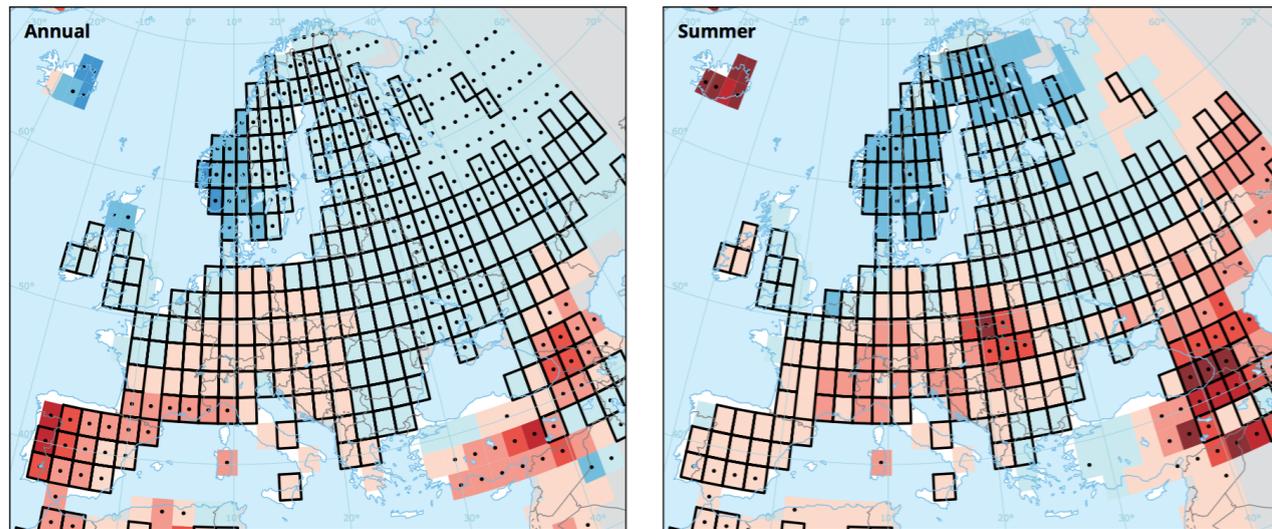
Mentre con riferimento al contesto italiano, si assiste da tempo a una riduzione delle piogge e a un contemporaneo intensificarsi delle precipitazioni, con conseguenti impatti di medio rischio sul ciclo idrico (Utilitatis Fondazione, et al., 2022).

Didascalie alle immagini.
nelle pagine seguenti -

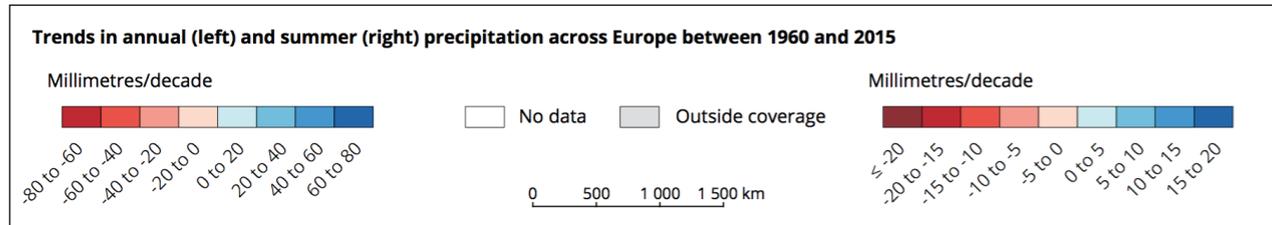
5.2. (Map 3.2) - Tendenze delle precipitazioni annuali (a sinistra) ed estive (a destra) in tutta Europa per il periodo 1960-2015 (immagine tratta da EEA, 2021)

5.3. (Map 3.3) - Variazione prevista delle precipitazioni annuali (sinistra) ed estive (destra) in tutta Europa per il periodo 2071-2100 (rispetto alla media 1971-2000) (immagine tratta da EEA, 2021)

Map 3.2 Trends in annual (left) and summer (right) precipitation across Europe for the period 1960-2015



Reference data: ©ESRI

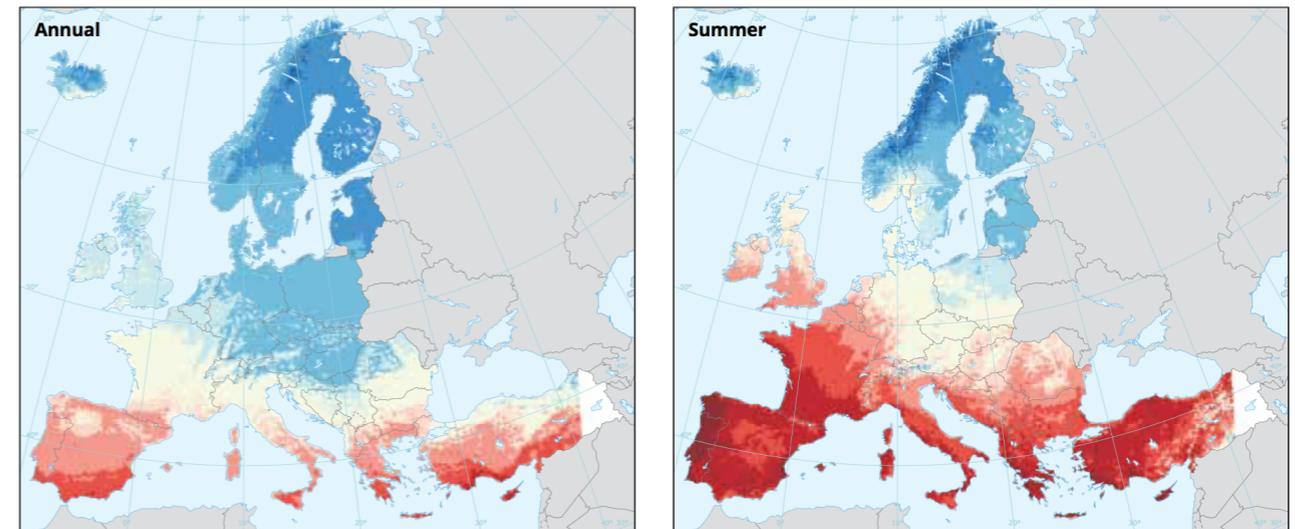


Note: Grid boxes outlined in solid black contain at least three stations and so are likely to be more representative of the grid box. A black dot indicates that the long-term trend is significant at the 5 % level. The classes for annual and summer precipitation differ (by a factor of 4) because annual precipitation covers 12 months, whereas summer precipitation covers only 3 months.

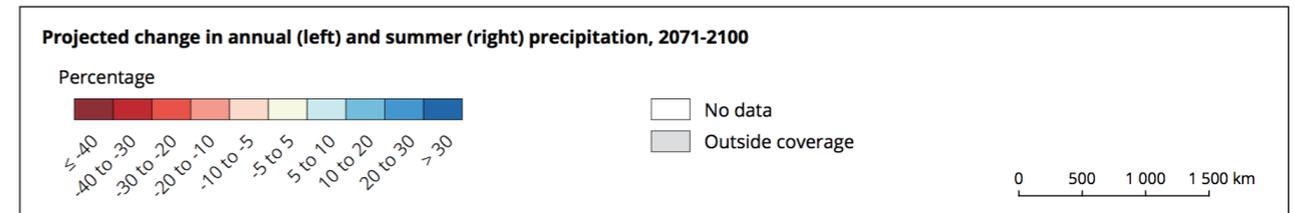
Source: EEA (2017d).

5.2

Map 3.3 Projected change in annual (left) and summer (right) precipitation across Europe for the period 2071-2100 (versus 1971-2000 average)



Reference data: ©ESRI



Source: EEA (2017d).

5.3

5.2.2.2 Frequenza dei periodi di siccità

Nell'Europa meridionale e nella maggior parte dell'Europa centrale le siccità sono diventate più frequenti, con un massimo di 1,3 fenomeni di siccità in più ogni decennio nel periodo 1950-2015, come si evince da quanto riportato nella carta riportata di seguito (5.4).

Inoltre, la siccità si è intensificata all'incirca nelle stesse aree, poiché le precipitazioni minime durante il mese più secco dell'anno sono diminuiti tra il 5% e il 20%.

Al contrario, i periodi di siccità sono diventati meno frequenti e meno intensi in alcune aree della Scandinavia e dell'Europa nord-orientale.

Le proiezioni sui cambiamenti climatici (nello scenario RCP dell'IPCC ad alte emissioni 8.5), confrontando il periodo storico 1981-2010 con il periodo futuro 2041-2070, suggeriscono che la frequenza delle siccità meteorologiche aumenterà nella maggior parte dell'Europa, ad eccezione di diverse aree del Europa centro-orientale e nord-orientale come si può osservare dalla Carta riportata in figura 5.5. Le proiezioni mostrano risultati contrastanti per il nord Europa e suggeriscono che la maggior parte delle aree sperimenterà periodi di siccità meno intense e frequenti, specialmente nello scenario RCP 4.5.

Lo scenario RCP 8.5 (scenario 3 °C) fino al 2100 può invertire questo quadro in alcune aree.

Si prevede che l'Europa meridionale possa essere il punto caldo per siccità più frequenti e intense in futuro. Su base stagionale, le siccità intense saranno più probabili rispetto a oggi in estate, e poi in primavera e in autunno, mentre le siccità intense diventeranno meno probabili in inverno.

5.2.2.3 Tasso di umidità contenuta nel suolo

Il contenuto medio annuo di umidità del suolo mostra una tendenza al ribasso tra il 1979 e il 2019, tendenza che diventa più pronunciata dopo il 1990 e soprattutto nell'ultimo decennio che è stato il peggiore degli ultimi 40 anni, tale riscontro lo si può avere dalla lettura della carta riportata in figura 5.6. Nel triennio 2018-2020, l'umidità media del suolo nella maggior parte dell'Europa è stata in-

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -

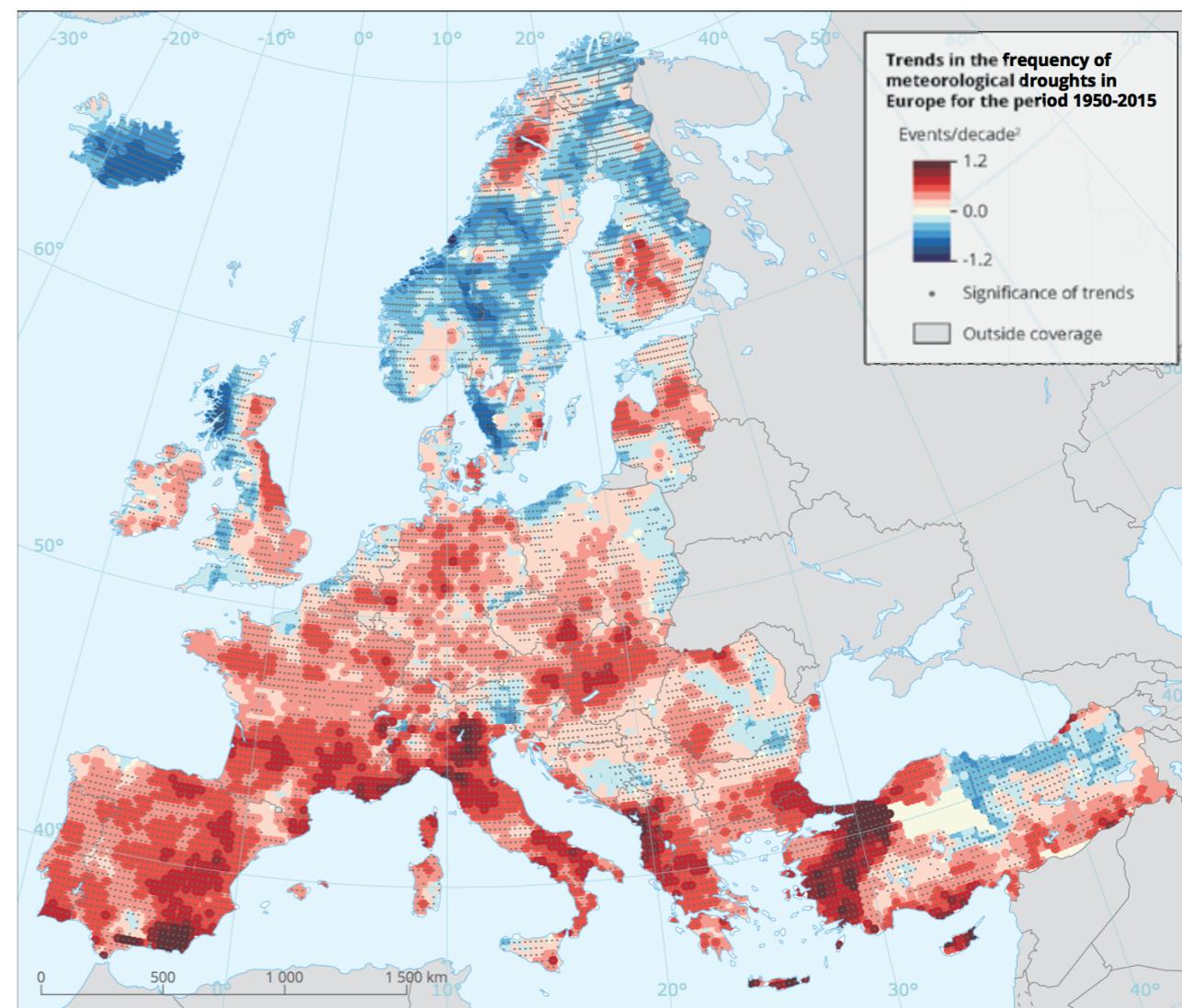
5.4. (Map 3.5) - Tendenze della frequenza dei fenomeni di siccità meteorologiche in Europa per il periodo 1950-2015 (immagine tratta da EEA, 2021);

nelle pagine seguenti -

5.5. (Map 3.6) - Variazione prevista della frequenza della siccità meteorologica tra i periodi 1981-2010 e 2041-2070 in due scenari di cambiamento climatico (immagine tratta da EEA, 2021);

5.6. (Map 3.7) - Media dell'umidità del suolo a lungo termine e tendenza dell'umidità del suolo (2000-2019) e variazioni previste dell'umidità del suolo per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo 1961-2010 (immagine tratta da EEA, 2021)

Map 3.5 Trends in the frequency of meteorological droughts in Europe for the period 1950-2015



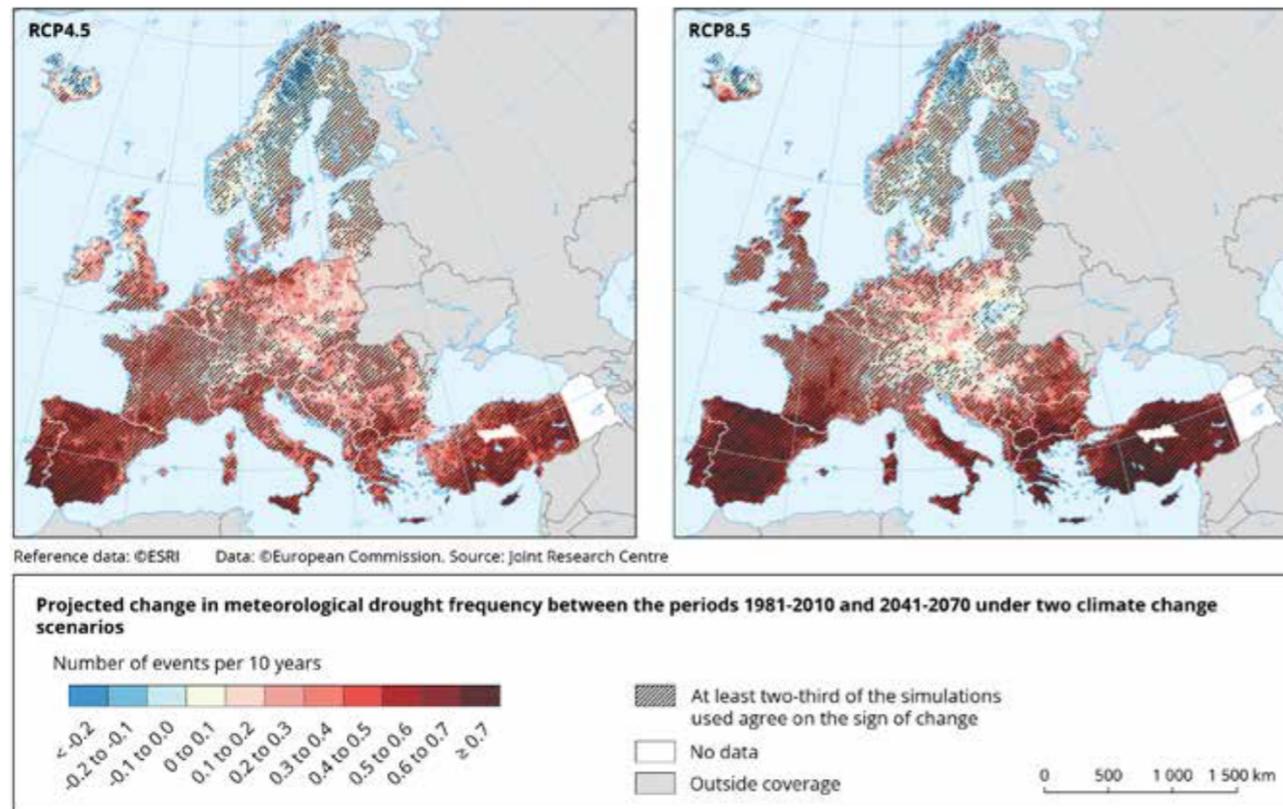
Reference data: ©ESRI

Note: In the map, the concept of drought is regarded as observed trend in the frequency of meteorological droughts and observed trend in run-off during the driest month (EEA, 2019g). Hatching indicates the areas in which the trends are statistically significant at the 95 % level.

Source: EEA (2019g).

feriore alla media del periodo 1961-2010, con un'umidità contenuta nel suolo significativamente bassa osservata nell'Europa centrale durante l'estate e nell'Europa sudorientale durante l'autunno. Le proiezioni future del contenuto di umidità del suolo, confrontando i periodi 2021-2050 con il 1981-2010, indicano una diminuzione del contenuto di umidità del suolo in alcune aree dell'Europa meridionale, soprattutto durante l'estate, e un aumento del Europa orientale e nord-orientale.

Map 3.6 Projected change in meteorological drought frequency between the periods 1981-2010 and 2041-2070 under two climate change scenarios

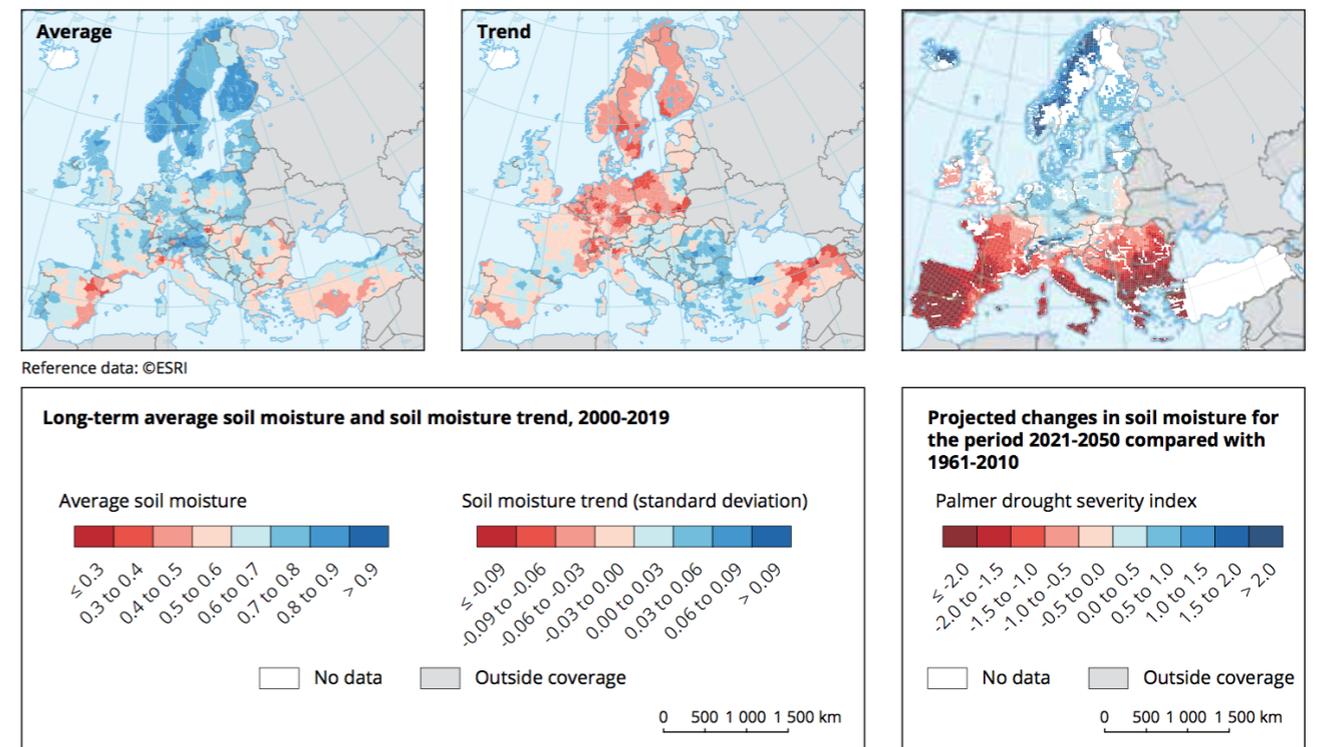


Note: In the map, the concept of drought is regarded as observed trend in the frequency of meteorological droughts (EEA, 2019g). The lines represent the areas in which at least two thirds of the simulations used agree on the sign of the change.

Source: EEA (2019g).

5.5

Map 3.7 Long-term average soil moisture and soil moisture trend (2000-2019) and projected changes in soil moisture for the period 2021-2050 compared with 1961-2010



Note: The maps show the long-term average soil moisture contents (left) and the trends in soil moisture values (right), aggregated by NUTS3 regions. Soil moisture is equal to 0 when the soil is severely dry (wilting point) and equal to 1 when the soil moisture is above the field capacity. Low long-term average soil moisture values indicate areas where during the 2000-2019 period the soil moisture deficit was the biggest problem. Trends are expressed in standard deviation from the long-term average. Negative trends indicate that soil moisture values show a decreasing tendency during the 2000-2019 period. Areas with lower soil moisture content together with decreasing tendency in the soil moisture are in risk of losing their land functions of supplying ecosystem services.

The Palmer drought severity index spans -10 (dry) to +10 (wet).

Source: EEA (2017e).

5.6

5.2.2.4 Ricarica delle acque di falda

Secondo un recente studio di modellizzazione, il clima ha contribuito in una certa misura all'esaurimento osservato in molte falde acquifere europee tra il 1990 e il 2018, principalmente nell'Europa meridionale. Tuttavia, il ruolo del cambiamento climatico è per lo più supplementare, rispetto al ruolo delle pratiche di gestione dell'acqua: l'eccessiva estrazione di acque sotterranee da parte dell'agricoltura e degli altri settori dipendenti dall'acqua è risultata essere la pressione chiave che porta all'esaurimento della falda acquifera. La maggiore capacità di stoccaggio delle falde acquifere, la loro minore vulnerabilità all'evaporazione e una migliore protezione dall'inquinamento atmosferico, sono caratteristiche fondamentali che le distinguono dalle acque superficiali. In linea di principio, le acque sotterranee fluiscono più rapidamente attraverso falde acquifere porose costituite da sabbie, limi e ghiaie poco consolidate, falde acquifere fessurate e formazioni carsiche altamente produttive e falde acquifere significativamente fratturate. Pertanto, quando i livelli di ricarica diminuiscono, il rischio di un rapido esaurimento delle acque sotterranee è maggiore anche per questi tipi di falde acquifere. Tuttavia, il rischio di esaurimento è influenzato anche da fattori quali la dimensione delle falde acquifere, la topografia e l'idrogeologia locale.

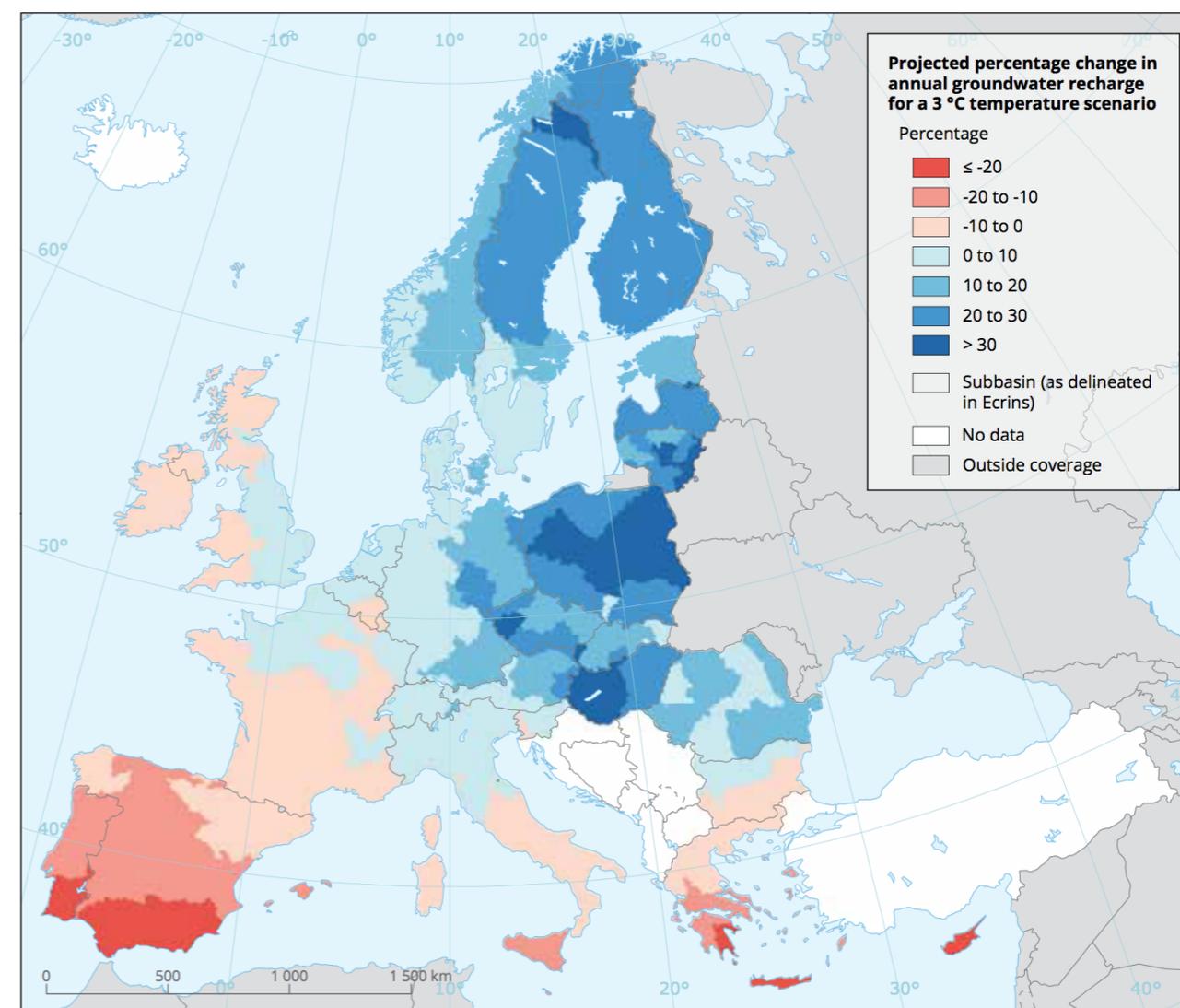
È più probabile che una falda acquifera poco profonda e non confinata di piccolo spessore all'interno di una piana alluvionale fluviale sia rapidamente influenzata dalla diminuzione della portata media del fiume rispetto a una falda acquifera profonda, confinata e densa che è alimentata da sistemi carsici altamente produttivi.

In quelle aree in cui si prevede che il cambiamento climatico provochi precipitazioni più basse e un aumento delle temperature e dell'evapotraspirazione (vedi sezioni precedenti), si prevede che la ricarica delle acque sotterranee generalmente diminuirà, pertanto, sono previste diminuzioni della ricarica delle acque sotterranee nell'Europa meridionale e occidentale, mentre sono previsti aumenti in alcune parti dell'Europa centrale, orientale e nord-orientale, come si può osservare in figura 5.7.

Si prevede che lo scioglimento anticipato della neve provocherà uno spostamento della ricarica delle acque sotterranee con lo scioglimento della neve dalla primavera all'inverno. Inoltre, si prevede che il cambiamento climatico provocherà un aumento del livello medio

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
5.7. (Map 3.8) - Variazione percentuale prevista nella ricarica annuale delle acque sotterranee per uno scenario di temperatura di 3 °C (immagine tratta da EEA, 2021)

Map 3.8 Projected percentage change in annual groundwater recharge for a 3 °C temperature scenario



Reference data: ©ESRI

Note: Results provided at Ecrins sub-basin level (EEA, 2012a).

Source: Underlying data obtained from the JRC Peseta IV report (Feyen et al., 2020).

del mare e un conseguente aumento delle mareggiate. Le falde acquifere costiere, in particolare quelle sfruttate in modo intensivo, possono essere significativamente interessate dall'intrusione di acqua dal mare nelle falde acquifere. L'eccessivo ricorso a pratiche di desalinizzazione, e la conseguente salinizzazione delle acque di falda, può rendere le acque sotterranee inadatte all'uso e influenzare gli ecosistemi dipendenti.

In particolare l'Italia è un Paese a stress idrico medio alto. Secondo gli ultimi dati disponibili forniti dall'ISPRA, in Italia vengono consumati circa 26 miliardi di metri cubi di acqua all'anno (Legambiente, 2022), di cui il 55% è legato agli usi agricoli, il 27% a quelli industriali e circa il 18% per scopi civili. Proprio per quest'ultimo settore, che richiede acque di qualità elevata, nel 2018 sono stati prelevati più di 9,2 miliardi di metri cubi di acqua per uso potabile. Da questo punto di vista le Regioni più "idrovore", essendo anche tra le più popolate, sono state Lombardia (1,42 miliardi di m³), Lazio (1,16 miliardi di m³) e Campania (0,93 miliardi) a cui corrisponde rispettivamente il 15%, 13% e 10% del totale dell'acqua prelevata. Di questi 9,2 miliardi, in media circa l'85% è di origine sotterranea, il 15% è composto dalle acque superficiali (di fiume o di lago) e solo una minima parte dell'acqua prelevata (lo 0.1% del totale per fini civili) proviene dal trattamento di acque marine o salmastre. Alcune Regioni, come Umbria e Valle D'Aosta, dipendono totalmente dalle acque di falda (il 100% delle acque prelevate sono infatti sotterranee); ma anche le altre Regioni ne dipendono in maniera significativa: il Lazio, in particolare, supera il 90% di dipendenza dalle loro acque sotterranee (EEA, 2021).

5.2.2.5 Tasso di evapotraspirazione stagionale

L'evapotraspirazione è strettamente correlata al tipo di copertura del suolo e alle condizioni climatiche (ad esempio temperatura, vento, umidità, radiazione solare) su un'area specifica. Gli aumenti più significativi sono stati osservati nell'Europa settentrionale, orientale e occidentale (tra il 9% e il 27%), mentre l'aumento è stato inferiore (4%) nell'Europa meridionale già soggetta a stress idrico.

Queste tendenze mostrano che la traspirazione dalla vegetazione e l'evaporazione dal suolo e dalle superfici idriche in Europa sono aumentate in modo significativo negli ultimi decenni.

L'aumento dell'evapotraspirazione è principalmente attribuito all'aumento della traspirazione della vegetazione, che può essere ulteriormente collegato all'espansione dei terreni agricoli a partire dagli anni '80 e all'aumento osservato della temperatura del suolo in tutta Europa.

Spinta dal previsto aumento della temperatura, l'evapotraspirazione in Europa aumenterà ulteriormente in futuro, come si può osservare dalla carta riportata nella figura 5.8 alla pagina seguente.

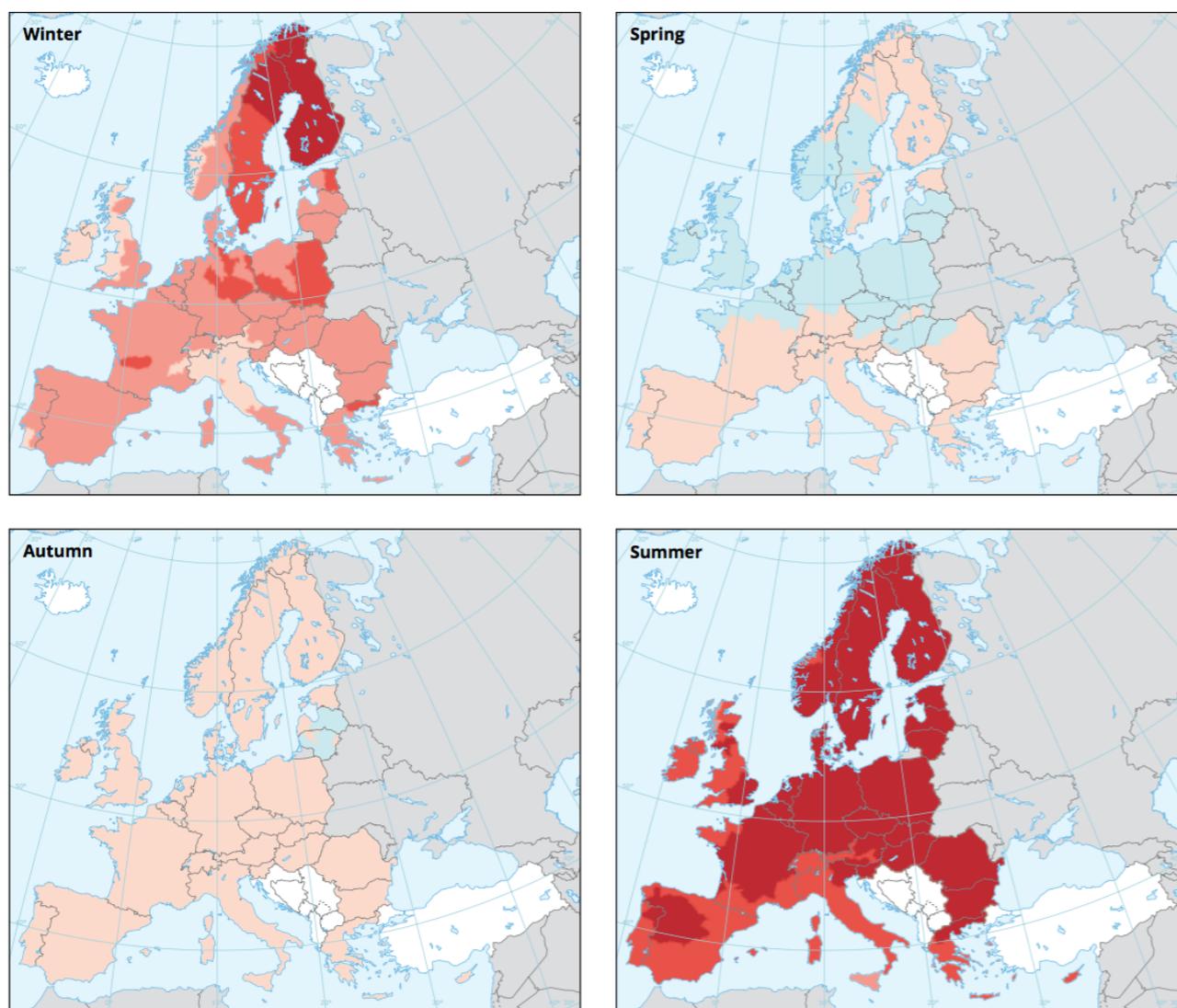
Tuttavia, il potenziale aumento potrebbe essere in parte compensato dalla ridotta traspirazione della vegetazione dovuta alle maggiori concentrazioni atmosferiche di CO₂.

Si prevede un aumento dell'evapotraspirazione in gran parte dell'Europa e in tutte le stagioni.

Gli incrementi maggiori si potevano prevedere soprattutto in inverno e in autunno. Rispetto alla primavera e all'estate, la disponibilità di acqua è maggiore in autunno e in inverno, quindi l'aumento della temperatura potrebbe causare l'evaporazione di una maggiore quantità di acqua dalle superfici d'acqua aperte e la traspirazione dalla vegetazione. Inoltre, in primavera è prevedibile una lieve diminuzione dell'evapotraspirazione nell'Europa centro-settentrionale.

Didascalie alle immagini.
nella pagina seguente -
5.8. (Map 3.4) - Variazione percentuale prevista dell'evapotraspirazione stagionale per uno scenario di temperatura di 3 °C (in senso orario da sinistra in alto: inverno, primavera, estate, autunno) (immagine tratta da EEA, 2021)

Map 3.4 Projected percentage change in seasonal evapotranspiration for a 3 °C temperature scenario
(clockwise from upper left: Season 1, Season 2, Season 3, Season 4)



Reference data: ©ESRI

Note: Results provided at Ecrins sub-basin level (EEA, 2012a). Seasons are defined in calendar year (S1; J, F, M – S2; A, M, J – S3; J, A, S – S4; O, N, D).

Source: Underlying data obtained from the JRC Peseta IV report (Feyen et al., 2020).

5.8

5.3 Considerazioni di sintesi sulle problematiche emerse e sui parametri ambientali analizzati

Alla luce del quadro di problematiche emerse, sia dal punto di vista antropico che naturale, una gestione ottimale della risorsa idrica diventa l'obiettivo imprescindibile, valutando gli impatti che il cambiamento climatico ha sull'ambiente.

Uno dei suoi effetti principali, come si è visto dalle Carte dei parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici, è l'alterazione della distribuzione delle precipitazioni, che crea rilevanti conseguenze nella distribuzione delle risorse idriche, in particolare per alcune regioni del Pianeta, tra cui l'area del Mediterraneo.

Ad inasprire le situazioni di crisi idrica, il costante aumento della domanda di acqua a livello globale, che rende la risorsa ancora più scarsa e strategica.

È bene, dunque, sottolineare quanto sia importante agire sinergicamente su diversi fronti, riguardo alla gestione della risorsa idrica, ponendo l'accento sulla necessità di dotarsi di un sistema economico, sociale e ambientale quanto più sostenibile e resiliente possibile. Dal punto di vista sociale, attraverso la sensibilizzazione di cittadini, utenti finali e residenti e la divulgazione delle informazioni riguardo alla criticità dei temi del risparmio, della gestione sostenibile e dell'uso consapevole della risorsa idrica; dal punto di vista tecnico, economico ed ambientale, sia alla scala del singolo edificio con soluzioni volte al miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche, che alla scala più ampia, quella del comparto edilizio, del Quartiere e del Distretto urbano con un'ottica sempre più attenta e rivolta ad una gestione efficiente dei sistemi di approvvigionamento idrico in ambito urbano, non soltanto attraverso strategie di efficientamento del sistema energetico ma anche calibrando tali azioni in base alle aree geografiche e alle condizioni geo-morfologiche e idriche del sito sul quale si va ad intervenire, spingendo su un sempre maggiore utilizzo di tecnologie per la produzione di energie rinnovabili a basso contenuto di carbonio e con ridotte necessità idriche.

Questo è uno degli aspetti che va valutato più oculatamente, in quan-

to va ricordato che la produzione stessa di energia richiede acqua.

Grazie alle ridottissime necessità di acqua, le energie rinnovabili quali ad esempio l'eolico, il solare fotovoltaico e alcune tipologie di energia geotermica, sono di gran lunga le alternative energetiche migliori se valutate dal punto di vista della domanda di acqua, oltre che dal punto di vista economico per via dei costi sempre più competitivi rispetto alla produzione di energia da combustibili fossili.

E perché questo avvenga, il ruolo dell'innovazione è centrale e può fare riferimento ad una innovazione digitale grazie alla diffusione di contatori intelligenti, per la manutenzione preventiva e predittiva delle infrastrutture e per la riduzione delle perdite, ma anche per la capacità di indirizzare i consumi lavorando sull'analisi dei comportamenti e sul *responsible behaviour* dei consumatori. Ma per poter optare per l'impiego della tecnologia migliore per intraprendere un percorso volto all'efficientamento dei sistemi di approvvigionamento idrico e poter contribuire a una migliore gestione delle riserve idriche mettendo in diretta relazione i consumi con la disponibilità di tali risorse, è necessario che se ne valuti la sostenibilità generale, tenendo conto, appunto, delle condizioni geo-morfologiche del sito e dei potenziali consumi di risorse idriche causati dalle condizioni di piovosità, periodi di siccità, umidità contenuta nel suolo, livelli delle acque sotterranee e tassi di evapotraspirazione, oltre che delle emissioni di gas ad effetto serra e degli impatti ecologici e socioeconomici di ciascun intervento nei diversi Distretti urbani, mettendoli in relazione con le variabili che possono influenzare i consumi delle diverse tipologie di utenti finali.

Lo stress idrico che riguarda le condizioni del continente europeo, anche se ad oggi non si manifestano in maniera così preoccupante, peggioreranno, come si evince dalla lettura delle proiezioni riportate nelle carte dell'EEA (EEA, 2021), che evidenziano, per ciascuno dei 5 fattori indagati, una tendenza media all'aumento nella frequenza dei fenomeni siccitosi, all'assottigliamento delle acque di falda e dell'umidità contenuta nel suolo, al peggioramento consistente nella percentuale di evapotraspirazione, in particolare nella stagione estiva, e alla riduzione delle precipitazioni a carattere piovoso sia sul *trend* annuale, che stagionale.

Per altro, con particolare riferimento al contesto italiano, si assiste da tempo a una riduzione delle piogge e a un contemporaneo in-

tensificarsi delle precipitazioni, con conseguenti impatti sul ciclo idrico.

Tutti segnali d'allarme che ancora una volta denunciano, come già esposto attraverso la reportistica analizzata, come sia necessario agire con strategie volte alla mitigazione delle cause del cambiamento climatico, ancora di più che con strategie di adattamento.

References

- ARUP, The Rockefeller Foundation and the Resilience Shift (2019), The City Water Resilience Approach, London;
- C40 Cities (2022), Water Safe Cities technical report. London;
- Callejas Moncaleano, D.C., Pande, S. and Rietveld, L. (2021), Water Use Efficiency: A Review of Contextual and Behavioural Factors. *Water* 3:685650. doi: 10.3389/frwa.2021.685650
- Ellen MacArthur Foundation (2017b), Urban Biocycles. Available at www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/UrbanBiocycles_EllenMacArthurFoundation_21-06-2017.pdf
- Ertug Ercin, A. and Hoekstra, A.Y. (2012), Carbon and Water Footprints: Concepts, Methodologies and Policy Responses. United Nations World Water Assessment Programme. ISBN 978-92-3-001095-9 - UNESCO, France;
- Ertug Ercin, A. and Hoekstra A.Y. (2014), Water footprint scenarios for 2050: A global analysis, in *Environment International* 64 (2014) 71–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.019>
- EEA (2021), Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment, EEA Report n. 12/2021, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-391-7 doi:10.2800/320975;
- Grey, D. and C.W. Sadoff, 2007: Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545–571, doi:10.2166/wp.2007.021.
- FAO AQUASTAT (n.d.), AQUASTAT – FAO’s Global Information System on Water and Agriculture. Available at: <https://www.fao.org/aquastat/en/databases/>
- Griffiths-Sattenspiel, B. and Wilson, W. (2009), The Carbon Footprint of Water, A River Network Report, Colorado;
- Griffiths-Sattenspiel, B. (2010), Water-Energy toolkit: understanding the Carbon footprint of your water use, A River Network Report and Water & Energy Program, Colorado;
- GURI (2012), DPCM 20 luglio 2012 Individuazione delle funzioni dell’Autorità per l’energia elettrica ed il gas attinenti alla regolazione e al controllo dei servizi idrici, ai sensi dell’articolo 21, comma 19 del decreto-legge del 6 dicembre 2011, n. 201, convertito, con modificazioni, dalla legge 22 dicembre 2011, n. 214. (12A10321) (GU Serie Generale n.231 del 03-10-2012)
- Hoekstra, A. Y. (eds.) (2003), Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, 12–13 December 2002. Value of Water Research Report Series No. 12. Delft, the Netherlands, UNESCO-IHE;
- Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2007), Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, Vol. 21, No. 1, pp. 35–48;
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A., Aldaya, M. and Mekonnen, M. (2011), The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard, London, Earthscan. Available at: www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf
- Hoekstra A.Y. (2017), Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field, in *Water Resource Manage.* DOI: 10.1007/s11269-017-1618-5
- IPCC (2014), Urban areas. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change pp. 535-612. Available at: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap8_FINAL.pdf
- IPCC (2022a), Summary for Policymakers, in: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of*

Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001;

IPCC (2022b), 2022: Europe. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1817–1927, doi:10.1017/9781009325844.015;

IPCC (2022c), 2022: Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi:10.1017/9781009325844.006.;

Legambiente (2022), Scocchera, E. e Minutolo, A. (eds.) Acque Sotterranee – Il necessario è invisibile agli occhi, Ufficio scientifico Legambiente, Roma;

Mininni, G., Del Giacco, L., Bologna, P., Petta, L. – membri del gruppo di lavoro “indirizzi per una migliore gestione della risorsa idrica” per gli Stati Generali della Green Economy (2017), Indirizzi per una migliore gestione della risorsa idrica - Documento di Approfondimento, Roma. Available at: https://www.statigenerali.org/wp-content/uploads/2017/11/sgge_2017_documento_gdl_gestione_risorsa_idrica.pdf

Probert, J. Koenig-Lewis, N., Stacey, K., Zhao, A., Xuan, Y. (2014), Sustainable water consumption: the role of consumer behaviour in (re)shaping water utility industry business models;

UN-Water (2020), United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, UNESCO, Paris. ISBN: 978-92-3-100371-4;

UN-WWAP (2009), The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. ISBN: 978-1-84407-840-0;

UN-WWAP and UNESCO (2012), The Dynamics of Global Water Futures Driving Forces 2011–2050 - Report on the findings of Phase One of the UNESCO-WWAP Water Scenarios Project to 2050. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. ISBN 978-92-3-001035-5;

Utilitatis Fondazione in collaborazione con Istat e Cassa Depositi e Prestiti (2022), I dati del servizio idrico integrato in Italia, Blue Book 2022, Pubblimedia srl, Roma. Available at: https://www.utilitatis.org/wp-content/uploads/2022/03/BBexecutive_2022.pdf

WAREG (2019), Five Year Report 2014-2019. WAREG Secretariat, Milan;

WINT (2022), The Carbon Emissions Impact of Water: A WINT White paper. New York . Available at: <https://wint.ai/the-carbon-footprint-of-water/>

WEF (2015), The Global Risk Report 2015 – 10th edition – insight report, Geneve/Cologny. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf

WEF (2021a), Circular Cities: A circular water economy for cleaner, greener, healthier, more prosperous cities - The Imagine If Water Series. Briefing Paper. Geneve/Cologny. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_ImagineIfWater-Series_2021.pdf

WEF (2021b), Net Zero Carbon Cities: An Integrated Approach, Geneve/Cologny Switzerland. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Carbon_Cities_An_Integrated_Approach_2021.pdf

WEF (2022b), The Global Risks Report 2022 – 17th edition – insight report, Geneve/Cologny. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf

WWF Italia (2014), L'impronta idrica dell'Italia. Ufficio Editoria WWF Italia, Roma.

PARTE III

Strategie e soluzioni di intervento

Determinazione delle strategie d'intervento e delle soluzioni tecnologiche e impiantistiche

ABSTRACT (INGLESE)

Estimates of changes in the population of Urban Districts, in its spatial distribution, as well as changes in land use conditions, are as essential for determining the future condition of water resources and their potential contribution as are estimates of climate change. However, although it is widely known that relatively small climate changes can cause large water resource problems in many areas, little is known about the district-wide impact of greenhouse gas-induced hydro meteorological change.

With these premises, starting from the theme of Research defined in the initial phase, of mitigating the causes of climate change, and the key objective of Decarbonisation of the building stock and Urban Districts in their multi-scalar dimension with emissions reduction targets of CO₂ of 50% in 2030 and zero in 2050, the intervention strategies have been outlined taking into account the need for an articulation on three dimensions. In particular, the three macro-strategies of intervention that was decided to identify for this Research are declined in the improvement of the circularity process of water resources through the awareness of end users and citizens and the dissemination of information regarding the critical issues of saving, sustainable management and the conscious use of water resources; and the definition of strategies aiming both at the scale of the single building (aiming at reducing consumption and improving the circularity process of water resources and maximizing water efficiency through technological and plant engineering solutions aiming at the energy efficiency of active systems serving the integrated water cycle), which on a larger scale with an ever more attentive perspective aiming at the green-blue infrastructures and at the efficient management of supply systems and the integrated water system in the urban context, calibrating these actions on the basis of the geographical areas and the geo-morphological and water conditions of the site on which intervention is going to take place.

These macro-strategies are functional for the subsequent identification of further sub-strategies and replicable intervention solutions according to the different characteristics of the built environment in the Urban Districts, to give a concrete contribution, of an operational nature, to the improvement of the circularity process of water resources and energy in terms of decarbonisation and improvement of environmental comfort conditions, for the reduction of CO₂ emissions which can be obtained through the integration of water resources in urban Districts in various forms and the multi-scalar dimension, as well as for the reduction of building pressure on urban green areas and for the protection and preservation of nature, ecosystems and biodiversity.

ABSTRACT

Le stime dei cambiamenti nella popolazione dei Distretti Urbani, nella sua distribuzione spaziale, nonché i cambiamenti nelle condizioni di utilizzo del suolo, sono essenziali per la determinazione delle condizioni future delle risorse idriche e del loro potenziale contributo quanto lo sono le stime dei cambiamenti climatici. Tuttavia, sebbene sia ampiamente noto che cambiamenti climatici relativamente piccoli possono causare grandi problemi di risorse idriche in molte aree, poco si sa delle ripercussioni del cambiamento idrometeorologico indotto dai gas serra in ambito distrettuale.

Con queste premesse, a partire dal tema centrale di mitigazione delle cause del cambiamento climatico, e dell'obiettivo-cardine di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio e dei Distretti Urbani, sono state delineate le Strategie d'intervento. In particolare le tre macro-strategie di intervento che si è deciso di individuare per la presente Ricerca si declinano nel miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche, attraverso la sensibilizzazione di utenti finali e cittadini e la divulgazione delle informazioni riguardo alla criticità dei temi del risparmio, della gestione sostenibile e dell'uso consapevole della risorsa idrica; e in strategie mirate sia alla scala dell'edificio (volte alla riduzione dei consumi e al miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche e alla massimizzazione dell'efficienza idrica attraverso soluzioni tecnologiche ed impiantistiche mirate all'efficienza energetica dei sistemi attivi a servizio del ciclo idrico integrato), che alla scala più ampia con un'ottica sempre più attenta e rivolta alle *green-blue infrastructures* e ad una gestione efficiente dei sistemi di approvvigionamento idrico e del sistema idrico integrato in ambito urbano, calibrando tali azioni in base alle aree geografiche e alle condizioni geo-morfologiche e idriche del sito sul quale si va ad intervenire.

Tali macro-strategie si articolano in ulteriori sotto-strategie e soluzioni di intervento replicabili in funzione delle caratteristiche diverse dell'ambiente costruito nei Distretti Urbani, per dare un contributo concreto, di carattere operativo, per il miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche e dell'energia in termini di decarbonizzazione e di miglioramento delle condizioni di comfort ambientale, per la riduzione delle emissioni di CO₂ che si può ottenere attraverso l'integrazione nei Distretti urbani delle risorse idriche sotto diverse forme e alla dimensione multi-scalare, nonché per la riduzione della pressione edilizia sulle aree verdi urbane e per la salvaguardia della natura, degli ecosistemi e della biodiversità.

Facendo seguito a quanto esposto nei Capitoli precedenti in merito ai riferimenti legislativi in ambito internazionale e nazionale, allo stato dell'arte legato alla *Deep Energy Zero-Emission Renovation* e alle *Circular e Climate-neutral cities*, con particolare attenzione rivolta al ruolo della circolarità della risorsa idrica mirata al raggiungimento dell'obiettivo-cardine di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e dei Distretti Urbani nella loro dimensione multi-scalare con *target* di riduzione delle emissioni di CO₂ del 50% al 2030 ed azzeramento al 2050, che, a sua volta, concorre al tema centrale di mitigazione delle cause del cambiamento climatico e ai fattori problematici, di origine antropica e climatica, che rendono urgente e imprescindibile intervenire sulle città e sui Distretti nel più breve tempo possibile e nella maniera più consapevole, sono state delineate le tre macro-strategie di intervento di:

- risparmio idrico e miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche attraverso una gestione sostenibile e il "*responsible behaviour*" degli utenti finali;
- massimizzazione dell'efficienza energetica dei dispositivi attivi a servizio del ciclo idrico integrato del Distretto Urbano, in funzione dei parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici;
- riduzione delle emissioni di CO₂ legate al ciclo idrico integrato con soluzioni tecnologiche e impiantistiche a scala dell'edificio e dell'intero Distretto Urbano.

Macro-strategie che, a loro volta, portano all'individuazione di una serie di ulteriori sotto-strategie di carattere operativo che si snodano nelle relative soluzioni tecnologiche e impiantistiche. Sotto-strategie e soluzioni che verranno introdotte ed argomentate nei successivi tre paragrafi e che troveranno la loro applicazione nel caso pilota presentato nel Capitolo 7 della Tesi.

6.1 Risparmio idrico e miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche attraverso una gestione sostenibile e il “*responsible behaviour*” degli utenti finali

Consapevoli della situazione idrica europea, oltre che mondiale, e dei suoi possibili scenari futuri, già evidenziati nel precedente Capitolo, al paragrafo 5.2.2, che puntano l'attenzione su quanto l'acqua sia una risorsa preziosa e al tempo stesso esauribile, una prima riflessione che necessita un approfondimento riguarda la situazione idrica analizzando l'impatto che ciascun individuo ha nel quotidiano, in ambito urbano, con il contributo legato al consumo di acqua e, in molti casi, a uno spreco, che va ben oltre rispetto alle reali necessità.

Dal punto di vista statistico, tra gli Stati membri dell'Unione Europea, secondo gli ultimi dati disponibili, l'estrazione totale di acqua dolce varia da un massimo di 29.596 milioni di metri cubi in Spagna (dati 2018) a un minimo di 41 milioni di metri cubi a Malta (dati 2019) (Utilitatis Fondazione, et al., 2022) e di questi, un cittadino europeo consuma, in media, 144 litri di acqua potabile al giorno, mentre un cittadino italiano ne consuma mediamente 220 litri al giorno (EEA, 2021; WAREG, 2021).

Osservando questi dati, che possono considerarsi allarmanti se analizzati rispetto alle prospettive future rese note dall'EEA (EEA, 2021) e dall'IPCC (IPCC, 2022c), le misure di adattamento per la tutela della risorsa idrica devono basarsi ancora di più su strutture che ne assicurino la disponibilità e la fornitura, e sulla gestione sostenibile e il riciclo della risorsa, a partire da meccanismi di risparmio ed efficienza, monitoraggio, restrizioni nell'uso e gestione del territorio. Perché questo avvenga è fondamentale intervenire per la riduzione dell'impronta idrica, promuovendo soluzioni eco-sostenibili nell'utilizzo dell'acqua dolce da parte delle persone e delle aziende: è necessario investire nella manutenzione delle infrastrutture idriche in maniera multi-scalare, evitando gli sprechi d'acqua potabile e parallelamente riducendo l'inquinamento da gas climalteranti.

L'azione congiunta di risparmio idrico, gestione sostenibile e uti-

lizzo responsabile dell'acqua può garantire una forte diminuzione dell'impronta idrica e gli interventi che permettono una gestione sostenibile circolare e un utilizzo responsabile della risorsa idrica a livello urbano sono interventi multi-scalari, che si possono apportare a partire dalla scala locale della singola unità abitativa, del singolo edificio o di un condominio, fino ad arrivare ad interventi a scala urbana che invece coinvolgono sistemi di edifici, comparti urbani, Distretti o Quartieri, e ad interventi a scala regionale e nazionale sulle infrastrutture idriche.

Parte degli interventi che prevedono soluzioni tecnologiche e impiantistiche finalizzate al miglioramento dei processi di circolarità delle risorse idriche, regolati e calibrati in funzione delle diverse scale di intervento, trovano una loro direzione legislativa, a livello nazionale, all'interno dei Criteri Ambientali Minimi (CAM), già riportati nel paragrafo 2.2.2, che definiscono i parametri di risparmio delle risorse idriche attraverso delle specifiche tecniche mirate sia alla scala dell'edificio (quali il risparmio idrico e gli impianti idrici sanitari) che alla scala urbana, di Quartiere e di Distretto Urbano (quali la riduzione del consumo di suolo e mantenimento della permeabilità dei suoli, la riduzione dell'impatto sul sistema idrografico superficiale e sotterraneo, la raccolta, depurazione e riuso delle acque meteoriche e la rete di irrigazione delle aree a verde pubblico).

I parametri di risparmio delle risorse idriche nei Criteri Ambientali Minimi, secondo l'aggiornamento del giugno 2022 (GURI, 2022), delineano, tra le specifiche a livello locale, alla scala dell'edificio, criteri che garantiscano e prevedano:

- l'impiego di sistemi di riduzione di flusso e controllo di portata e della temperatura dell'acqua. In particolare, tramite l'utilizzo di rubinetteria temporizzata ed elettronica con interruzione del flusso d'acqua per lavabi dei bagni e delle docce e a basso consumo d'acqua (6 l/min per lavandini, lavabi, bidet, 8 l/min per docce misurati secondo le norme UNI EN 816, UNI EN 15091) e l'impiego di apparecchi sanitari con cassette a doppio scarico aventi scarico completo di massimo 6 litri e scarico ridotto di massimo 3 litri;
- l'inserimento di orinatoi senz'acqua;

mentre, tra le specifiche territoriali a livello territoriale-urbanistico, criteri che garantiscano e prevedano:

- una superficie territoriale permeabile non inferiore al 60% della superficie di progetto;
- una superficie a verde pari ad almeno il 40% delle superfici di progetto non edificata ed il 30% della superficie dei singoli lotti;
- una copertura arborea di almeno il 40% e arbustiva di almeno il 20% nelle aree a verde pubblico;
- materiali drenanti per le superfici urbanizzate pedonali e ciclabili;
- la conservazione e/o il ripristino della naturalità degli ecosistemi fluviali, escludendo qualsiasi intervento di immissione di reflui non depurati;
- impianti di depurazione di prima pioggia dalle superfici scolanti impermeabili;
- corretto deflusso delle acque anche in caso di eventi eccezionali;
- la prevenzione sversamenti di inquinanti nel suolo e nel sottosuolo;
- realizzazione di una rete separata per la raccolta delle acque meteoriche;
- il convogliamento delle acque provenienti da superfici scolanti non soggette ad inquinamento (marciapiedi, aree e strade pedonali o ciclabili, giardini, ecc.) direttamente nella rete delle acque meteoriche e in vasche di raccolta per essere utilizzate a scopo irriguo o per alimentare le cassette di accumulo dei servizi igienici;
- il convogliamento preventivo delle acque provenienti da superfici scolanti soggette ad inquinamento (strade carrabili, parcheggi) in sistemi di depurazione e disoleazione, anche di tipo naturale, prima di essere immesse nella rete delle acque meteoriche;
- l'installazione di impianti di irrigazione a goccia automatico (con acqua proveniente dalle vasche di raccolta delle acque meteoriche alimentato da fonti energetiche rinnovabili).

Tuttavia i CAM sono obbligatori e inderogabili solo per i lavori volti al settore pubblico e, sebbene debba essere buona norma di nuova progettazione, riqualificazione e ristrutturazione applicare tali criteri di sostenibilità ambientale anche agli edifici privati, non sussistendo un obbligo legislativo a livello nazionale, e mancando la dovuta consapevolezza e responsabilità da parte dei cittadini e, talvolta, da parte dei tecnici competenti, i temi di risparmio idrico e riduzione dell'impronta idrica vengono ancora oggi lasciati da parte, ad eccezione delle Regioni italiane nelle quali sono state approvate leggi e disposizioni che estendano dettami simili, se non uguali, ri-

spetto a quelli dei CAM anche alla rigenerazione delle aree urbane e alla riqualificazione del patrimonio edilizio esistente⁷, indipendentemente dall'appartenenza o meno al settore pubblico.

Per questa ragione vengono presi a riferimento, ed ampliati anche in questa sede di definizione delle soluzioni tecnologiche e impiantistiche che rispondano rispettivamente al miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche attraverso una gestione sostenibile e alla necessità di ottenere un risparmio idrico, con dispositivi tecnologici mirati, nonché attraverso il *"responsible behaviour"* degli utenti finali.

Le soluzioni tecnologiche e impiantistiche che prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua sono molteplici e in alcuni casi sono molto economiche dal punto di vista dei costi, semplici da attuare, talvolta anche in autonomia, e rientrano negli interventi a impatto ambientale minimo, e che, unitamente ad accorgimenti, abitudini e buone pratiche per ridurre il volume del consumo idrico e ad interventi volti al miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche nelle loro componenti di acque potabili e reflue, favoriscono la riduzione dell'impronta idrica e apportano benefici dal punto di vista ambientale, economico e sociale agli utenti finali.

Tali soluzioni tecnologiche e impiantistiche, attuabili alla scala della singola unità abitativa o dell'edificio (Conte, G., 2008), sono riassumibili in:

- installazione di limitatori di flusso: volti a ridurre la portata di acqua in uscita da un rubinetto, ne mantengono invariata la pressione; l'installazione del dispositivo all'interno della cartuccia del rubinetto, garantisce un risparmio massimo raggiungibile che si aggira intorno al 50%, ed è preferibile che sia affidata ad un idraulico;
- inserimento di rompigetto o frangigetto: anche in questo caso il dispositivo è volto a ridurre la portata di acqua in uscita da un rubinetto, mantenendone invariata la pressione; ma sebbene lo scopo sia lo stesso, il limitatore di flusso riduce il valore di portata idrica in uscita, mentre il rompigetto va a miscelare acqua con aria in uscita dal rubinetto e questa miscela aria-acqua mantiene invariato il volume totale in uscita, risparmiando una notevole quantità di acqua grazie alla presenza di un certo quantitativo volumetrico di aria;

7. Ad esempio, nella Regione Lazio, la L.R. n. 7 del 18 luglio 2017 definisce le "Disposizioni per la rigenerazione urbana e per il recupero edilizio". Tale legge detta disposizioni finalizzate al perseguimento, attraverso la realizzazione degli interventi previsti dalla presente legge, di una o più delle finalità di seguito elencate: a) promuovere, incentivare e realizzare, al fine di migliorare la qualità della vita dei cittadini, la rigenerazione urbana intesa in senso ampio e integrato comprendente, quindi, aspetti sociali, economici, urbanistici ed edilizi; b) incentivare la razionalizzazione del patrimonio edilizio esistente e favorire il recupero delle periferie; c) qualificare la città esistente e limitare il consumo di suolo; (...); e) favorire il miglioramento della qualità ambientale e architettonica dello spazio insediato, promuovendo le tecniche di bioedilizia più avanzate, assicurando più elevati livelli di efficienza energetica e lo sviluppo delle fonti rinnovabili nel rispetto della normativa vigente; (...); g) promuovere lo sviluppo del verde urbano, l'adozione di superfici permeabili e coperture a verde pensile, la realizzazione di interventi per la regimentazione ed il recupero delle acque piovane.

nella rubinetteria moderna, il rompigitto è direttamente installato in fase di fabbricazione, ma nel caso in cui l'installazione avvenga in un secondo momento su impianti vecchi, avviene all'estremità del rubinetto, mediante filettatura (interna o esterna). Ad oggi è il dispositivo di risparmio idrico "ad uso domestico" più conosciuto ed utilizzato e garantisce un risparmio idrico ottenibile compreso tra il 30 e il 70%;

- installazione di soffioni a basso consumo per doccia: il principio di funzionamento di tali dispositivi è accomunabile a quello del rompigitto sopra trattato, con installazione semplice e realizzabile da un qualunque consumatore ed un risparmio idrico ottenibile fino al 50%;

- inserimento di rubinetti con temporizzatore: rubinetti dotati di un meccanismo di chiusura automatica al passaggio di un determinato numero di secondi (variabile tra i 5 e i 45 secondi) che, solitamente, vengono installati insieme ai limitatori di flusso, all'interno dei rubinetti; vengono prediletti nelle destinazioni d'uso non residenziali con il preciso scopo di ridurre lo spreco idrico legato ad un uso irrazionale da parte dell'uomo; dal punto di vista del risparmio idrico si stima una riduzione di circa il 25% di riduzione nei lavandini e di circa il 35% nelle docce;

- inserimento di rubinetti elettronici: rubinetto che viene azionato con il movimento delle mani in vicinanza ad esso; il tempo massimo di apertura è di 30 secondi e flusso e temperatura del getto risultano essere pre-regolati; la loro installazione prevede la necessità di corrente elettrica fino al rubinetto e garantiscono un risparmio idrico compreso tra il 40% e il 50%;

- inserimento di rubinetti termostatici: rubinetti provvisti di pre-selettore termico che sono maggiormente diffusi nelle docce, consentendo una doppia efficacia in termini di risparmio idrico (massimo del 50%) ed energetico: infatti si riducono i tempi di attesa del cambiamento di temperatura dell'acqua;

- inserimento di rubinetti monocomando e interruttori meccanici di flusso: stanno entrambi prendendo piede negli ultimi anni e prevedono, il primo per i lavandini, il secondo per le docce, un'ottima e rapida regolazione del flusso idrico e della temperatura e, oltre a ridurre gli sprechi al minimo, possono portare fino ad un risparmio idrico massimo del 50%;

- installazione di cassette WC a doppio pulsante: cassette di risciacquo che permettono una riduzione della portata scaricata in funzione dell'utilizzo richiesto per un risparmio che può raggiungere

i 100 litri di acqua al giorno; presentano un doppio pulsante che permette due volumi di scarico: tra i 3 e 6 litri, come previsto dai parametri di risparmio delle risorse idriche nei Criteri Ambientali Minimi, ridotto di un 30% rispetto alla cassetta tradizionale che prevedeva uno scarico massimo fino a 9 litri;

- realizzazione di un impianto di *Composting Toilet* o *toilet* a compostaggio: impianto idrosanitario molto simile a quello classico, con tubo di scarico di grosse dimensioni con inclinazione variabile che deposita indistintamente gli escrementi in una camera dove avviene lentamente la decomposizione; il vantaggio nell'utilizzo di tale sistema sta nell'assenza di utilizzo di acqua e, al tempo stesso, nell'assenza totale di cattivi odori; il sistema è ancora poco diffuso e necessita di precise e rigorose condizioni di ventilazione e di temperatura (tra i 10 e i 55 °C);

- inserimento di dispositivi con funzionamento a contrappeso: sono dispositivi che garantiscono un risparmio idrico senza sostituzione della cassetta WC; il dispositivo viene collegato al tubo di uscita dell'acqua e agisce come un peso che controlla in modo preciso la quantità di acqua scaricata e, a seconda della pressione applicata al tasto, la cassetta si svuota in misura diversa; presentano un unico pulsante e prevedono fino a 3 modalità di scarico;

- inserimento di sistemi di rilevamento delle perdite: sistemi elettronici utili per rilevare problematiche e consumi dell'impianto idrico, in particolare rilevano eventuali perdite nelle tubazioni (anche di piccolissima entità); controllano la temperatura, la pressione e il flusso dell'acqua; tutto ciò può essere gestito direttamente dal proprio PC tramite un software dedicato o in alternativa con applicazione scaricabile sugli smartphone; di facile installazione, il dispositivo viene posto a monte dell'impianto idrico dopo il contatore. Non è tra i dispositivi che portano ad un risparmio idrico diretto, ma è tra gli strumenti di controllo al fine di eventuali dispersioni e monitorare i consumi;

- inserimento di dispositivi volti al monitoraggio dei consumi: attraverso l'installazione di sistemi wireless in grado di tenere sotto controllo il consumo giornaliero dell'edificio o della singola unità abitativa, tra questi ad essere sono i contatori idrici elettronici che gestiscono reti idriche intelligenti e sono connessi via radio; oltre a fornire agli utenti informazioni utili sui propri consumi al pari dei sistemi di rilevamento delle perdite, possono essere molto utili per raccogliere dati a livello di consumi idrici globali e quindi concorrere ad un implementazione del servizio idrico integrato;

- installazione di un impianto di recupero delle acque meteoriche: provenienti dai tetti di un edificio o da qualsiasi altra superficie, questo sistema prevede la raccolta delle acque piovane, il filtraggio (l'eventuale trattamento se necessario) e il riutilizzo per attività che, tipicamente, non richiedano una qualità delle acque che rispetti i criteri di potabilità come il lavaggio toilette, lavaggio auto e per innaffiare (evitando di farlo nelle ore calde per ridurre l'evaporazione);
- installazione di un impianto di recupero e riutilizzo delle acque grigie: tale tipologia di impianto garantisce la raccolta e il trattamento per il successivo impiego per usi "secondari" delle acque provenienti da docce, lavabi e vasche e, in alcuni casi, dalle condense dei condizionatori o dalle caldaie, per riutilizzarle come lo scarico dei servizi igienici, l'irrigazione delle aree verdi e varie operazioni di lavaggio; può trattarsi di impianto ad ultrafiltrazione o impianto con disinfezione a ozono;
- installazione di un impianto per il recupero e il riutilizzo delle acque nere: Per il riutilizzo delle acque nere è necessaria una combinazione di processi di trattamento molto più complessi rispetto a quelli volti al trattamento delle acque meteoriche e grigie. In sequenza, sono necessari trattamenti di sedimentazione primaria, tramite fossa biologica Imhoff o degrassatore; ossidazione biologica, con impianto a fanghi attivi con ricircolo fanghi; e debatterizzazione, che avviene in un bacino di contatto per disinfezione ed accumulo per filtrazione in pressione su letto misto quarzite/carboni attivi;
- installazione di un impianto di micro-irrigazione: questo sistema, a goccia comandato da una centralina, permette di irrigare le piante in modo selettivo tramite un gocciolatore (o un tubo gocciolatore) creando le condizioni ottimali per lo sviluppo sano delle piante e garantendo un risparmio idrico che può raggiungere il 70%;

La prima delle tre macro-strategie di intervento portanti di questa Ricerca incentra l'attenzione non solo su una delle cause principali di dispersione e spreco della risorsa idrica a livello di distribuzione urbana ovvero quello del consumo incontrollato dei consumatori finali, complice un costo relativamente basso dell'acqua in bolletta e una quasi totale assenza di politiche volte all'istruzione sull'importanza del risparmio idrico, ma anche sulla necessità di migliorare la gestione circolare della risorsa idrica, mirando ad una limitazione del consumo di acqua potabile alle categorie che lo richiedano ef-

fettivamente (bagno e igiene personale, cucina e lavastoviglie), che, secondo uno studio sui consumi idrici domestici, riguardano il 47% dei consumi, ovvero meno della metà del totale (Conte, G., 2008). Questo significa che per la maggior parte dei consumi domestici è sufficiente un'acqua non potabile e proveniente da altri usi e dal processo di stoccaggio, depurazione e recupero delle acque reflue (grigie e meteoriche) e, perché questo avvenga, risulta importante accostare alle soluzioni tecnologiche e impiantistiche volte al risparmio idrico anche quelle soluzioni di intervento volte alla raccolta e ad un uso circolare della risorsa idrica in ambito urbano che, dalla raccolta delle acque meteoriche, arriva anche attraverso tecniche di drenaggio urbano sostenibile (Woods Ballard, B., et al., 2015; Masi, F., et al., 2018), quali:

- trincee infiltranti: vengono realizzate con lo scopo di favorire l'infiltrazione dei volumi di run-off attraverso la superficie superiore della trincea e la loro successiva filtrazione nel sottosuolo attraverso i lati e il fondo della trincea; sono in grado di rimuovere un'ampia tipologia di inquinanti dalle acque meteoriche, attraverso meccanismi di assorbimento, precipitazione, filtrazione, degradazione chimica e batterica;
- fasce filtranti: sono sistemi di pretrattamento naturale, solitamente abbinati a sistemi di drenaggio, in grado di bloccare parte dei solidi trascinati dalle acque di dilavamento e determinare la riduzione dei volumi di run-off attraverso l'infiltrazione su suoli permeabili;
- dreni filtranti: in grado di contenere, stoccare e filtrare temporaneamente le acque piovane e le acque superficiali drenate che vengono raccolte tramite canalette laterali e addotte ad un canale di raccolta delle acque meteoriche; l'acqua raccolta in parte filtrerà nel sottosuolo e in parte verrà convogliata verso l'uscita, facendola eventualmente affluire in un sistema di ritenzione o trattamento prima dello scarico in un corpo idrico;
- box alberati filtranti: consistenti in piccoli sistemi di biofiltrazione, permettono la rimozione delle sostanze inquinanti presenti nelle acque piovane, filtrandole prima del rilascio nel sistema fognario, in un sistema di ritenzione o nel sottosuolo;
- canali vegetati: si presentano come fossati lineari aperti, poco profondi, dalla forma trapezoidale o parabolica che fungono principalmente da mezzo filtrante e rimozione degli inquinanti mediante la captazione del flusso di acqua piovana;
- aree di bio-ritenzione vegetata: aree finalizzate alla raccolta e al

trattamento delle acque meteoriche drenate dalle superfici impermeabili circostanti mediante filtrazione e rimozione degli agenti inquinanti; questi sistemi permettono quindi un filtraggio e una depurazione del tutto naturale dell'acqua raccolta;

- bacini di detenzione: sono spazi vegetati poco profondi, atti allo stoccaggio superficiale temporaneo e al controllo del flusso dell'acqua meteorica; il loro funzionamento è quello di ricevere e trattene-re temporaneamente le acque di pioggia a seguito degli eventi meteorologici, per poi svuotarsi lentamente nell'arco di 24 ore attraverso sistemi di filtrazione installati per separarli dai detriti;
- stagni, zone umide e impianti di fitodepurazione: stagni e zone umide fanno riferimento a bacini in cui vengono convogliate le acque di pioggia e possono essere aree a diverse profondità mentre gli impianti di fitodepurazione vengono progettati principalmente per il trattamento delle acque di prima pioggia di reti separate o acque a sfioro di reti miste (reflue e meteoriche);
- coperture vegetali sui tetti e giardini pensili: soluzioni che permettono di assorbire fino al 50% di acqua piovana e di rallentare il deflusso della pioggia nel sistema idrico urbano, riducendo la possibilità di allagamenti in caso di forti precipitazioni e il tasso le polveri sottili in atmosfera;
- pavimentazioni permeabili: realizzate con superfici drenanti garantiscono il deflusso superficiale dell'acqua meteorica che permea nel terreno attraverso elementi modulari, in modo da permettere l'infiltrazione delle acque di dilavamento e, al tempo stesso, ridurre la subsidenza e mitigare l'effetto isola di calore.

Tali soluzioni hanno il preciso scopo di riequilibrare il bilancio idrologico, stoccare e mettere nuovamente in circolo le acque reflue che, se opportunamente filtrate e private degli inquinanti, sono sufficienti a coprire il restante 53% del fabbisogno idrico domestico che non richieda l'uso di acqua potabile (approvvigionamento idrico per gli impianti di climatizzazione e di scarico dei servizi igienici, uso irriguo delle colture e degli spazi verdi e di pulizia degli spazi esterni), a ridurre il carico degli inquinanti dei corpi idrici nonché a permettere alle città di comportarsi come "città spugna" (sponge-cities) e di sfruttare i servizi ecosistemici che derivano dalle *nature based solutions*.

La progettazione e l'installazione delle soluzioni tecnologiche e impiantistiche sopra descritte, volte sia volte al risparmio idrico che

alla gestione circolare della risorsa idrica, devono essere necessariamente accompagnate e supportate da accorgimenti, abitudini e buone pratiche, che favoriscono un *responsible behaviour* da parte degli utenti e che, parimenti alle soluzioni tecnologiche e impiantistiche, sono altrettanto volte al risparmio idrico, alla gestione circolare e alla riduzione dell'impronta idrica.

Accorgimenti e abitudini che consistono nel:

- mantenere gli impianti idraulici: sia manutenzione ordinaria, che può essere svolta in autonomia, sostituendo i rubinetti o i filtri anticalcare, che manutenzione periodica completa, pratica necessaria per evitare un danneggiamento lento nel tempo degli impianti idrosanitari, causando perdite e, quindi, maggiori consumi ingiustificati considerando che con un rubinetto che gocciola si possono arrivare a sprecare fino a 5 litri di acqua al giorno;
- chiudere l'impianto centrale in caso di periodi prolungati di mancato utilizzo;
- diversificare l'uso dell'acqua a seconda della sua qualità potabile o reflua;
- acquistare elettrodomestici a basso consumo e utilizzarli sempre a pieno carico e in modalità "eco": tali dispositivi, garantiscono un risparmio idrico e parimenti anche energetico ed economico; Si calcola che per un carico di lavastoviglie (classe A) senza prelavaggio vengano utilizzati fino a 15 litri (7 litri in classe A), mentre per un carico di lavatrice (classe A) si impiegano 45 litri;
- chiudere il rubinetto per non far scorrere l'acqua inutilmente: in un minuto si può evitare uno spreco di almeno 6 litri e fino ad arrivare a 30 litri di acqua;
- ridurre il Riempimento della Cassetta WC: questo accorgimento consente di limitare il consumo di acqua (potabile) dei servizi igienici, il quale rappresenta una notevole percentuale del consumo totale domestico, introducendo all'interno della cassetta dello sciacquone un oggetto che riempie parte del volume, in questo modo quando il volume di risparmio idrico che si ottiene andando a scaricare sarà pari al volume occupato dall'oggetto;
- raccogliere l'acqua fredda non utilizzata mentre si attende l'arrivo alla temperatura desiderata;
- utilizzare l'acqua raccolta in bacinelle anziché usare l'acqua corrente: questa pratica si rivolge alle operazioni di preparazione in cucina, in questo modo si arriva ad evitare uno spreco che può arrivare fino a 12 litri;

- recuperare e riusare l'acqua di secondo uso: l'acqua di condensa dei climatizzatori estivi può essere utilizzata come acqua distillata per i piccoli elettrodomestici mentre l'acqua che deriva dalla cucina (lavaggio verdure o cottura degli alimenti) può essere riusata per un prelavaggio per le stoviglie da mettere in lavastoviglie;
- optare per il lavaggio con doccia anziché con vasca da bagno: in questo modo si ottiene un risparmio idrico che può raggiungere i 1 200 litri/anno; per fare un bagno in vasca si consumano mediamente fra i 100 e i 160 litri di acqua mentre per fare una doccia di 5 minuti se ne consumano al massimo 40 litri, che si riducono ulteriormente se si chiude il rubinetto quando ci si insapona;
- evitare di lavare la propria auto usando acqua potabile: in questo modo si possono risparmiare fino a 400-500 litri;
- effettuare una adeguata pacciamatura intorno alle piante: tale operazione si effettua in agricoltura e giardinaggio ricoprendo il terreno attorno alle piante con uno strato di materiale al fine di mantenere l'umidità nel suolo e dunque ridurre il fabbisogno idrico, proteggere il terreno dall'erosione e dall'azione della pioggia battente e impedire la crescita delle erbe infestanti.

Ma tali accorgimenti, abitudini e buone pratiche, che dovrebbero essere parte del buon senso dell'utente finale, spesso non vengono effettuate, per mancanza di interesse o mancanza di conoscenza. Per questa ragione sono necessarie sempre più campagne di divulgazione scientifica che inneschino importanti ricadute nella presa di coscienza degli abitanti su un cambio di comportamento e dismissione di cattive abitudini, cercando di stimolare in modo virtuoso, non solo un ritrovato senso civico, ma anche una nuova sensibilità verso i temi ecologici, sociali ed economici, fornendo agli utenti finali le basi e gli strumenti per il proprio *responsible behaviour*.

Già durante lo scorso anno, nel 2022, il Ministero della Transizione Ecologica in Italia ha intrapreso, con questo scopo, una campagna divulgativa itinerante, articolata in 12 Comuni italiani, con l'obiettivo di informare, illustrare e innescare un confronto sulle opportunità offerte e sui comportamenti da adottare per incidere in modo efficace sul rispetto e sul risparmio dell'acqua, rivolta sia agli *stakeholders* e gestori del servizio idrico che al cittadino, fornendo a quest'ultimo gli strumenti e le informazioni per adottare quelle buone pratiche che si traducono anche in un risparmio economico andando a definire delle linee guida volte alla riduzione dei consumi

e degli sprechi idrici (MITE, 2022a); e contemporaneamente all'ex MiTE anche il laboratorio tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflue dell'ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) ha pubblicato 20 consigli per il risparmio idrico (ed energetico) per combattere la siccità (Petta, L., 2022).

Ed è dall'unione delle linee guida ministeriali nazionali e delle indicazioni dell'ente di ricerca che è stata articolata la definizione degli accorgimenti, abitudini e buone pratiche sopra elencati.

Tuttavia entrambe le campagne, non hanno ricevuto l'attenzione auspicata, andando ad impattare solo su una percentuale di persone piuttosto limitata.

E per aumentare questa percentuale, si ritiene che la divulgazione scientifica dei dati raccolti nella presente Ricerca debba articolarsi su diversi *output*, tra loro interrelati:

- divulgazione digitale tecnica e conoscitiva: volta a comunicare i risultati della Ricerca sia con strumenti online (sito web, portali social come Facebook e Youtube, piattaforme digitali quali Instagram e Tiktok), che offline (*brochure* digitale scaricabile e stampabile da apporre nei luoghi di passaggio degli utenti, *hub* di diffusione dei dati corredati di pannelli informativi e *flyer*);
- divulgazione accademica e scientifica: attraverso la partecipazione ai seminari nazionali e internazionali e ai convegni sul tema della sostenibilità e pubblicazioni scientifiche mediante gli atti dei convegni o pubblicazioni sulle riviste a *call* tematiche e *Open Access*;
- divulgazione didattica (presso scuole o Atenei): attraverso *workshop* didattici, con attività seminariali.

Il cambiamento delle abitudini delle persone e il *brainstorming* necessario perché questo avvenga sono, dunque, tra i nodi cruciali e i temi principali attorno ai quali ruota questo asse strategico necessario per far sì che il cittadino abbia gli strumenti conoscitivi necessari per partecipare alle politiche di sostenibilità idrica dando il proprio contributo attivo attraverso una gestione *smart*, circolare, consapevole e sostenibile della risorsa a livello domestico, di Quartiere e di Distretto Urbano.

6.2 Massimizzazione dell'efficienza energetica dei sistemi attivi a servizio del ciclo idrico integrato del Distretto Urbano, in funzione dei parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici

L'inefficienza del sistema di distribuzione idrica, con perdite idriche lungo la rete che variano in media dal 30% al 40% e del consumo incontrollato degli utenti finali nel proprio domicilio, sono tra le cause principali di dispersione e spreco della risorsa idrica a livello di distribuzione urbana. Per questa ragione, una volta delineato il primo dei macro-assi strategici, con le relative soluzioni di intervento, le abitudini, le buone pratiche e gli atteggiamenti volte ad una gestione sostenibile e al miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche, anche grazie ad un auspicabile aumento del *responsible behaviour* da parte dei cittadini, si deve poi pensare all'aspetto tecnico legato all'obsolescenza dei dispositivi impiantistici ancora in uso, rispetto a quelli moderni e più efficienti, e ad un efficientamento del ciclo idrico urbano integrato nell'ottica di una riduzione dell'impronta idrica e delle emissioni di CO₂, declinando tale efficientamento, ancora una volta, sia alla scala locale dell'edificio che alla scala urbana, del Quartiere e del Distretto Urbano.

Il futuro dell'industria europea dell'acqua dipende significativamente dalla capacità di trovare una risposta efficace alle attuali sfide per la conservazione di questa preziosa risorsa da gestire in modo responsabile ed efficiente con chiara consapevolezza del suo impatto diretto sulla salute umana, sulla produzione di energia, sulla sicurezza alimentare e sull'agricoltura.

La digitalizzazione e l'efficienza energetica sono alla base delle risposte necessarie per far fronte alle sfide emergenti e agli obiettivi dell'industria idrica, tra i quali si annoverano: la garanzia della qualità della risorsa idrica, la crescente domanda di acqua, le conseguenze del cambiamento climatico, il miglioramento della qualità della vita dell'utente finale, il degrado dell'infrastruttura e la manutenzione del patrimonio idrico, il rilevamento delle perdite, l'aumento dell'efficienza, nonché la sostenibilità della tariffa e la conformità alle normative e alla regolazione.

Le città devono considerare come abbinare la quantità e la qualità dell'acqua all'uso previsto, osservando l'intero ciclo dell'acqua da

una prospettiva sistemica in cui tutta l'acqua sia acqua utile e il recupero delle risorse sia massimizzato e parallelamente sia massimizzata anche l'efficienza energetica degli impianti a servizio del ciclo idrico integrato.

La massimizzazione dell'efficienza delle infrastrutture esistenti può, inoltre, ritardare la necessità di sostituire del tutto gli impianti attraverso interventi di *revamping*⁸, consentendo così di effettuare investimenti in aree più urgenti e, al tempo stesso, di ridurre le inefficienze e gli sprechi nell'uso delle risorse da parte dei servizi di pubblica utilità e contribuire direttamente alla protezione dell'ambiente, compreso il tema centrale della mitigazione delle cause del cambiamento climatico.

Adottando approcci sostenibili alla gestione dell'acqua, partendo dalla pianificazione alla scala sovra-urbana, le autorità locali e regionali possono aprire la strada alla riduzione del consumo di risorse, evitando potenziali carenze ma anzi garantendo, parallelamente all'aumento dell'efficienza, che gli ecosistemi naturali e gli spazi verdi esistano in armonia con l'attività urbana (WWC, 2018).

L'efficientamento del servizio idrico comporta azioni diverse e sinergiche che possono portare vantaggi su tre fronti interconnessi: il risparmio idrico, il risparmio energetico e la produzione di energia. L'implementazione di più misure di efficientamento e di recupero energetico all'interno del ciclo dell'acqua può consentire in alcuni casi di compensare in toto le esigenze energetiche del servizio idrico, o comunque avvicinare anche questo settore a consumi energetici quasi-zero.

Un ulteriore livello di ottimizzazione del sistema idrico riguarda la possibilità che questo possa essere gestito come elemento di flessibilità del sistema elettrico, consentendo l'assorbimento dei picchi di generazione elettrica da fonti rinnovabili non programmabili (Garofalo, E., et al., 2017).

La gestione dell'acqua deve, dunque, diventare efficiente e *smart*, riconoscendo il valore degli sprechi e promuovendo approcci di gestione integrata ed efficienza energetica mirando alla massimizzazione dell'efficienza energetica dei sistemi attivi a servizio del ciclo idrico integrato del Distretto Urbano, nelle varie fasi di servizio dei segmenti di acquedotto, fognatura e depurazione, mettendo in atto soluzioni mirate al compimento di sotto-strategie di carattere operativo, quali:

8. Dall'inglese "*to revamp*" (rimodernare, rinnovare), viene utilizzato in ambito industriale per indicare l'operazione di rifacimento e ristrutturazione degli impianti con lo scopo di allungare il ciclo di vita dei macchinari nell'ambito del processo di produzione attraverso la sostituzione del "cuore" di un macchinario industriale con soluzioni più all'avanguardia.

9. La distrettualizzazione consiste nella creazione di aree di distribuzione fra loro disconnesse, alimentate in pochi punti di entrata da una rete adduttrice; attraverso questi punti di accesso è possibile effettuare on-line misurazioni di portata nonché, agendo sulla regolazione a distanza del *set-point* dei regolatori, limitare ai valori strettamente necessari la pressione di distribuzione (GURI, 1997)

- efficientamento energetico degli impianti di captazione, adduzione e potabilizzazione: attraverso sistemi di automazione e telecontrollo che garantiscono il miglior funzionamento degli impianti di captazione, potabilizzazione e sollevamento dell'acqua;
- efficientamento energetico degli impianti di distribuzione (alla scala urbana e alla scala locale): attraverso la distrettualizzazione⁹ dell'impianto, finalizzata all'ottimizzazione e il monitoraggio quotidiano delle perdite e l'analisi dei consumi idraulici ed energetici in fase di pompaggio, andando così ad apportare una riduzione in termini di perdite della rete idrica, di prelievo idrico dall'ambiente e quindi, indirettamente, di consumi energetici legati alle fasi precedenti di captazione e adduzione;
- efficientamento energetico degli impianti di trattamento e depurazione delle acque reflue: attraverso pretrattamenti per rimuovere i corpi grossolani, la sabbia e gli olii, trattamenti primari per rimuovere i solidi sedimentabili e i trattamenti secondari tradizionali e terziari per la rimozione dell'azoto e con sistemi di de-fosfatazione chimica e biologica. Trattamenti che possono essere affidati a impianti di fitodepurazione che si avvalgono dell'attività depurativa delle piante e vengono utilizzati sia per la depurazione dei liquami (sistema a flusso sub-superficiale) sia per l'affinamento delle acque trattate negli impianti di depurazione tradizionali (sistemi a flusso superficiale);
- produzione di energie rinnovabili nelle reti di distribuzione idrica: che servano a loro volta ad alimentare la rete stessa degli impianti del servizio idrico;
- recupero energetico e termico nei sistemi di drenaggio urbano: energia elettrica e termica, diffusione di energia da fonti rinnovabili per l'alimentazione degli impianti del servizio idrico integrato;
- ottimizzazione della *performance* della rete idrica tramite *Water Management System*: piattaforma *software* modulare, che consentono l'utilizzo sinergico di principi e tecnologie dell'ITC già mature quali *business intelligence*, GIS, modellazione idrica, intelligenza artificiale e analisi di immagini satellitari, con quelle abilitanti dell'Industria 4.0 quali integrazione orizzontale e verticale, *big data*, *analytics*, *fabbrica virtuale*, *IoT* e automazione, al fine di realizzare un sistema che ottimizzi tutta la catena di processi del Sistema Idrico Integrato, dall'acquisizione dei dati fino alla fruizione di informazioni per assumere decisioni.

L'efficientamento energetico, nelle varie fasi impiantistiche del ciclo

idrico integrato, richiede inoltre una riflessione sulla scelta adeguata del tipo di fonte rinnovabile da inserire in funzione dei parametri ambientali legati sia alle risorse idriche di piovosità, siccità, umidità, livelli di acqua di falda ed evapotraspirazione, che alla posizione geografica dei vari Distretti Urbani. Solo dalla combinazione e dall'interrelazione di questi dati tra loro si può riuscire a massimizzare l'efficienza energetica ed idrica arrivando, al tempo stesso, ad azzerare quasi del tutto le emissioni di carbonio legate ai consumi energetici.

È ampiamente noto, infatti, che l'energia rinnovabile giochi un ruolo fondamentale e sempre crescente nel sistema energetico europeo e mondiale e che la massimizzazione dell'efficienza energetica derivi dal tipo di fonte energetica rinnovabile principalmente diffusa, in funzione delle caratteristiche geo-morfologiche e climatiche del sito, che includono (Eurostat, 2021):

- idroelettrico: l'energia elettrica generata dall'energia potenziale e cinetica dell'acqua negli impianti idroelettrici (non è inclusa l'energia elettrica generata negli impianti di pompaggio);
- energia mareomotrice: energia meccanica derivata dal movimento delle maree, moto ondoso o corrente oceanica e sfruttata per la generazione di elettricità;
- energia geotermica: l'energia disponibile sotto forma di calore dall'interno della crosta terrestre, generalmente sotto forma di acqua calda o vapore;
- energia eolica: l'energia cinetica del vento convertita in elettricità nelle turbine eoliche;
- energia solare: energia solare termica (radiazione sfruttata per il calore solare) e solare fotovoltaico per la produzione di energia elettrica;
- calore ambientale captato dalle pompe di calore: pompe di calore alimentate da elettricità o altra energia supplementare, per estrarre (immagazzinare) energia dall'aria, dal suolo o dall'acqua e convertirla/trasferirla in energia da utilizzare altrove (ad es. tramite impianti di riscaldamento a pavimento e/o acqua negli edifici domestici);
- biocarburanti combustibili da biomasse: che includono biocarburanti solidi, biogas e biocarburanti liquidi;
- rifiuti urbani rinnovabili;

e, dal punto di vista dell'elettrificazione, le fonti energetiche rinnovabili dell'Unione Europea, nel 2021, hanno rappresentato il 37,5% del consumo lordo di energia, guidate da energia eolica (36%) e idroelettrico (33%), seguite da energia solare (14%), biocarburanti solidi (8%) e altre fonti rinnovabili (8%) (REN21, 2022; Eurostat, 2022).

Analizzando i parametri ambientali, la posizione geografica di un sito urbano e delle adeguate fonte energetiche rinnovabili, le strategie di carattere operativo sopra elencate nel presente paragrafo trovano la loro applicazione in specifiche soluzioni tecnologiche e impiantistiche volte ad aumentare l'efficienza, fino a massimizzarla, dei sistemi attivi a servizio del ciclo idrico integrato e ad affrontare la portata delle sfide globali che richiede questa nuova innovazione.

Tuttavia sono soluzioni che per poter essere progettate e realizzate hanno bisogno di supporto anche a livello sovra-urbano e della cooperazione tra tecnici ed esperti del settore delle costruzioni e dell'energia e gestori dei servizi idrici locali, oltre che accademico.

Per questa ragione tali soluzioni in questa Tesi di Dottorato vengono delineate soltanto in merito alla strategie legate efficientamento energetico degli impianti di distribuzione, nel segmento che coinvolge l'acquedotto del servizio idrico integrato (con particolare riferimento alla scala locale, prima ancora che alla scala urbana) e accennano solo a quelle volte all'efficientamento energetico degli impianti di trattamento e depurazione delle acque reflue, nel segmento volto alla depurazione nel servizio idrico integrato.

Le soluzioni di intervento volte alla raccolta e ad un uso circolare della risorsa idrica in ambito urbano, sono già state anticipate nel precedente paragrafo in merito alle tecniche di drenaggio urbano sostenibile e agli impianti di captazione, stoccaggio e riuso delle acque reflue (meteoriche, grigie e provenienti dagli impianti di climatizzazione estiva) mentre per le altre sotto-strategie di carattere operativo, quelle più strettamente rivolte ai gestori del servizio idrico integrato locale, vengono prese a riferimento soluzioni tecnologiche e impiantistiche già adottate dai diversi gestori, in esempi nazionali ed internazionali scelti a riferimento.

6.3 Riduzione delle emissioni di CO₂ legate al ciclo idrico integrato attraverso soluzioni tecnologiche e impiantistiche a scala dell'edificio e dell'intero Distretto Urbano

Lo strumento di Regolazione introdotto dall'ARERA nel 2017 e del ricorso alla norma UNI 14064 per il calcolo della riduzione delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera, anticipate nel Capitolo 2, in termini di riduzione delle emissioni di CO₂ nel Distretto Urbano definisce, sebbene non in maniera del tutto esplicita, i termini per il calcolo delle emissioni di tipo diretto e indiretto legate al ciclo idrico integrato: nei sistemi di potabilizzazione e distribuzione dell'acqua potabile le emissioni sono prevalentemente di origine indiretta, derivanti dal consumo di prodotti chimici e di energia, quest'ultimo legato soprattutto ai pompaggi in rete della risorsa idrica mentre la maggioranza delle emissioni dirette del Sistema Idrico Integrato deriva invece dal trattamento delle acque reflue, per il quale i canali di emissione e i relativi fattori emissivi sono, sebbene ancora non del tutto consolidati, più codificati rispetto ad altri segmenti del ciclo idrico, come l'acquedotto e la fognatura.

Altro aspetto delle emissioni indirette da prendere in considerazione (in quanto emissioni riconducibili a scelte operative, gestionali o di esercizio dell'organizzazione) sono le emissioni per il consumo di energia.

Queste emissioni generalmente rappresentano uno dei contributi principali alle emissioni totali del Sistema Idrico Integrato e, pertanto, gli interventi primari di decarbonizzazione devono essere rivolti, in primo luogo, alla riduzione dei consumi energetici (REF Ricerche, 2022b).

La letteratura tecnica e scientifica riporta diversi strumenti e *software* sviluppati per stimare l'impronta di carbonio del servizio idrico integrato.

Sono stati implementati strumenti di calcolo stazionari e di simulazione dinamici per la determinazione dell'impronta di carbonio di un singolo impianto o del servizio di depurazione e per il calcolo delle emissioni dirette, tuttavia gli stessi modelli non riescono a tenere conto della globalità delle emissioni climalteranti degli impianti perché non tengono conto delle unità di trattamento aerate

e di conseguenza forniscono un quadro completo ma non esaustivo (REF Ricerche, 2022b; Demir, Ö., et al., 2019).

Delle emissioni di CO₂ sono generalmente considerate solo quelle di origine fossile, mentre la parte biogenica, sebbene nel settore idrico possa essere una quota significativa derivante dalla respirazione microbica durante i processi biologici, di solito non viene quantificata: le stesse linee guida IPCC (IPCC, 2018a), non conteggiano le emissioni di CO₂ di origine biogenica, poiché si ritiene che ai fini della valutazione degli impatti dell'attività umana sulle variazioni atmosferiche non abbiano incidenza sull'incremento di CO₂ in atmosfera.

Facendo seguito a questa premessa e alle strategie sopra delineate di miglioramento dei processi di circolarità e gestione sostenibile delle risorse idriche e di massimizzazione dell'efficienza energetica dei sistemi idrici a servizio del ciclo idrico integrato nel Distretto Urbano, la definizione delle azioni che permettono di ottenere una riduzione delle emissioni di CO₂ sono così riassumibili:

- ottimizzazione dei processi e dei trattamenti volti a migliorare il processo di circolarità e i parametri di esercizio: attraverso implementazione di processi di circolarità con soluzioni passive e di matrice prevalentemente vegetale, o con tecnologia di areazione passive per quanto riguarda il settore della filtrazione e della depurazione, mentre per quanto riguarda il trattamento, la potabilizzazione e la distribuzione attraverso il controllo dei consumi energetici nei sistemi di pompaggio e il monitoraggio delle reti di distribuzione mirato alla riduzione delle perdite idriche;
- installazione di fonti energetiche rinnovabili da produrre e consumare in loco, in particolare quella solare e quella idroelettrica, volte alla riduzione delle emissioni dovute al consumo elettrico: attraverso la sostituzione o il *revamping* degli impianti esistenti, la riqualificazione energetica degli edifici, nonché l'applicazione dei sistemi di *Water Management System* per poter gestire domanda di risorsa richiesta e capacità di carico nell'ottica di una previsione che permetta di ridurre i consumi energetici.

Di conseguenza, ai fini del calcolo delle emissioni di CO₂ nei Distretti Urbani verranno prese in considerazione le seguenti soluzioni di intervento:

- installazione di dispositivi tecnologici e impiantistici volti alla gestione sostenibile della risorsa idrica (si veda il paragrafo 6.1);
- monitoraggio dei consumi energetici tramite *tool* di monitoraggio;
- monitoraggio, ricerca e riduzione delle perdite;
- installazione di sistemi efficienti di pompaggio delle acque reflue;
- installazione di un sistema di trattamento e riuso delle acque reflue;
- riutilizzo dell'acqua effluente dall'impianto di trattamento delle acque reflue;
- installazione di impianti di generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili in loco;
- uso esclusivo di energie da fonte rinnovabile.

Soluzioni che verranno fattivamente applicate dal punto di vista del Distretto Urbano, per quanto riguarda parte della fase di uso e distribuzione del segmento dell'acquedotto, e che saranno analizzate e verificate attraverso la realizzazione di uno strumento di calcolo stazionario semplificato che garantisca in parallelo una lettura dei consumi idrici per singoli edifici e idrici ed energetici a scala distrettuale e delle emissioni di CO₂ a ciascuno di essi connesse.

Tale *tool* di calcolo verrà introdotto, presentato e successivamente applicato su un caso pilota romano nel Capitolo successivo.

Come nel caso della seconda macro-strategia di massimizzazione dell'efficienza energetica dei sistemi attivi, ai dati raccolti e analizzati a livello del Distretto Urbano saranno affiancati e interrelati quelli disponibili a partire dalle informazioni divulgate dal gestore del Servizio Idrico Integrato di pertinenza.

References

- Conte, G. (2008), *Nuvole e sciacquoni – come usare meglio l'acqua in casa e in città*. Edizioni Ambiente srl, Milano. ISBN 978-88-89014-76-9;
- Demir, Ö., Yapıcıoğlu, P. (2019), Investigation of GHG emission sources and reducing GHG emissions in a municipal wastewater treatment plant, in *GHG Greenhouse Gases Science and Technology* vol.9(5) 948-964. <https://doi.org/10.1002/ghg.1912>
- EEA (2021), *Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment*, EEA Report n. 12/2021, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-391-7 doi:10.2800/320975
- Eurostat Statistics Explained (2021), *Glossary: Renewable energy sources*. Online publication, ISSN 2443-8219. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Renewable_energy_sources
- Eurostat Statistics Explained (2022), *Renewable energy statistics*. Online publication, ISSN 2443-8219. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics
- Garofalo, E., Mancusi, L., Morandi, S., Volonterio, M. (2017), *Energia ed efficienza energetica del servizio idrico integrato*. Area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori energetici". Ricerca Sistema Energetico (RSE), Milano;
- GURI (1997), articolo 2.2 dell'allegato 2, D.M. LL.PP. 99/97 recante "Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature" (G.U. n. 99 del 8.01.1997). Available at: https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1997-04-18&atto.codiceRedazionale=097G0136&elenco30giorni=false
- GURI (2022), *Spediz. abb. post. 45% - art. 2, comma 20/b Legge 23-12-1996, n. 662 - Filiale di Roma, Anno 163 - numero 183*. Ufficio pubblicazione leggi e decreti, Roma. Available at: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2022/08/06/183/sg/pdf>
- IPCC (2019a), *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. ISBN 978-4-88788-232-4
- IPCC (2022c), *2022: Water*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi:10.1017/9781009325844 .006
- Masi, F., Rizzo, A., Bresciani, R. (2018), *Sustainable Rainwater Management in the City: Opportunities and Solutions for the Anthropogenic Environmental Impacts Reduction and Urban Resilience Increase in Smart Metropolis*. Dlugi Targ 39/40, 80-830 Gdansk, 109-119; 978-83-65496-02-07
- MITE (2022a), *Ho rispetto per l'acqua, sensibilizzare a un consumo responsabile della risorsa idrica*. Available at: <https://www.horispettoperlacqua.it/il-progetto/>
- Petta, L. (2022), *Acqua: siccità, i 20 consigli ENEA per il risparmio idrico (ed energetico)*. ENEA, Roma. Available at: <https://www.enea.it/it/Stampa/comunicati/acqua-siccita-i-20-consigli-enea-per-risparmiare-acqua-ed-energia/#nota2>

REF Ricerche (2022b), *Climate-Smart Water Utilities: la roadmap per la decarbonizzazione del settore idrico*, Laboratorio SPL Collana Ambiente LabTech N°212 maggio 2022. REF ricerche, Milano. ISSN 2531-3215

REN21 (2022), *Renewables 2022 Global Status Report*. REN21 Secretariat c/o UN Environment Programme, Paris. ISBN 978-3-948393-04-5

Utilitatis Fondazione in collaborazione con Istat e Cassa Depositi e Prestiti (2022), *I dati del servizio idrico integrato in Italia*, Blue Book 2022, Pubblimedia srl, Roma. Available at: https://www.utilitatis.org/wp-content/uploads/2022/03/BBexecutive_2022.pdf

WAREG (2021), *Water Regulatory Governance across Europe*, Wareg Report 1/2021, WAREG Publications, Milano. Available at: <https://www.wareg.org/document s/water-regulatory-governance-in-europe/>

Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. and Kellagher, R. (2015), *The SuDS Manual*, C753, CIRIA, London, UK. ISBN 978-0-86017-760-9

WWC (2018), *Start with water – putting water on local action agendas to support global change*, Marseille.

Definizione del metodo di Ricerca, applicazione al caso di studio e definizione dei risultati attesi

ABSTRACT (INGLESE)

After defining the key strategies and sub-strategies and the replicable intervention solutions of an operational nature necessary for the circularity of water resources to concretely contribute to Deep Energy-Zero Emission Renovation, the first part of this Chapter circumscribes and addresses the investigation focus through the definition of the Research method and of the calculation method set up to parallel define the water consumption of the Urban District, the energy consumption from electricity necessary to satisfy the water requirement, and the CO₂ emissions. Starting from the determination of the calculation method to be applied, 10 indicators of functional quantities were developed to define, in detail, consumption and the related CO₂ emissions into the atmosphere.

After being developed, these indicators were systematized within a calculation tool created on Microsoft Excel, part of the Microsoft Office personal productivity software suite and they were then subsequently applied to a pilot case, to evaluate their effective scientific validity. The choice of the pilot case that will be presented in the second part of this chapter fell on an Italian case, in particular a Roman district. The choice derives both from the analysis of the environmental parameters of rainfall, drought, humidity contained in the soil, availability of groundwater and evapotranspiration and from the geo-morphological characteristics of the site, and from the analysis of the data acquired at national level relating to the weather situation -climatic and hydrological: the interrelation of these data highlights how much, at present, the Italian territory, and Rome in particular, suffers a medium-risk impact from the contemporary climatic condition. However, the method elaborated here is designed, not only for an application at the local national level, but for a projection on a wider scale at the European level, as a flexible, adaptive and constantly evolving application method, to evaluate not only the benefits obtained from the relationship between technological-plant solution and circularity of the natural resource, but also how these benefits acquire a more or less greater weight and relevance according to the geo-morphological characteristics of the site under analysis and the environmental parameters that characterize it. This last aspect, in particular, finds a strong resonance both in the systems aiming at reducing water consumption and in the choice of active plant solutions to be integrated into the Urban Districts, to be punctually evaluated according to the most suitable renewable energy source from a production point of view, in order to reduce not only energy consumption to cover water needs but above all the related CO₂ emissions.

ABSTRACT

Dopo aver definito le strategie-chiave e le sotto-strategie di carattere operativo e le soluzioni tecnologiche ed impiantistiche necessarie affinché la circolarità delle risorse idriche possa contribuire concretamente alla *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, nella prima parte del presente Capitolo si circoscrive e si affronta il focus di indagine attraverso la definizione del metodo di Ricerca e del metodo di calcolo impostato per definire parallelamente i consumi idrici del Distretto Urbano, i consumi energetici da energia elettrica necessari per soddisfare il fabbisogno idrico, e le emissioni di CO₂. A partire dalla determinazione del metodo di calcolo da applicare, sono stati elaborati 10 indicatori di quantità funzionali a definire, nel dettaglio, i consumi e le relative emissioni in atmosfera di CO₂.

Tali indicatori, dopo essere stati sviluppati, sono stati sistemizzati all'interno di un *tool* di calcolo realizzato su Microsoft Excel, e poi sono stati successivamente applicati ad un caso pilota, per valutarne l'effettiva validità scientifica. La scelta del caso pilota che verrà presentato nella seconda parte del presente Capitolo, è ricaduta su un caso italiano, in particolare un quartiere romano. La scelta deriva sia dall'analisi dei parametri ambientali di piovosità, siccità, umidità contenuta nel suolo, disponibilità delle acque di falda ed evapotraspirazione e dalle caratteristiche geo-morfologiche del sito, che dall'analisi dei dati acquisiti a livello nazionale relativi alla situazione meteo-climatica e idrologica: l'interrelazione di tali dati evidenzia quanto, allo stato attuale il territorio italiano, ed in particolare romano, subisca un impatto a medio rischio da parte della condizione climatica contemporanea. Tuttavia il metodo qui elaborato è pensato, non solo per una applicazione a livello nazionale locale, ma per una proiezione a scala più ampia a livello europeo, come metodo applicativo flessibile, adattivo e in costante evoluzione, per valutare non soltanto i benefici ottenuti dalla relazione tra soluzione tecnologica-impiantistica e circolarità della risorsa naturale, ma anche come tali benefici acquisiscano un peso e una rilevanza più o meno maggiori in funzione delle caratteristiche geo-morfologiche del sito in analisi e dei parametri ambientali che la caratterizzano. Questo ultimo aspetto, in particolare, trova una forte risonanza sia nei sistemi volti alla riduzione dei consumi idrici che nella scelta delle soluzioni impiantistiche attive da integrare nei Distretti Urbani, da valutare puntualmente in funzione della fonte energetica rinnovabile più adeguata dal punto di vista produttivo, al fine di ridurre non solo i consumi energetici a copertura dei fabbisogni idrici ma soprattutto le emissioni di CO₂ ad essi correlati.

7.1 Metodo di Ricerca: il calcolo dei consumi idrici, dei consumi energetici legati al fabbisogno idrico e delle emissioni di CO₂

Guardando alle sperimentazioni in atto nelle *circular* e *climate-neutral cities* analizzate, il quadro normativo internazionale e nazionale che spinge verso la definizione e l'applicazione di parametri di miglioramento nell'uso dell'acqua negli edifici, attraverso l'attuazione di processi di raccolta-recupero-riuso delle acque reflue, e della definizione delle macro-strategie volte alla massimizzazione del ruolo della risorsa idrica nel raggiungimento del tema centrale della mitigazione delle cause del cambiamento climatico attraverso l'obiettivo di Decarbonizzazione dei Distretti Urbani in combinazione con un'attenzione mirata all'aumento della consapevolezza e del *responsible behaviour* da parte dei cittadini, è stata messa a punto una metodologia che, a partire dal calcolo dei consumi idrici e dei consumi energetici legati al fabbisogno idrico, permettesse di valutare anche le emissioni di CO₂ ad essi correlate, sia frazionandole in base alle diverse destinazioni d'uso civile, residenziale e non, proprie delle diverse morfologie dei Distretti Urbani, che analizzandole rispetto al quadro complessivo del ciclo idrico integrato delle acque nelle fasi d'uso di distribuzione dell'acqua potabile, all'interno del distretto, di reimmissione in fognatura e di impianti di depurazione delle acque reflue urbane.

Infatti, per poter ridurre le emissioni di CO₂ sia a livello locale che a livello personale, il primo passaggio è stato necessariamente quello di quantificarle, valutando tramite un opportuno bilancio, le emissioni di CO₂ di cui ciascuno è responsabile (*water carbon footprint*), e questo passaggio è stato possibile solo dopo aver analizzato i metodi di calcolo e di quantificazione del fabbisogno idrico degli edifici nei protocolli di sostenibilità Itaca, Leed e Breeam per poter valutare quale tra questi fosse il più indicato da prendere a riferimento per l'elaborazione degli indicatori di calcolo, dapprima elaborati, e successivamente inseriti nel *tool* sviluppato per la presente Ricerca. Una volta definito un criterio di quantificazione valido sono stati poi definiti gli indicatori adottati per la determinazione del fabbisogno idrico nei Distretti Urbani, a livello individuale di edificio in funzione delle diverse destinazioni d'uso e di Distretto Urbano, a

partire dall'analisi demografica e territoriale necessarie per poter raccogliere i dati di *input*.

7.1.1 I consumi idrici nei protocolli di sostenibilità: Itaca, Leed, Breeam

L'analisi dei molteplici protocolli esistenti, sia a scala nazionale che internazionale, finalizzati alla valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici ha permesso di individuare le due certificazioni tra le più utilizzate e conosciute nel settore dell'edilizia: LEED e BREEAM.

A livello nazionale è altrettanto conosciuto ed utilizzato anche il protocollo ITACA che costituisce uno strumento tecnico per la valutazione del grado di sostenibilità energetico ambientale delle costruzioni.

Tutte e tre consistono in certificazioni che vengono costantemente aggiornate, per stare al passo con le innovazioni del mercato dell'edilizia sostenibile e con le normative vigenti, sviluppate in conformità con le necessità costruttive di ogni nazione. Questa flessibilità rende tali certificazioni adattabili ai diversi progetti, avendo la possibilità di contestualizzarli nel sito geografico in cui si trovano o in cui verranno realizzati, a seconda che si tratti di edifici esistenti o di nuova costruzione.

I protocolli di sostenibilità sono costituiti da una serie di buone pratiche progettuali orientate a ridurre l'impatto ambientale e migliorare il comfort all'interno degli edifici oltre che in fase di cantiere e in fase di esercizio. Nei protocolli di sostenibilità le buone pratiche vengono messe a sistema attraverso l'assegnazione di un punteggio e di un peso specifico rivolto a ciascuna, in relazione alle prestazioni raggiunte dall'edificio, assegnano un rating di sostenibilità all'edificio al termine della sua costruzione.

Ovviamente, tutti i protocolli per la certificazione della sostenibilità ambientale citati prendono in considerazione il tema della gestione delle risorse idriche ma lo fanno con modalità di calcolo, di valutazione e di assegnazione di punteggi molto diverse tra loro.

Il Protocollo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), promosso dall'ente GBC (*Green Building Council*), nella versione LEED O+M V4, si rivolge alla valutazione degli interventi di riqualificazione degli edifici esistenti, ed è organizzato in cinque cate-

rie ambientali: sostenibilità del sito, gestione delle acque, energia e atmosfera, materiali e risorse, qualità ambientale interna. Oltre a queste cinque sono presenti anche: innovazione nella progettazione e priorità regionale. Ogni categoria è ulteriormente suddivisa in crediti e ognuno di essi vale almeno un punto, e prevede inoltre dei prerequisiti obbligatori.

Il punteggio finale è 100 a cui possono essere sommati eventuali altri 10 punti derivanti dalle due categorie aggiuntive di Innovazione nella progettazione e priorità regionale).

Per questo protocollo la categoria d'interesse, per la gestione delle risorse idriche è "Gestione delle acque" che contiene:

- il prerequisito obbligatorio - "Riduzione del consumo di acqua potabile ad uso domestico" al quale fanno seguito la finalità di ridurre la domanda di acqua all'interno degli edifici attraverso l'impiego di soluzioni tecnologiche efficienti (tra le soluzioni tecnologiche non è, tuttavia, contemplata la presenza di elettrodomestici elettrodomestici a basso consumo idrico ed energetico) e il requisito di ottenere un risparmio idrico del 10% rispetto ad un edificio di riferimento;
- il Credito 1 - "Riduzione di acqua potabile ad uso domestico" con la finalità di minimizzare la domanda di acqua all'interno degli edifici attraverso l'impiego di tecnologie efficienti e/o sistemi di captazione, accumulo e trattamento di acqua meteorica e/o acque grigie per usi domestici raggiungibile attraverso due opzioni distinte: opzione 1.1, Riduzione dei consumi (a cui viene attribuito un massimo di 4 punti) rispetto all'edificio di riferimento precedente; opzione 1.2, Strategie per il risparmio, il recupero e il riuso di acqua, (a cui viene attribuito un massimo di 7 punti) attraverso l'adozione di sistemi volti al recupero e riuso che consentano una riduzione complessiva del consumo di acqua del 50%;
- il Credito 2 - "Gestione efficiente dell'acqua a scopo irriguo" con la finalità di limitare o evitare l'impiego di acqua potabile, di superficie o del sottosuolo per l'irrigazione delle aree a verde, che si applica solo se la superficie delle aree a verde è almeno il 20% delle aree esterne ed è raggiungibile attraverso tre opzioni distinte: opzione 2.1, Riduzione attraverso pratiche di progettazione del paesaggio efficienti (a cui viene attribuito un massimo di 2-3 punti); opzione 2.2, Riduzione dei consumi di acqua potabile per scopi irrigui (a cui viene attribuito un massimo di 2 punti) rispetto al valore calcolato come base nel periodo centrale dell'estate, riduzione che si può effettuare con qualsiasi combinazione dei seguenti punti d'interven-

to: (1) presenza di specie di piante, densità e fattore climatico, (2) efficienza del sistema d'irrigazione, (3), utilizzo di acqua piovana raccolta mediante appositi sistemi, (4) utilizzo di acque di rifiuto riciclate e depurate, (5) utilizzo delle acque trattate e convogliate da sistemi pubblici per utilizzi non potabili; opzione 2.3, Progettazione efficiente e nessun utilizzo di acqua a scopi irrigui, (a cui viene attribuito un massimo di 5 punti) che prende in considerazione una combinazione di pratiche agronomiche mirate alla riduzione dei consumi di acqua per irrigare quali la presenza di particolari tipologie vegetative che non necessitano di sistemi d'irrigazione permanenti, la progettazione delle aree verdi con piante native o adattate per la regione (GBC Italia, 2016).

Sommando i crediti presentati, alle risorse idriche è destinato un punteggio variabile tra 4 e 12 punti che, rispetto al totale di 110 punti ottenibili, fa sì che la risorsa naturale incida sul punteggio totale per il 10.9%.

Il protocollo BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), pubblicato per la prima volta dal BRE agli inizi degli anni Novanta, è uno dei primi sistemi di certificazione ad essere creato ai fini della valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici. In particolare nella sua versione più aggiornata, l'*International New Construction* version 6, introdotta alla fine del 2021, rafforza il proprio obiettivo principale di mitigazione dell'impatto del ciclo di vita degli edifici sull'ambiente.

La suddivisione delle tematiche oggetto di certificazione avviene tramite sezioni ambientali che sono a loro volta distribuite in temi di valutazione. Le sezioni ambientali sono: gestione, salute e benessere, energia, trasporti, acqua, materiali, rifiuti, uso del suolo ed ecologia, inquinamento, innovazione.

Per quanto riguarda la sezione ambientale "acqua", questa è, a sua volta, suddivisa in quattro temi di valutazione:

- Wat 01 - consumo di acqua (al quale viene assegnato un massimo di 5 crediti) e viene valutato in base alle percentuali di risparmio idrico ottenibili rispetto a un consumo standard di riferimento, in funzione delle differenti zone climatiche;
- Wat 02 - monitoraggio dell'acqua (a cui viene attribuito al massimo 1 credito) e viene valutato in base ai contatori per il monitoraggio dei consumi che devono essere obbligatoriamente installati e,

nel caso in cui le aree verdi o altre aree dell'edificio contribuiscano per più del 10%, devono essere previsti anche dei sub-contatori, inoltre tutti gli strumenti di misura installati, secondo questo tema di valutazione, devono essere connessi ad un appropriato sistema di gestione dei consumi;

- Wat 03 - contenimento delle perdite idriche (al quale viene assegnato un massimo di 3 crediti), considerato in base alla presenza o meno di un sistema di rilevamento delle perdite idriche per l'edificio;
- Wat 04 - apparecchi idrici efficienti (il cui peso sul punteggio globale è di massimo 1 credito) per l'ottenimento del quale è richiesta la dimostrazione che le scelte tecnologiche effettuate per ridurre i consumi idrici siano efficienti rispetto agli standard previsti;

La valutazione complessiva del progetto, fatta in percentuale su sei differenti livelli di classificazione, compresi tra *outstanding* (punteggio maggiore o uguale all'85%) e *unclassified* (punteggio minore del 30%) (BRE Global, 2017; Summerson, S., et al., 2021), attribuisce alla sezione ambientale "acqua" una incidenza complessiva del 6.4% rispetto al totale.

Il protocollo ITACA stima il livello di sostenibilità ambientale di un edificio residenziale misurando la sua prestazione rispetto a 49 criteri suddivisi in 18 categorie a loro volta aggregate in 5 aree di valutazione: qualità del sito, consumo di risorse, carichi ambientali, qualità ambientale *indoor*, qualità del servizio.

Per ogni criterio l'edificio riceve un punteggio che variabile tra il -1 e il +5 che viene assegnato confrontando l'indicatore calcolato con i vari valori definiti dalla scala di prestazione (*benchmark*). Con lo 0 si indica la prestazione minima accettabile definita dalle normative vigenti, o, in caso non vi siano regolamenti di riferimento, ci si riferisce alla pratica corrente, il -1 rappresenta una prestazione inferiore allo standard e il +5 rappresenta una prestazione considerevolmente avanzata o sperimentale.

In questo protocollo la gestione delle risorse idriche ricade sia nell'area di valutazione relativa al consumo delle risorse con i criteri:

- 2.4.1.: "Acqua potabile per irrigazione" - anche in questo caso parte della categoria "Acqua potabile", viene calcolato a partire dal fabbisogno di riferimento base per l'irrigazione e dalla quantità effettiva

di acqua risparmiata grazie alla piantumazione di specie vegetali a bassa richiesta idrica o all'eventuale apporto dell'acqua non potabile finalizzata all'irrigazione. Il rapporto tra i due volumi di acqua viene confrontato con il *benchmark* di riferimento per l'attribuzione del punteggio;

- 2.4.2.: "Acqua potabile per usi *indoor*" - fa parte della categoria "Acqua potabile", ed è calcolato a partire dal volume di acqua potabile necessario per soddisfare il fabbisogno idrico per usi *indoor*, destinazione d'uso residenziale e non residenziale e dal volume di acqua potabile risparmiata grazie a soluzioni tecnologiche di riduzione dei consumi. Il valore ottenuto dal rapporto tra i due volumi viene confrontato con il *benchmark* di riferimento per l'attribuzione del punteggio;

che in quella rivolta ai carichi ambientali, con i criteri di:

- C.3.2.1.: "Acque grigie inviate in fognatura" - fa parte della categoria "Acque reflue", ed è calcolato a partire dal volume standard di acque grigie potenzialmente immesse in fognatura calcolate come refluo corrispondente al fabbisogno idrico per usi *indoor* (ad esclusione dei WC), destinazione d'uso residenziale e non residenziale. Il volume di acqua ottenuto viene confrontato con il *benchmark* di riferimento per l'attribuzione del punteggio;

- 3.2.2.: "Acque meteoriche captate e stoccate" - fa parte della categoria "Acque reflue", ed è calcolato a partire dal volume di acque piovane potenzialmente recuperabili dalle aree di captazione in base al fabbisogno richiesto e all'indice di piovosità e del volume di acqua che effettivamente viene recuperato e stoccato. Il rapporto tra i due volumi di acqua ottenuto viene confrontato con il *benchmark* di riferimento per l'attribuzione del punteggio (ITACA, 2015a; ITACA, 2015b).

In funzione del punteggio massimo ottenibile, la percentuale di incidenza del valore che deriva dalla gestione delle risorse idriche è pari al 13.5%.

7.1.2 Metodo di calcolo adottato per il fabbisogno idrico del Distretto Urbano

Al termine dell'approfondimento e delle analisi rivolte ai criteri di calcolo e all'incidenza della gestione della risorsa idrica sul punteg-

gio totale ottenibile nei tre protocolli di sostenibilità scelti e sopra esposti, la scelta del metodo di calcolo da seguire a riferimento, e dal quale partire per un ulteriore ampliamento, è stato quello del protocollo ITACA che, fra i tre protocolli analizzati, oltre a destinare un'incidenza percentuale maggiore all'acqua sul punteggio totale, è anche quello che nei metodi di calcolo utilizzati per il fabbisogno idrico *indoor*, sia per la destinazione d'uso residenziale che per quelle non residenziali, tiene conto in termini percentuali della riduzione dei consumi idrici e, di conseguenza, del miglioramento nella gestione della risorsa, ottenibili grazie alle soluzioni tecnologiche e impiantistiche che prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura, con interventi ad impatto variabile da minimo a medio.

Tale scelta è stata ulteriormente avvalorata dalla conformità dei metodi di calcolo utilizzati nel protocollo ITACA rispetto al quadro legislativo vigente, ad oggi, a livello nazionale.

Il metodo di calcolo rielaborato ed implementato per la presente-Trattazione, a partire anche dall'approfondimento su testi tecnici volti alla progettazione e alla costruzione di opere idrauliche (Becciu, G., et al. 2010; Milano, V., 2012), ai fini dell'analisi del fabbisogno idrico ed energetico del Distretto Urbano, è stato articolato in 6 indicatori di quantità di consumi idrici:

- (1) quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale;
- (2) quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale;
- (3) quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale;
- (4) quantità di acque meteoriche captate e stoccate;
- (5) quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi;
- (6) quantità di acqua dispersa da rete idrica;

a partire dai quali è stato possibile ricavare il settimo indicatore di quantità dei consumi idrici globali e l'ottavo indicatore di quantità che permette di analizzare i consumi energetici necessari a coprire il fabbisogno idrico globale:

- (7) fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano;
- (8) quantità di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisog-

gno idrico del Distretto Urbano.

Solo una volta determinato il fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano ed i consumi energetici ad esso correlati, è stato possibile analizzare la gestione della domanda idrica in relazione con le emissioni di CO₂ nel segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione e uso a livello distrettuale.

Analisi che, pur facendo riferimento ad un aspetto mediamente affermato in letteratura, rimane un campo ancora molto sperimentale, al punto da averne avuto un solo riscontro, in fase applicativa, con un unico caso a livello internazionale europeo (EA, 2008).

Ad ogni modo, attraverso l'analisi della quantità di CO₂ emessa, è stato possibile ricavare gli indicatori di quantità di emissioni di CO₂:

(9) quantità di emissioni di CO₂ legate al fabbisogno idrico nel Distretto Urbano;

(10) quantità di emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano.

I calcoli necessari per la determinazione dei 10 indicatori appena enunciati vengono descritti singolarmente nei sotto-paragrafi seguenti.

7.1.2.1 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale

Il calcolo della quantità di acqua potabile per uso indoor fa capo all'area di valutazione dell'impiego dei flussi e consumo delle risorse idriche, a partire dalle esigenze di valutare la quantità di acqua potabile per usi indoor e, al tempo stesso, ridurre i consumi di acqua potabile per usi indoor attraverso l'impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione d'uso dell'acqua (ITACA, 2015a).

Il metodo di calcolo comporta una procedura articolata in 4 fasi:

Fase 1.

Calcolare il volume di acqua potabile (1.A) necessario per soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor, destinazione d'uso residenziale, valore che varia a seconda delle disposizioni internazionali, nazionali e regionali e che costituisce la prima variabile k₁, a tal fine è necessario:

- Eseguire o reperire una stima degli occupanti dell'edificio;

- Calcolare il volume di acqua necessaria al soddisfacimento del fabbisogno idrico relativo alle principali attività domestiche, considerando il fabbisogno di riferimento f per un periodo pari a 365 giorni, secondo la formula:

$$(1.A) \quad F_{\text{indoor}} = \frac{ab \cdot n_{\text{gg}} \cdot k_1}{1000}$$

dove:

F_{indoor} = volume di acqua potabile necessario a soddisfare il fabbisogno idrico annuo di riferimento per usi indoor [m³];

ab = numero di abitanti, definiti in base alle analisi demografiche svolte;

n_{gg} = numero di giorni nel periodo di calcolo;

k₁ = fabbisogno idrico giornaliero complessivo di riferimento [L]; tale valore varia e va reperito in funzione della collocazione geografica del Distretto Urbano. Per una stima sommaria si può fare riferimento ai dati riportati, a livello internazionale sulla pubblicazione dell'European Water Regulators (WAREG, 2021), ma sul territorio italiano è più accurato fare riferimento alle stime regionali o provinciali.

Fase 2.

Calcolare il fabbisogno di acqua potabile annuo effettivo di progetto (1.B), considerando:

- l'eventuale apporto dato dal V_i, risparmio dovuto all'uso di soluzioni tecnologiche e impiantistiche che prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua (soluzioni precedentemente citate nel paragrafo 6.1):

$$(1.V_i) \quad V_i = \frac{ab \cdot n_{\text{gg}} \sum \beta_i k_1}{1000}$$

dove:

V_i = volume di acqua potabile risparmiata annualmente grazie alle soluzioni tecnologiche adottate [m^3 /anno];
 β_i = coefficiente di riduzione dei consumi idrici per l'attività domestica i-esima, [%] (per il quale si può fare riferimento ai dati riportati nella [tabella 7.1](#) di seguito o alle schede tecniche delle soluzioni tecnologiche scelte);

tabella 7.1

Tipologia di attività domestica a cui è destinata la soluzione tecnologica	β_i [%]
Usi alimentari (bevande e cottura cibi)	-
Lavaggio biancheria	-
Lavaggio stoviglie	10
Lavaggio casa o ambiente	10
Igiene personale (escluso bagno, doccia)	10
WC	35
Vasca da bagno, doccia	7

- l'eventuale apporto dato da V_{ii} derivante dall'eventuale impiego di acqua piovana destinata a usi *indoor*:

nel caso sia prevista l'installazione di un impianto per la raccolta e il riutilizzo dell'acqua piovana per usi *indoor* (gli unici utilizzi consentiti sono il risciacquo dei WC e l'alimentazione delle lavatrici), va consultata la relativa documentazione tecnica di progetto e ricavare il volume di acqua meteorica che, annualmente, verrà impiegata per questi scopi [m^3]; mentre, nel caso in cui la cisterna di raccolta dell'acqua piovana sia destinata ad alimentare anche la rete di irrigazione delle aree verdi esterne, per calcolare il volume di acqua destinata agli usi *indoor* occorre tenere conto sia della proporzione tra i due fabbisogni sia di eventuali priorità assegnate, mediante centraline o sistemi meccanici, nella gestione dell'acqua raccolta;

- l'eventuale apporto dato da V_{iii} derivante dall'eventuale impiego di acque grigie destinata a usi *indoor*:

nel caso sia prevista l'installazione di un impianto di raccolta, trattamento e riutilizzo delle acque grigie prodotte dalle attività domestiche dell'edificio, consultare la relativa documentazione tecnica di progetto e individuare il volume annuale di acqua grigia [m^3] che, opportunamente trattata, verrà destinata agli utilizzi *indoor* alimen-

tabili con acqua non potabile (WC e lavatrici); mentre, come nel calcolo del contributo precedente, V_{ii} , se l'impianto di recupero e trattamento delle acque grigie fosse destinato ad alimentare anche la rete per l'irrigazione delle aree verdi, per calcolare il volume di acqua destinata agli usi *indoor* occorre tenere conto sia della proporzione tra i due fabbisogni (irrigazione e *indoor*) sia di eventuali priorità assegnate nella gestione dell'acqua raccolta tramite centraline di comando o sistemi meccanici;

- l'eventuale apporto dato da V_{iv} derivante dall'eventuale reimpiego dell'acqua di condensa dell'impianto di climatizzazione e destinata a usi *indoor*:

nel caso sia previsto il reimpiego dell'acqua di condensa dell'impianto di climatizzazione, consultare la documentazione tecnica di progetto per individuare il volume di acqua che, annualmente, sarà destinato per gli usi *indoor* servibili con acqua non potabile (WC e lavaggio biancheria).

Una volta considerati i quattro contributi precedenti, il fabbisogno di acqua potabile annuo effettivo di progetto deriva quindi da:

$$(1.B) \quad F_{indoor_eff} = F_{indoor} - V_i - V_{ii} - V_{iii} - V_{iv}$$

dove:

F_{indoor_eff} = fabbisogno idrico annuo effettivo per usi non potabili [m^3];

F_{indoor} = fabbisogno idrico annuo di riferimento per usi *indoor* [m^3];

da V_i a V_{iv} = volumi di acque recuperate e riutilizzate;

Fase 3.

Calcolare il volume di acqua potabile risparmiata (1.C) da destinare ad usi domestici che si ottiene sottraendo al fabbisogno idrico annuo per usi *indoor* F_{indoor} calcolato alla fase 1, il volume d'acqua effettivamente necessaria considerando i vari contributi calcolati alla fase 2, ovvero:

$$(1.C) \quad V_{risparmiata} = (A - B) = F_{indoor} - F_{indoor_eff} = V_i + V_{ii} + V_{iii} + V_{iv}$$

Didascalie alle immagini.
[tab. 7.1.](#) tabella del coefficiente di riduzione dei consumi idrici relativo alla tipologia di attività domestica

Fase 4.

Calcolare il rapporto tra il volume di acqua potabile risparmiato (1.C) e quello necessario a soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor (1.A) per ricavarne un indicatore di risparmio in termini percentuali:

$$(1.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{C}{A} \cdot 100 = \frac{V_{risparmiata}}{F_{indoor}} \cdot 100$$

Nella pagina accanto, per sintetizzare le fasi di calcolo affrontate nel paragrafo 7.1.2.1, si riporta uno schema riassuntivo con le fasi e le formule principali nella [tabella 7.2](#).

7.1.2.2 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso non residenziale

Così come il calcolo della quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale, anche il calcolo di quella per uso indoor in edifici a destinazione d'uso non residenziale fa capo all'area di valutazione dell'impiego dei flussi e consumo delle risorse idriche per soddisfare le esigenze di valutare la quantità di acqua potabile per usi indoor negli edifici non residenziali (edifici per uffici, edifici scolastici, edifici industriali, edifici commerciali, edifici ricettivi ristoranti) e, al tempo stesso, ridurre i consumi di acqua potabile per usi indoor attraverso l'impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione d'uso dell'acqua (ITACA, 2015b).

Anche in questo caso il metodo di calcolo comporta una procedura, per molti aspetti analoga a quella esposta nel paragrafo precedente, articolata in 4 fasi:

Fase 1.

Calcolare il volume di acqua potabile (2.A) necessario per soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor, destinazione d'uso non residenziale, valore che varia a seconda delle disposizioni internazionali, nazionali e regionali e che costituisce la prima variabile k₂, a tal fine è necessario:

- Eseguire o reperire una stima degli occupanti dell'edificio;

Didascalie alle immagini nella pagina accanto - [tab. 7.2](#). Schema di sintesi delle fasi e delle formule principali applicate nel calcolo della quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale

Indicatore:

quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale

Formule di riferimento

[tabella 7.2](#)

Fase 1.

Calcolare il volume di acqua potabile (1.A) necessario per soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor, destinazione d'uso residenziale, valore che varia a seconda delle disposizioni internazionali, nazionali e regionali e che costituisce la prima variabile k₁;

$$(1.A) \quad F_{indoor} = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot k_1}{1000}$$

Fase 2.

Calcolare il fabbisogno di acqua potabile annuo effettivo di progetto (1.B), considerando:

- l'eventuale apporto dato da V_i, risparmio dovuto all'uso di soluzioni tecnologiche e impiantistiche che prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua;
- l'eventuale apporto dato da V_{ii} derivante dall'eventuale impiego di acqua piovana destinata a usi indoor;
- l'eventuale apporto dato da V_{iii} derivante dall'eventuale impiego di acque grigie destinata a usi indoor;
- l'eventuale apporto dato da V_{iv} derivante dall'eventuale reimpiego di acqua utilizzata per l'impianto di climatizzazione e destinata a usi indoor;

$$(1.B) \quad F_{indoor_eff} = F_{indoor} - V_i - V_{ii} - V_{iii} - V_{iv}$$

Fase 3.

Calcolare il volume di acqua potabile risparmiata (1.C) da destinare ad usi domestici che si ottiene sottraendo al fabbisogno idrico annuo per usi indoor F_{indoor} calcolato alla fase 1, il volume d'acqua effettivamente necessaria considerando i vari contributi calcolati alla fase 2;

$$(1.C) \quad V_{risparmiata} = (A - B) = F_{indoor} - F_{indoor_eff}$$

Fase 4.

Calcolare il rapporto tra il volume di acqua potabile risparmiato (1.C) e quello necessario a soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor (1.A) per ricavarne un indicatore di risparmio in termini percentuali (1.%).

$$(1.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{C}{A} \cdot 100 = \frac{V_{risparmiata}}{F_{indoor}} \cdot 100$$

- Calcolare il volume di acqua necessaria al soddisfacimento del fabbisogno idrico relativo alle principali attività domestiche, considerando il fabbisogno di riferimento f per un periodo pari a 365 giorni, secondo la formula:

$$(2.A) \quad F_{indoor} = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot k_2}{1000}$$

dove:

F_{indoor} = volume di acqua potabile necessario a soddisfare il fabbisogno idrico annuo di riferimento per usi indoor [m^3];

ab = numero di abitanti, definiti in base alle analisi demografiche svolte;

n_{gg} = numero di giorni nel periodo di calcolo;

k_2 = fabbisogno idrico giornaliero complessivo di riferimento [L]; valore che varia in base alle destinazioni d'uso considerate, oltre che in funzione della collocazione geografica del Distretto Urbano. Per una stima sommaria si può fare riferimento ai dati riportati, a livello internazionale sulla pubblicazione dell'*European Water Regulators* (WAREG, 2021), ma sul territorio italiano è più accurato fare riferimento alle stime regionali o provinciali per ciascuna delle destinazioni d'uso specifiche prese in considerazione.

Fase 2.

Calcolare il fabbisogno di acqua potabile annuo effettivo di progetto (2.B), considerando:

- l'eventuale apporto dato dal V_i , risparmio dovuto all'uso di soluzioni tecnologiche e impiantistiche che prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua (soluzioni precedentemente citate nel paragrafo 6.1):

$$(2.V_i) \quad V_i = \frac{ab \cdot n_{gg} \sum \beta_i k_2}{1000}$$

dove:

V_i = volume di acqua potabile risparmiata annualmente grazie alle soluzioni tecnologiche adottate [m^3 /anno];

β_i = coefficiente di riduzione dei consumi idrici per l'attività dome-

stica i-esima, [%] (per il quale si può fare riferimento ai dati riportati nella [tabella 7.3](#) di seguito o alle schede tecniche delle soluzioni tecnologiche scelte);

Tipologia di attività domestica a cui è destinata la soluzione tecnologica in base alle destinazioni d'uso	β_i [%]		
	- uffici - edifici commerciali - edifici industriali	- edifici ricettivi - ristoranti	- edifici scolastici
Usi alimentari	0	8	0
Lavaggio biancheria	-	0	-
Lavaggio stoviglie	-	10	-
Pulizia ambienti	10	10	10
Igiene personale (escluso bagno, doccia)	10	10	10
WC	35	35	35
Vasca da bagno, doccia	-	7	-

tabella 7.3

- l'eventuale apporto dato da V_{ii} derivante dall'eventuale impiego di acqua non potabile destinata a usi *indoor*:

nel caso sia previsto in progetto l'impiego di sistemi per la raccolta e il riuso di acqua non potabile per usi *indoor* (risciacquo dei WC, igiene personale e pulizia ambienti), calcolarne il contributo ovvero consultare la relativa documentazione tecnica di progetto e ricavare il volume di acqua potabile che verrà risparmiato grazie all'uso di tale strategia [m^3] e, nel caso l'impianto di raccolta e riutilizzo delle acque non potabili (grigie, meteoriche, da impianti, etc.) sia destinato ad alimentare anche la rete di irrigazione delle aree verdi esterne, per calcolare il volume di acqua destinata agli usi *indoor* occorre tenere conto sia della proporzione tra i due fabbisogni sia di eventuali priorità assegnate, mediante centraline o sistemi meccanici, nella gestione dell'acqua raccolta.

Una volta considerati i due contributi precedenti, il fabbisogno di acqua potabile annuo effettivo di progetto deriva quindi da:

Didascalie alle immagini.
tab. 7.3. tabella dei coefficienti di riduzione dei consumi idrici relativi alla tipologia di attività svolta nelle diverse destinazioni d'uso

$$(2.B) \quad F_{indoor_eff} = F_{indoor} - V_i - V_{ii}$$

dove:

F_{indoor_eff} = fabbisogno idrico annuo effettivo per usi non potabili [m^3];
 F_{indoor} = fabbisogno idrico annuo di riferimento per usi indoor [m^3];
 da V_i a V_{ii} = volumi di acque recuperate e riutilizzate;

Fase 3.

Calcolare il volume di acqua potabile risparmiata (2.C) da destinare ad usi domestici che si ottiene sottraendo al fabbisogno idrico annuo per usi indoor F_{indoor} calcolato alla fase 1, il volume d'acqua effettivamente necessaria considerando i vari contributi calcolati alla fase 2, ovvero:

$$(2.C) \quad V_{risparmiata} = (A - B) = F_{indoor} - F_{indoor_eff} = V_i + V_{ii}$$

Fase 4.

Calcolare il rapporto tra il volume di acqua potabile risparmiato (2.C) e quello necessario a soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor (2.A) per ricavarne un indicatore di risparmio in termini percentuali

$$(2.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{C}{A} \cdot 100 = \frac{V_{risparmiata}}{F_{indoor}} \cdot 100$$

Nella pagina accanto, per sintetizzare le fasi di calcolo affrontate nel paragrafo 7.1.2.2, si riporta uno schema riassuntivo con le fasi e le formule principali nella [tabella 7.4](#).

7.1.2.3 Calcolo della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale

Analogamente ai calcoli mirati alla quantificazione di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale e non residenziale, anche la quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale fa capo all'area di valutazione dell'impiego dei flussi e consumo delle risorse idriche, in questo caso per soddisfare

Indicatore:

quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso non residenziale

Formule di riferimento

[tabella 7.4](#)

Fase 1.

Calcolare il volume di acqua potabile (2.A) necessario per soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor, destinazione d'uso non residenziale, valore che varia a seconda delle disposizioni internazionali, nazionali e regionali e che costituisce la prima variabile k_2 ;

$$(2.A) \quad F_{indoor} = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot k_2}{1000}$$

Fase 2.

Calcolare il fabbisogno di acqua potabile annuo effettivo di progetto (2.B), considerando: - l'eventuale apporto dato dal V_i , risparmio dovuto all'uso di soluzioni tecnologiche e impiantistiche che prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua; - l'eventuale apporto dato da V_{ii} derivante dall'eventuale impiego di acqua non potabile destinata a usi indoor;

$$(2.B) \quad F_{indoor_eff} = F_{indoor} - V_i - V_{ii}$$

Fase 3.

Calcolare il volume di acqua potabile risparmiata (2.C) da destinare ad usi domestici che si ottiene sottraendo al fabbisogno idrico annuo per usi indoor F_{indoor} calcolato alla fase 1, il volume d'acqua effettivamente necessaria considerando i vari contributi calcolati alla fase 2;

$$(2.C) \quad V_{risparmiata} = (A - B) = F_{indoor} - F_{indoor_eff}$$

Fase 4.

Calcolare il rapporto tra il volume di acqua potabile risparmiato (2.C) e quello necessario a soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor (2.A) per ricavarne un indicatore di risparmio in termini percentuali (2.%).

$$(2.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{C}{A} \cdot 100 = \frac{V_{risparmiata}}{F_{indoor}} \cdot 100$$

Didascalie alle immagini, nella pagina accanto - [tab. 7.4](#). Schema di sintesi delle fasi e delle formule principali applicate nel calcolo della quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso non residenziale

l'esigenza di minimizzare la quantità di effluenti scaricati in fognatura (ITACA, 2015a; ITACA, 2015b).

Anche per questo indicatore il metodo di calcolo comporta una procedura, per molti aspetti analoga ad entrambe quelle presentate nei paragrafi precedenti, e articolata in 4 fasi:

Fase 1.

Calcolare il volume standard di acque reflue (in questo caso si prende in considerazione la componente delle acque grigie) potenzialmente immesse in fognatura (3.A), corrispondente al refluo prodotto dagli usi *indoor*, esclusi i WC, pari al 75% del fabbisogno idrico base considerato per l'acqua potabile per uso indoor che deriva dalla sommatoria di del fabbisogno per destinazioni d'uso residenziali e non residenziali:

$$(3.A) \quad Eff_{indoor} = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot eff_i}{1000}$$

dove:

Eff_{indoor} = volume base complessivo di effluenti prodotti all'anno [m³];

ab = numero di abitanti che deriva dalla somma degli abitanti nelle residenze e degli utenti delle altre destinazioni d'uso presenti nel distretto;

n_{gg} = numero di giorni nel periodo di calcolo;

eff_i = volume di base degli effluenti prodotti al giorno (75% di $F_{indoor} = \Sigma(F_{indoor,res} + F_{indoor,n\ res})$);

Fase 2.

Calcolare il fabbisogno di acque reflue immesse in fognatura (3.B), considerando:

- l'eventuale apporto dato dal V_i , risparmio dovuto all'uso di soluzioni tecnologiche e impiantistiche che prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua (soluzioni precedentemente citate nel paragrafo 6.1), l'utilizzo di specifiche apparecchiature per la riduzione dei consumi permette di avere un volume di effluenti minore rispetto a quello di riferimento calcolato alla fase 1, quindi per volume annuale di acqua

risparmiata complessivamente grazie all'utilizzo delle tecnologie per ridurre il consumo idrico, moltiplicando il fabbisogno idrico di ciascuna attività domestica per il relativo coefficiente di riduzione dei consumi β_i già precedentemente riportati nella [tabella 7.1](#) per la destinazione d'uso residenziale e nella [tabella 7.3](#) per le destinazioni d'uso non residenziali:

$$(3.V_i) \quad W_i = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot \sum \beta_i eff_i}{1000}$$

dove:

W_i = volume di acqua grigia risparmiata annualmente [m³/anno];

β_i = coefficiente di riduzione dei consumi idrici per l'attività domestica i-esima, [%] (riportati nelle [tabelle 7.1 e 7.2](#));

eff_i = volume di effluenti prodotti al giorno per destinazione d'uso [m³/ab*g];

- l'eventuale contributo W_{ii} derivante dal reimpiego di acque grigie opportunamente trattate per irrigazione o usi indoor:

nel caso in cui l'acqua grigia proveniente da usi indoor venga stoccata e riutilizzata per usi irrigui, calcolare la quantità di effluenti risparmiata (W_{ii}) per soddisfare al fabbisogno idrico annuo di riferimento pari a 0.40 [m³/m²];

- mentre per le destinazioni d'uso residenziali considerare anche W_{iii} , nel caso in cui l'acqua grigia proveniente da usi indoor venga stoccata e riutilizzata per gli usi domestici non potabili: in questo caso la quantità di effluenti risparmiata (W_{iii}) è pari al valore di (V_{iii}) calcolato al criterio per l'acqua potabile per uso *indoor* (paragrafo 7.1.2.1 alla fase 2).

Una volta considerati i due (o tre) contributi precedenti, il volume effettivo di acque reflue immesse in fognatura sarà dato da:

$$(3.B) \quad Eff_{indoor_eff} = Eff_{indoor} - W_i - W_{ii} - V_{iii}$$

dove:

Eff_{indoor_eff} = volume effettivo di acque reflue immesse in fognatura

[m³];
Eff_{indoor} = volume base complessivo di effluenti prodotti all'anno
[m³]
W_i a V_{iii} = volumi di acque recuperate e riutilizzate;

Fase 3.
Calcolare il volume di acque reflue non immesso in fognatura rispetto al volume standard calcolato (3.C) che si ottiene sottraendo al volume base Eff_{indoor} (3.A) calcolato alla fase 1, il volume d'acqua effettivamente scaricata in fognatura considerando i vari contributi (3.B) calcolati in fase 2, ovvero:

$$(3.C) \quad W_{risparmiata} = (A - B) = Eff_{indoor} - Eff_{indoor_eff} = W_i + W_{ii} + V_{iii}$$

Fase 4.
Calcolare il rapporto tra il volume di acqua potabile risparmiato (3.C) e quello necessario a soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor (3.A) per ricavarne un indicatore di risparmio in termini percentuali (3.%)

$$(3.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{C}{A} \cdot 100 = \frac{W_{risparmiata}}{Eff_{indoor}} \cdot 100$$

Nella pagina accanto, per sintetizzare le fasi di calcolo affrontate nel paragrafo 7.1.2.3, si riporta uno schema riassuntivo con le fasi e le formule principali nella [tabella 7.5](#).

7.1.2.4 Calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate

L'area di valutazione della quantità di acque meteoriche captate e stoccate rimane, anche in questo caso, quella dell'impiego dei flussi e consumo delle risorse idriche per rispondere all'esigenza di favorire la raccolta di acqua piovana per un successivo riutilizzo (ITACA, 2015a; ITACA, 2015b).

In questo caso il metodo di calcolo comporta una procedura, a partire da alcuni dei risultati ottenuti nei paragrafi precedenti, articolata

Indicatore: quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale	Formule di riferimento	tabella 7.5
---	------------------------	-------------

Fase 1.
Calcolare il volume standard di acque reflue (in questo caso si prende in considerazione la componente delle acque grigie) potenzialmente immesse in fognatura (3.A), corrispondente al refluo prodotto dagli usi indoor, esclusi i wc, pari al 75% del fabbisogno idrico base considerato per l'acqua potabile per uso indoor che deriva dalla sommatoria di del fabbisogno per destinazioni d'uso residenziali e non residenziali;

$$(3.A) \quad Eff_{indoor} = \frac{ab \cdot n_{gg} \cdot eff_i}{1000}$$

Fase 2.
Calcolare il fabbisogno di acque reflue immesse in fognatura (3.B), considerando: - l'eventuale apporto dato dal W_i, risparmio dovuto all'uso di soluzioni tecnologiche e impiantistiche; - l'eventuale contributo W_{ii} derivante dal reimpiego di acque grigie opportunamente trattate per irrigazione o usi indoor; - per le destinazioni d'uso residenziali considerare anche W_{iii}, nel caso in cui l'acqua grigia proveniente da usi indoor venga stoccata e riutilizzata per gli usi domestici non potabili: in questo caso la quantità di effluenti risparmiata (W_{iii});

$$(3.B) \quad Eff_{indoor_eff} = Eff_{indoor} - W_i - W_{ii} - V_{iii}$$

Fase 3.
Calcolare il volume di acque reflue non immesso in fognatura rispetto al volume standard calcolato (3.C) che si ottiene sottraendo al volume base Eff_{indoor} (3.A) calcolato alla Fase 1, il volume d'acqua effettivamente scaricata in fognatura considerando i vari contributi (3.B) calcolati in Fase 2;

$$(3.C) \quad W_{risparmiata} = (A - B) = Eff_{indoor} - Eff_{indoor_eff}$$

Fase 4.
Calcolare il rapporto tra il volume di acqua potabile risparmiato (3.C) e quello necessario a soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor (3.A) per ricavarne un indicatore di risparmio in termini percentuali (3.%).

$$(3.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{C}{A} \cdot 100 = \frac{W_{risparmiata}}{Eff_{indoor}} \cdot 100$$

Didascalie alle immagini, nella pagina accanto - [tab. 7.5](#). Schema di sintesi delle fasi e delle formule principali applicate nel calcolo della quantità della quantità di acqua reflua inviata nel sistema fognario distrettuale

in 3 fasi:

Fase 1.

Calcolare il volume teorico di acqua piovana recuperabile all'anno (4.A). La dimensione ottimale della cisterna di accumulo delle acque piovane $V_{OTTIMALE}$, secondo il metodo di calcolo semplificato previsto dalla norma tecnica UNI/TS 11445:2012 (UNI Ente Italiano di Normazione, 2012), è pari al prodotto della resa dell'acqua piovana all'anno (pari a 0.06) per il valore minimo tra il fabbisogno irriguo e *indoor* da soddisfare e il volume di acqua recuperabile, ovvero secondo la formula:

$$(4.A) \quad V_{OTTIMALE} = 0,06 \cdot \min[F; V_{piog}]$$

dove:

V_{piog} = volume teorico di acqua piovana recuperabile all'anno [m^3 /anno];

F = somma fra fabbisogno idrico per usi *indoor* $F_{non\ potabile}$ [m^3] e quello per usi irrigui F_{irr} [m^3].

Sia V_{piog} (a) che $F_{non\ potabile}$ (c) e F_{irr} (d) sono parametri che, a loro volta, vanno rispettivamente calcolati.

Il volume teorico di acqua piovana recuperabile all'anno V_{piog} (a) va ricavato a partire dalla formula:

$$(a) \quad V_{piog} = S_c \cdot \eta_{fil} \cdot ip$$

dove:

S_c = superficie di captazione totale [m^2];

η_{fil} = efficienza del filtro idrogeologico, pari a 0,90 [%];

ip = indice di piovosità dell'area geografica del sito d'intervento [m /anno], che va reperito a partire dai dati meteo-climatici ed idrologici del Paese, o ancora più precisamente, della località in cui risiede il Distretto Urbano;

nella quale la superficie di captazione totale S_c (b) va, a sua volta,

calcolata a partire dalle superfici captanti previste in progetto, in base a tipologia ed estensione. A seconda del tipo di superficie, la sua estensione dovrà essere ridotta di un coefficiente di deflusso $\Psi_{i,def}$ [%] che rappresenta il rapporto tra l'entità delle precipitazioni incidente e la quantità d'acqua che effettivamente raggiunge il sistema di accumulo, ovvero:

$$(b) \quad S_C = \sum_{i=1}^n S_{C_i} \cdot \Psi_{i,def}$$

dove:

S_c = superficie di captazione totale [m^2];

S_{C_i} = superficie di captazione parziale i-esima [m^2];

$\Psi_{i,def}$ = coefficiente di deflusso relativo alla superficie di captazione parziale i-esima [%].

Per il calcolo del fabbisogno idrico per usi *indoor* $F_{non\ potabile}$ (c), si deve fare riferimento a quanto illustrato alla fase 2 del paragrafo 7.2.1.1 per edifici a destinazione d'uso residenziale e del paragrafo 7.2.1.2 per edifici a destinazione d'uso non residenziale, facendo, in entrambi i casi, l'ipotesi di non prevedere sistemi per la riduzione dei consumi e di dover integrare l'acqua recuperata per entrambe le destinazioni d'uso non potabili in esame (ovvero servizi igienici e lavaggio biancheria).

Si applica quindi la seguente formula:

$$(c) \quad f_{non\ potabile} = ab \cdot n_{gg} \cdot [(f_B + f_F)]$$

dove:

$f_{non\ potabile}$ = fabbisogno idrico annuo per usi non potabili [m^3],

f_B = fabbisogno idrico annuo per l'attività di lavaggio biancheria [m^3],

f_F = fabbisogno idrico annuo per l'attività di WC [m^3].

Mentre per il calcolo del fabbisogno idrico per irrigui F_{irr} (d), si deve fare riferimento alla seguente formula:

$$(d) \quad f_{irr} = S_{everde} \cdot \alpha$$

dove:

f_{irr} = fabbisogno idrico annuo base di riferimento per l'irrigazione [m³];

$S_{e,verde}$ = superficie esterna di pertinenza dell'edificio sistemata a verde [m²];

α = fabbisogno idrico annuo di riferimento al m² [m³/m²].

Fase 2.

Calcolare il volume di acque piovane effettivamente recuperate e stoccate (4.B) attraverso l'individuazione dalla scheda tecnica del prodotto scelto il volume della cisterna ($V_{ii,CISTERNA}$) destinata alla raccolta delle acque meteoriche, da inserire nel progetto (da destinare ad usi irrigui e/o indoor).

Fase 3.

Calcolare il rapporto percentuale (4.%) fra il volume di acqua piovana recuperata inteso come il volume della cisterna prevista in progetto $V_{ii,CISTERNA}$ (4.B) e il volume di acqua piovana potenzialmente recuperabile, inteso come il volume ottimale della $V_{OTTIMALE}$ (4.A) secondo la formula:

$$(4.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{V_{ii,CISTERNA}}{V_{OTTIMALE}} \cdot 100$$

Nella pagina accanto, per sintetizzare le fasi di calcolo affrontate nel paragrafo 7.1.2.4, si riporta uno schema riassuntivo con le fasi e le formule principali nella [tabella 7.6](#).

7.1.2.5 Calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi

Ancora una volta, l'area di valutazione della quantità di acque necessaria per l'irrigazione delle aree verdi è quella dell'impiego dei flussi e consumo delle risorse idriche per rispondere all'esigenza di ridurre i consumi di acqua potabile per irrigazione attraverso l'impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione d'uso dell'acqua

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
[tab. 7.6](#). Schema di sintesi delle fasi e delle formule principali applicate nel calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate

Indicatore: quantità di acque meteoriche captate e stoccate	Formule di riferimento	tabella 7.6
Fase 1. Calcolare il volume teorico di acqua piovana recuperabile all'anno (4.A). La dimensione ottimale della cisterna di accumulo delle acque piovane $V_{OTTIMALE}$, secondo il metodo di calcolo semplificato previsto dalla norma tecnica UNI/TS 11445:2012, è pari al prodotto della resa dell'acqua piovana all'anno (pari a 0,06) per il valore minimo tra il fabbisogno irriguo e indoor da soddisfare e il volume di acqua recuperabile;	(4.A) $V_{OTTIMALE} = 0,06 \cdot \min[F; V_{piog}]$	
Fase 2. Calcolare il volume di acque piovane effettivamente recuperate e stoccate (4.B) attraverso l'individuazione dalla scheda tecnica del prodotto scelto il volume della cisterna ($V_{ii,CISTERNA}$) destinata alla raccolta delle acque meteoriche, da inserire nel progetto (da destinare ad usi irrigui e/o indoor);	(4.B) $V_{CISTERNA}$	
Fase 3. Calcolare il rapporto percentuale (4.%) fra il volume di acqua piovana recuperata inteso come il volume della cisterna prevista in progetto $V_{ii,CISTERNA}$ (4.B) e il volume di acqua piovana potenzialmente recuperabile, inteso come il volume ottimale della $V_{OTTIMALE}$ (4.A)	(4.%) $\text{Indicatore} = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{V_{ii,CISTERNA}}{V_{OTTIMALE}} \cdot 100$	

(ITACA, 2015a; ITACA, 2015b).

La procedura per lo svolgimento del metodo di calcolo, analogamente a quella indicato nel precedente paragrafo, comporta una articolazione in 3 fasi:

Fase 1.

Calcolare il fabbisogno di riferimento base per irrigazione (5.A) considerando un volume d'acqua a metro quadro di area a verde, a tal fine è necessario individuare le aree verdi appartenenti al lotto di intervento e misurarne l'estensione superficiale complessiva, S_v , che tenga conto anche della superficie degli eventuali tetti verdi presenti o previsti in fase progettuale. Dopodiché si può procedere con il calcolo (5.A) tramite la seguente formula:

$$(5.A) \quad F_{irr,std} = S_v \cdot F_{sp,std}$$

dove:

$F_{irr,std}$ = fabbisogno idrico annuale standard per irrigazione [m^3 /anno];
 S_v = estensione superficiale complessiva delle aree verdi di pertinenza [m^2];
 $F_{sp,std}$ = fabbisogno idrico standard per l'irrigazione di un metro quadro d'area verde.

Fase 2.

Calcolare la quantità effettiva di acqua potabile annua risparmiata per l'irrigazione delle aree verdi di pertinenza (5.B). Per poter procedere a questa quantificazione bisogna preventivamente:

Calcolare il fabbisogno effettivo d'acqua delle specie vegetali piantumate $F_{irr,eff}$ (e) attraverso l'individuazione di specifiche tipologie di sistemazioni a verde previste (ad es. prato, cespugli, tetti verdi, ...), l'individuazione puntuale dell'estensione superficiale S_i [m^2] dell'area occupata da ogni tipologia di sistemazione i -esima e l'attribuzione a ogni tipologia di sistemazione a verde un fabbisogno idrico specifico $F_{sp,i}$ reperibile dalle schede botaniche di ciascuna specie vegetale presa in considerazione da progetto, tramite la formula:

$$(e) \quad F_{irr,eff} = \sum_{i=1}^n (S_i \cdot F_{sp,i})$$

dove:

$F_{irr,eff}$ = fabbisogno idrico effettivo annuale per l'irrigazione [m^3 /anno];
 S_i = superficie dell'area occupata dall' i -esima tipologia di sistemazione a verde [m^2];
 $F_{sp,i}$ = fabbisogno idrico specifico della i -esima tipologia di sistemazione [$m^3/m^2 \cdot anno$].

Nel caso vi siano in progetto sistemazioni caratterizzate da piantumazioni con un fabbisogno irriguo inferiore a quello di riferimento, va considerata la quantità d'acqua risparmiata ($V_{ris,i}$) rispetto alla situazione standard, pari a:

$$(V_{ris,i}) \quad V_{ris,i} = F_{irr,std} - F_{irr,eff}$$

dove:

$V_{ris,i}$ = volume d'acqua risparmiata grazie all'utilizzo di piantumazioni a basso fabbisogno idrico [m^3 /anno];
 $F_{irr,std}$ = fabbisogno idrico annuale standard per irrigazione [m^3 /anno];
 $F_{irr,eff}$ = fabbisogno idrico effettivo annuale per l'irrigazione [m^3 /anno];

mentre nel caso sia previsto l'impiego di acqua non potabile per fini irrigui, va determinato il volume di acqua potabile ($V_{ris,ii}$) che verrà risparmiato per l'irrigazione del verde pertinenziale grazie all'uso di tale strategia.

Una volta considerati i due contributi precedenti, il volume effettivo di acqua potabile risparmiata per l'irrigazione delle aree verdi di pertinenza (5.B) sarà dato da:

$$(5.B) \quad V_{ris} = V_{ris,i} + V_{ris,ii}$$

dove:

$V_{ris,i}$ = volume d'acqua risparmiata grazie all'utilizzo di piantumazioni a basso fabbisogno idrico [$m^3/anno$];

$V_{ris,ii}$ = volume d'acqua risparmiata derivante dall'impiego di acqua non potabile [$m^3/anno$];

Fase 3.

Calcolare il rapporto percentuale (5.%) fra il volume di acqua piovana recuperata inteso come il volume dell'acqua potabile risparmiata V_{ris} (5.B) e quello di riferimento necessario per soddisfare il fabbisogno di acqua per irrigazione $F_{irr,std}$ (5.A), tramite la formula:

$$(5.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{V_{ris}}{F_{irr,std}} \cdot 100$$

Nella pagina accanto, per sintetizzare le fasi di calcolo affrontate nel paragrafo 7.1.2.5, si riporta uno schema riassuntivo con le fasi e le formule principali nella [tabella 7.7](#).

7.1.2.6 Calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica

Sebbene questo calcolo non sia rielaborato a partire da uno dei criteri delineati all'interno del Protocollo ITACA, si è ritenuto, per coerenza, di dover assegnare un'area di valutazione, che necessariamente rimane la stessa delle quantità idriche precedentemente calcolate, di impiego dei flussi e consumo delle risorse idriche per rispondere all'esigenza, di particolare importanza a livello distrettuale e dell'intero ciclo integrato delle acque, di ridurre il quantitativo idrico rilasciato lungo il percorso di distribuzione dell'acqua a causa di rotture delle tubazioni, compromissione dei giunti e malfunzionamento del sistema di scarico.

Per coerenza è stato dunque elaborato il seguente metodo di calcolo a partire da una strutturazione, elaborata dall'autrice, articolata anche in questo caso in 1 o 3 fasi, a seconda dei dati a disposizione:

Fase 1.

Calcolare l'indice delle perdite totali di distribuzione (6.A.1) in funzione dei parametri di lunghezza della rete e diametro della con-

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
[tab. 7.7](#). Schema di sintesi delle fasi e delle formule principali applicate nel calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi

[tabella 7.7](#)

Indicatore: quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi	Formule di riferimento
--	------------------------

Fase 1.

Calcolare il fabbisogno di riferimento base per irrigazione (5.A) considerando un volume d'acqua a metro quadro di area a verde, a tal fine è necessario individuare le aree verdi appartenenti al lotto di intervento e misurarne l'estensione superficiale complessiva, S_v , che tenga conto anche della superficie degli eventuali tetti verdi presenti o previsti in fase progettuale;

$$(5.A) \quad F_{irr,std} = S_v \cdot F_{sp,std}$$

Fase 2.

Calcolare la quantità effettiva di acqua potabile annua risparmiata per l'irrigazione delle aree verdi di pertinenza (5.B) tenendo conto di: - l'eventuale fabbisogno effettivo d'acqua delle specie vegetali piantumate attraverso l'individuazione di specifiche tipologie di sistemazioni a verde previste; - l'eventuale presenza di piantumazioni con un fabbisogno irriguo inferiore a quello di riferimento;

$$(5.B) \quad V_{ris} = V_{ris,i} + V_{ris,ii}$$

Fase 3.

Calcolare il rapporto percentuale (5.%) fra il volume di acqua piovana recuperata inteso come il volume dell'acqua potabile risparmiata V_{ris} (5.B) e quello di riferimento necessario per soddisfare il fabbisogno di acqua per irrigazione $F_{irr,std}$ (5.A).

$$(5.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{V_{ris}}{F_{irr,std}} \cdot 100$$

dotta i cui contributi, se posseduti, devono essere sommati tra loro. Tuttavia il reperimento di tali dati può risultare complicato perché necessita di un coinvolgimento da parte dei gestori del servizio idrico di pertinenza del Distretto Urbano, che non sempre hanno a disposizione, o divulgano, i dati della rete di distribuzione, delineandone i confini per Quartiere o Distretto Urbano perché per tali dati, il gestore, sistematizza la propria distrettualizzazione degli impianti di approvvigionamento idrico, che può avere dimensione variabile, più o meno ampia del comparto urbano preso in considerazione. In alternativa, qualora non si disponga dei suddetti dati si può ricorrere alla quantificazione delle perdite totali di distribuzione (6.A.2), grazie al dato, sempre divulgato dal gestore del servizio idrico ma in questo caso in maniera meno puntuale, che annualmente identifica la percentuale di perdite idriche avvenute nei propri distretti idrici. In questo secondo caso, il dato ottenuto non avrà attendibilità massima a livello locale, ma rimarrà comunque un dato mediamente attendibile, se combinato con i dati del fabbisogno idrico del Distretto Urbano analizzato, a partire dai metodi precedentemente descritti.

Fatta questa premessa, dal punto di vista operativo, qualora si possiedano le informazioni della lunghezza di rete e del diametro della condotta, si procede calcolando l'indice lineare di perdita idrica della rete valutata per unità di lunghezza della rete tramite la seguente formula:

$$(6.1) \quad I_1 = \frac{V_{perso, distribuzione}}{L_{rete}}$$

dove:

$V_{perso,distr}$ = volume d'acqua perso nella fase di distribuzione [$m^3/$ anno];

L_{rete} = lunghezza della rete a servizio del Distretto Urbano [m];

e, parallelamente, calcolando l'indice superficiale di perdita idrica della rete valutata in funzione del diametro delle condotte considerate tramite la seguente formula:

$$(6.12) \quad I_2 = \frac{V_{perso, distribuzione}}{A_{interna, condotte}}$$

dove:

$V_{perso,distr}$ = volume d'acqua perso nella fase di distribuzione [$m^3/$ anno];

$A_{int,cond}$ = area della condotta a servizio del Distretto Urbano [m^2].

In questo caso, il volume delle perdite totali di distribuzione (6.A.1) si ottiene sommando i due indici (I_1) e (I_2), secondo la formula:

$$(6.A.1) \quad I_3 = I_1 + I_2$$

In caso alternativo qualora si possieda solo del dato percentuale legato alle perdite totali nella fase di distribuzione, variabile in quanto fornito dal gestore del servizio idrico, per ricavare il volume delle perdite totali di distribuzione (6.A.2), si procede con la seguente formula:

$$(6.A.2) \quad I_3 = F_{idr,gl} \cdot k_3$$

dove:

I_3 = volume d'acqua perso nella fase di distribuzione [$m^3/$ anno];

$F_{idr,gl}$ = fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano (il cui calcolo verrà esplicitato nel paragrafo seguente) [$m^3/$ anno];

k_3 = percentuale di perdite idriche annue in fase di distribuzione, dichiarate dal gestore del servizio idrico [%].

Qualora si sia ottenuto l'indice delle perdite totali di distribuzione dalla formula (6.A.1), si procede con la fase 2 e la fase 3, in caso contrario, se si ricava l'indice a partire dalla formula (6.A.2) ci si ferma alla fase 1 e si considera il dato acquisito dai gestori del servizio idrico di pertinenza (k_3) come indicatore percentuale (6.%) della dispersione idrica.

Fase 2.

Calcolare l'indice di consumo netto (6.B) in funzione del fabbisogno idrico globale e della lunghezza della rete, secondo la formula:

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
tab. 7.8. Schema di sintesi delle fasi
e delle formule principali applicate
nel calcolo della quantità di acqua
dispersa da rete idrica

$$(6.B) \quad I_4 = \frac{F_{idr,gl} - I_3}{L_{rete}}$$

dove:

I_4 = volume d'acqua perso nella fase di distribuzione [m³/anno];
 $F_{idr,gl}$ = fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano (il cui calcolo
verrà esplicitato nel paragrafo seguente) [m³/anno];
 P_1 = Volume delle perdite totali di distribuzione ottenuto dalla for-
mula (6.A.1);
 L_{rete} = lunghezza della rete a servizio del Distretto Urbano [m].

Fase 3.

Calcolare l'indicatore percentuale (6.%) della dispersione idrica a
livello di distribuzione della rete, tramite la formula:

$$(6.%) \quad \text{Indicatore} = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{I_4}{P_1} \cdot 100$$

Nella pagina accanto, per sintetizzare le fasi di calcolo affrontate nel
paragrafo 7.1.2.6, si riporta uno schema riassuntivo con le fasi e le
formule principali nella tabella 7.8.

7.1.2.7 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano

Dopo aver determinato i primi 5 indicatori precedentemente calco-
lati e il sesto indicatore di calcolo della dispersione idrica a seconda
dei dati divulgati dal gestore del servizio idrico di competenza del
Distretto Urbano, come precedentemente anticipato, si può calcola-
re il fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano andando a som-
mare i singoli contributi, secondo la formula seguente:

$$F_{idr,gl} = F_{indorr_eff,res} + F_{indoor_eff,n\ res} + Eff_{indoor_eff} + F_{non_potabile} + \max[F_{irr}; F_{irr_eff}]$$

dove:

$F_{idr,gl}$ = fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano [m³/anno];
 $F_{indoor_eff,res}$ = quantità di acqua potabile effettiva per uso *indoor* per

Indicatore: quantità di acqua dispersa da rete idrica	Formule di riferimento	tabella 7.8
<p><u>Fase 1.</u> Calcolare l'indice delle perdite totali di distribuzione (6.A.1) in funzione dei parametri di lunghezza della rete e diametro della condotta i cui contributi, se posseduti, devono essere sommati tra loro. In alternativa, qualora non si disponga dei suddetti dati si può ricorrere alla quantificazione delle perdite totali di distribuzione (6.A.2), grazie al dato, sempre divulgato dal gestore del servizio idrico</p>	<p>(6.A.1) $I_3 = I_1 + I_2$</p> <p>o</p> <p>(6.A.2) $I_3 = F_{idr,gl} \cdot k_3$</p>	
<p>Qualora si sia ottenuto l'indice delle perdite totali di distribuzione dalla formula (6.A.1), si procede con le fasi 2 e 3.</p>		
<p><u>Fase 2.</u> Calcolare l'indice di consumo netto (6.B) in funzione del fabbisogno idrico globale e della lunghezza della rete;</p>	<p>(6.B) $I_4 = \frac{F_{idr,gl} - I_3}{L_{rete}}$</p>	
<p><u>Fase 3.</u> Calcolare l'indicatore percentuale (6.%) della dispersione idrica a livello di distribuzione della rete</p>	<p>(6.%) $\text{Indicatore} = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{I_4}{P_1} \cdot 100$</p>	

edifici a destinazione d'uso residenziale (indicatore ricavata dalla formula (1.B) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.1) [m³/anno];
 $F_{\text{indoor_eff,n res}}$ = quantità di acqua potabile effettiva per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale (quantità ricavata dalla formula (2.B) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.2) [m³/anno];
 $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}}$ = quantità di acqua reflua (componente grigia) inviata nel sistema fognario distrettuale (quantità ricavata dalla formula (3.B) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.3) [m³/anno];
 $F_{\text{non_potabile}}$ = quantità di acqua per usi non potabili (quantità ricavata dalla formula (c) esposta nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.4) [m³/anno];
 F_{irr} = quantità di acqua di base necessaria per l'irrigazione (quantità ricavata dalla formula (d) esposta nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.4) [m³/anno];
 $F_{\text{irr_eff}}$ = quantità di acqua effettiva necessaria per l'irrigazione (quantità ricavata dalla formula (e) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.4) [m³/anno].

Tale indicatore è funzionale per il calcolo del fabbisogno idrico globale pro capite, per abitante al giorno [l/giorno/ab].
Il dato della quantità di acqua pro capite al giorno è quello più diffuso nella letteratura e nei *report* scientifici e statistici e, per questa ragione, rende più facile un riscontro oggettivo della veridicità e della correttezza dei risultati ottenuti dai calcoli degli indicatori secondo il metodo precedentemente esposto.

7.1.2.8 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

L'utilizzo dell'acqua richiede energia: per questa ragione qualunque riduzione nell'utilizzo di acqua dovrebbe potenzialmente permettere di ridurre la domanda di energia del settore idrico, promuovendo quindi la mitigazione dei cambiamenti climatici, tanto più che circa i due terzi delle emissioni di gas ad effetto serra di origine antropica di tutto il mondo provengono dall'utilizzo e dalla produzione di energia (UN-Water, 2020). Bisogna mirare ad una maggiore elettrificazione diretta dei settori d'uso finali (EC, 2020a), e al miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche e dell'energia con il duplice scopo di ridurre le emissioni di carbonio e, al tempo stesso, migliorare le condizioni di comfort ambientale.
Uno degli indicatori che, alla luce di queste premesse, si è voluto

calcolare e prendere in considerazione è quello della quantità di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano.

Questo indicatore, seppur in una percentuale nettamente piccola se paragonato alla quantità di energia elettrica necessaria a soddisfare gli usi di climatizzazione estiva ed invernale, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione e illuminazione, ha comunque un peso che va considerato, in particolare per via del fatto che l'uso di energia da combustibili fossili nelle infrastrutture idriche nell'intero ciclo integrato è responsabile del 52% delle emissioni del settore (Global Water Intelligence, et al., 2022).

Per poter effettuare questo calcolo non esiste, tuttavia, un dato univoco e per questa ragione si è resa necessaria la determinazione di un ulteriore parametro variabile sia su base annuale che in funzione della collocazione geografica del Distretto Urbano preso in considerazione, indispensabile come indice di conversione ($IdC = k_4$) dei consumi idrici in consumi elettrici che, grazie alla collaborazione con il prof. Francesco Mancini, docente associato del Dipartimento di Pianificazione Design e Tecnologia dell'Architettura della Sapienza afferente al settore scientifico-disciplinare ING-IND11, è stato determinato secondo la formula:

$$(8) \quad IdC = k_4 = \frac{Q_{en,el_SII}}{F_{idr_naz,gl}}$$

dove:

k_4 = Indice di Conversione nazionale [kWh/m³];

Q_{en,el_SII} = consumi di energia elettrica annuali del Sistema Idrico Integrato, calcolati a livello nazionale [kWh/anno];

$F_{idr_naz,gl}$ = consumi idrici annuali, calcolati a livello nazionale [m³/anno];

Data l'alta variabilità spazio-temporale del dato è stata creata una tabella (tabella 7.9 nella pagina seguente), nella quale sono stati riportati i dati che hanno permesso di calcolare l'Indice di Conversione per 12 Paesi europei, a partire dai rispettivi consumi rilevati a livello nazionale per l'anno 2020 (EurEau, 2021; ISTAT, 2022a; ISTAT 2022c).

Nazione	Consumi elettrici [milioni kWh/anno]	Consumi idrici [milioni m ³ /anno]	Indice di Conversione (IdC = k ₄) [kWh/m ³]
Austria	190	577	0.329
Belgio	658	738	0.891
Danimarca	144	360	0.400
Finlandia	257	322	0.797
Irlanda	178	329	0.541
Italia	7 500	26 000	0.288
Paesi Bassi	456	1 140	0.400
Portogallo	531	572	0.929
Spagna	1 218	3 107	0.392
Svezia	473	675	0.700
Svizzera	351	761	0.461
Ungheria	256	454	0.563

tabella 7.9

La presente tabella non ha carattere esaustivo ma rappresenta una fotografia della situazione dei consumi elettrici e idrici dell'anno 2020 per i 12 Paesi considerati che di anno in anno andrebbe aggiornata, oltre che ampliata, in funzione dei dati relativi agli altri 15 Paesi facenti parte dell'Unione Europea, o mondiali, per disporre sempre di un indice di conversione preciso e puntuale.

Questo rende il calcolo dei consumi elettrici legati al settore idrico un dato legato oltre che ad una flessibilità spaziale anche ad una flessibilità temporale, tuttavia, i dati già ad ora acquisiti rimangono uno strumento valido di valutazione se si considera l'ordine di grandezza dell'indice elaborato che, sebbene possa di anno in anno modificarsi nei valori dei centesimi o millesimi, comunque si pre-suppone rimanga abbastanza simile.

Di conseguenza, a partire dall'individuazione dell'Indice di Conversione, si è proceduto con il calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano, secondo la formula:

Didascalie alle immagini.
tab. 7.9. Consumi elettrici [milioni kWh/anno], consumi idrici [milioni m³/anno] e Indice di Conversione k₄ [kWh/m³] per 12 Paesi europei (elaborazione della tabella a partire dai dati contenuti in EurEau, 2021; ISTAT, 2022a; ISTAT 2022c)

$$(9) \quad Q_{en,el_idr} = k_4 \cdot F_{idr,gl}$$

dove:

k₄ = Indice di Conversione nazionale [kWh/m³];

Q_{en,el_idr} = consumi di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano [kWh/anno]

F_{idr,gl} = fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano (quantità ricavata dalla formula esposta nel paragrafo 7.1.2.7) [m³/anno].

Tale indicatore è funzionale anche per il calcolo quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano pro capite, per abitante al giorno [kWh/anno/ab], dato particolarmente rilevante ai fini di un confronto rispetto alla produzione globale di energia elettrica per gli altri usi comunemente considerati a livello distrettuale (climatizzazione estiva ed invernale, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, trasporto persone o cose e illuminazione), per determinarne, in funzione del risultato ottenuto, la percentuale di incidenza rispetto al dato totale.

7.1.3 Metodo di calcolo della quantità di CO₂ emessa nel segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale

A partire dagli 8 indicatori che definiscono, singolarmente e complessivamente, il fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano e la quantità di dispersione idrica nel segmento acquedotto nelle fasi di immissione in rete e distribuzione, è stato impostato il metodo di calcolo, a partire dagli studi della letteratura ed in particolare dall'approccio metodologico riportato in (EA, 2008) che ha permesso di quantificare la CO₂ emessa nel segmento acquedotto del ciclo idrico integrato durante la fase di distribuzione legata ai consumi idrici, mentre per le emissioni legate ai consumi elettrici il metodo di calcolo è stato elaborato grazie alla collaborazione con il prof. Francesco Mancini.

In particolare in questo caso però, come nel caso del calcolo dei consumi di energia elettrica, è stato necessario disporre di un dato Indice Quantitativo che permettesse di ricavare, a partire dal valore unitario delle emissioni di CO₂ legate al servizio idrico integrato, le

specifiche emissioni di CO₂ legate ai consumi idrici e di un ulteriore dato Indice Quantitativo che permettesse di ricavare le emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano.

Questi indici variano sostanzialmente perché il Servizio Idrico Integrato, nella sua complessità e frammentazione, rappresenta un servizio le cui *performance* ambientali in genere dipendono molto dall'orografia del territorio, dalle fonti di approvvigionamento idrico, dalla densità abitativa, dalla popolazione residente e dalla distanza degli edifici che occupano gli utenti finali rispetto ai centri abitati, dalla centralizzazione degli impianti di trattamento, nonché da ulteriori fattori caratteristici di ogni singola porzione di territorio. Di conseguenza, gli Indici Quantitativi necessari costituiscono, ancora una volta, degli elementi variabili che devono essere reperiti dai bilanci di sostenibilità o dalle informazioni messe a disposizione dai gestori del servizio idrico di riferimento locale.

Infine, va considerata anche la variabilità dell'Indice Quantitativo unitario considerato, a seconda del segmento o della singola fase del servizio idrico, della tipologia di emissione considerata nel calcolo in base all'applicazione della norma ISO 14064 (emissioni dirette, indirette, biogeniche o non biogeniche) e della norma ISO 14067, già anticipate nel paragrafo 2.2.2.1, e del metodo di calcolo di riferimento utilizzato ("cradle-to-gate" fino alla fase di produzione, approccio più diffuso nell'ambito del servizio idrico, o "cradle-to-grave", ovvero arrivando a considerare le emissioni fino alla fase di fine vita).

Con particolare riferimento all'Indice Quantitativo che verrà definito nel paragrafo 7.1.3.2, si richiama che la norma ISO 14064 nell'Allegato E specifica che le emissioni di gas serra derivanti dal consumo di energia elettrica importata devono essere contabilizzate con un fattore di emissione possibilmente locale, che tenga in considerazione le condizioni specifiche del sito della rete di produzione e trasmissione nazionale o regionale.

7.1.3.1 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate al fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

Facendo seguito alle premesse fatte nel precedente paragrafo, l'Indice Quantitativo (IQ = k₆) che viene preso a riferimento come valo-

re di *input* da inserire nel *tool* di calcolo della presente trattazione, rientra in un quadro emissivo complessivo, calcolato con un approccio di riferimento "cradle-to-grave" e tenendo conto delle emissioni dirette e indirette (escludendo quelle di origine biogenica), dal quale, ai fini dell'analisi delle emissioni di CO₂ rilasciate in atmosfera dal Distretto Urbano a partire dai consumi idrici e dalle dispersioni di rete, viene estrapolata soltanto la porzione relativa alla fase d'uso e distribuzione (da parte di utenze domestiche, pubbliche, commerciali, agricole e industriali) del segmento acquedotto.

Per il calcolo delle emissioni di CO₂ legate al fabbisogno idrico del Distretto Urbano si è, dunque, proceduto applicando le seguenti formule:

$$(10) \quad CO_{2_ind_eff} = k_6 \cdot (F_{indorr_eff,res} + F_{indoor_eff,n\ res})$$

$$(11) \quad CO_{2_ind_effl} = k_6 \cdot Eff_{indorr_eff}$$

$$(12) \quad CO_{2_non\ potabile_irr} = k_6 \cdot [F_{non\ potabile} + \max(F_{irr}; F_{irr_eff})]$$

$$(13) \quad CO_{2_perdite} = k_6 \cdot I_3$$

$$(14) \quad CO_{2_idr_gl} = k_6 \cdot F_{idr,gl}$$

dove:

CO_{2_ind_eff} = emissioni di CO₂ relative alla quantità di acqua potabile effettiva per uso *indoor* per il Distretto Urbano [kgCO₂eq*m³/anno];
k₆ = Indice Quantitativo di CO₂ unitaria rilasciata in atmosfera relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto nel Distretto Urbano [kgCO₂eq/m³]

F_{indoor_eff,res} = quantità di acqua potabile effettiva per uso indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale (indicatore ricavata dalla formula (1.B) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.1) [m³/anno];

F_{indoor_eff,n res} = quantità di acqua potabile effettiva per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale (quantità ricavata dalla formula (2.B) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.2) [m³/anno];

CO_{2_ind_effl} = emissioni di CO₂ relative alla quantità di acqua reflua inviata nel sistema fognario del Distretto Urbano [kgCO₂eq*m³/anno];

Eff_{indoor_eff} = quantità di acqua reflua (componente grigia) inviata nel sistema fognario distrettuale (quantità ricavata dalla formula (3.B)

esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.3) [m³/anno];
CO_{2,non potabile,irr} = emissioni di CO₂ relative alla quantità di acqua non potabile e necessaria per l'irrigazione del Distretto Urbano [kgCO₂eq*m³/anno];
F_{non,potabile} = quantità di acqua per usi non potabili (quantità ricavata dalla formula (c) esposta nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.4) [m³/anno];
F_{irr} = quantità di acqua di base necessaria per l'irrigazione (quantità ricavata dalla formula (d) esposta nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.4) [m³/anno];
F_{irr,eff} = quantità di acqua effettiva necessaria per l'irrigazione (quantità ricavata dalla formula (e) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.4) [m³/anno];
CO_{2,perdite} = emissioni di CO₂ relative alla quantità di acqua persa nella fase di distribuzione nel Distretto Urbano [kgCO₂eq*m³/anno];
I₃ = volume d'acqua perso nella fase di distribuzione (quantità ricavata dalla formula (6.A) esposta nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.6) [m³/anno];
CO_{2,idr,gl} = emissioni di CO₂ relative al fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano [kgCO₂eq*m³/anno];
F_{idr,gl} = fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano (quantità ricavata dalla formula esposta nel paragrafo 7.1.2.7) [m³/anno].

7.1.3.2 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

Come anticipato nel paragrafo introduttivo di pertinenza e al pari di quanto esposto nel paragrafo precedente, anche nel caso del calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano, si è provveduto ad individuare un ulteriore Indice Quantitativo, sempre a partire dalle informazioni rese note dai gestori del servizio idrico, che fosse calcolato in conformità con quanto previsto dalla norma ISO 14064 come emissioni indirette derivanti consumo dell'energia elettrica per la produzione, l'uso e il monitoraggio degli impianti e dei dispositivi a servizio del ciclo idrico integrato nella fase di distribuzione.

Una volta individuato l'Indice Quantitativo (IQ = k₇) per il calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano si

è, dunque, proceduto applicando la seguente formula:

$$(15) \quad CO_{2_en,el_idr} = k_7 \cdot Q_{en,el_idr}$$

dove:

CO_{2,en,el,idr} = emissioni di CO₂ relative ai consumi di energia elettrica per soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano [kgCO₂eq*m³/anno];

k₇ = Indice Quantitativo di CO₂ unitaria rilasciata in atmosfera durante la produzione dell'energia elettrica relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto nel Distretto Urbano [kgCO₂eq/kWh];

Q_{en,el,idr} = consumi di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano (quantità ricavata dalla formula (9) esposta nel paragrafo 7.1.2.8) [kWh/anno].

7.2 Strumento di calcolo

Come illustrato nel paragrafo precedente, gli indicatori presentati sono quantificabili attraverso l'elaborazione di specifici calcoli, che possono essere effettuati mediante l'utilizzo di un *tool* di calcolo appositamente predisposto per questo fine.

Il *tool* consiste in fogli di calcolo, che vanno compilati con l'inserimento di determinati dati di *input*, a partire dai quali vengono automaticamente calcolati gli indicatori, secondo la metodologia precedentemente descritta.

Parallelamente al calcolo automatico degli indicatori vengono costruiti dei grafici (a torta e a colonne raggruppate) che permettono un ulteriore controllo dei risultati ottenuti, oltre che una sintesi visiva più immediata rispetto al dato numerico.

Per tutti i fogli di calcolo è stata utilizzata una convenzione grafica delle celle che ne definisce le proprietà:

_celle bianche: celle che devono essere modificate dal progettista, con i dati di *input*;

_celle gialle: celle non modificabili dal progettista, contenenti dati fissi o calcoli intermedi;

_celle grigie: celle non modificabili dal progettista contenenti istruzioni d'uso o di calcolo;

_celle azzurre: celle modificabili da menù a tendina con relative istruzioni di modifica a margine;

_celle arancioni: celle che contengono dati variabili in relazione alla collocazione geografica del Distretto Urbano o della soluzione tecnologica e impiantistica scelta. Tali celle sono impostate secondo i parametri previsti dalla normativa tecnica della Regione Lazio e secondo una percentuale corrispondente ad una media efficienza delle soluzioni tecnologiche e impiantistiche che prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua attualmente più diffuse, tuttavia possono essere modificate qualora si usino tecnologie o impianti che, da scheda tecnica, risultino più performanti.

7.2.1 Fogli di calcolo del *tool*

I fogli del calcolo presenti nel *tool* sono 17 in totale, di cui 7 destinati al calcolo del fabbisogno idrico nelle varie destinazioni d'uso (residenziale, uffici, edifici a destinazione d'uso commerciale, industriale, ricettiva, scolastica e ristoranti), 7 destinati al calcolo delle emissioni di CO₂ correlate ai consumi idrici per le rispettive destinazioni d'uso, 1 che raccoglie e sistematizza i dati ottenuti dai fogli specifici restituendo il quadro del fabbisogno idrico del Distretto Urbano, 1 che a partire dai dati ottenuti nel foglio del Distretto Urbano ne definisce il fabbisogno energetico correlato e l'ultimo foglio in cui viene fatta una valutazione del quadro delle emissioni di CO₂ rilasciate in atmosfera a livello distrettuale.

7.2.1.1 F. idrico_d.u. "varie"

I 7 fogli denominati "F. idrico_d.u. (...)" e la rispettiva destinazione d'uso sono i fogli grazie ai quali si possono determinare i primi 7, dei 10 indicatori elencati nel paragrafo 7.1.2:

(1) quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale $F_{\text{indoor_eff}}$ con la relativa quantità di acqua potabile risparmiata $V_{\text{risparmiata}}$ (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (1.B) e la formula (1.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.1);

(2) quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale $F_{\text{indoor_eff}}$ con la relativa quantità di acqua potabile risparmiata $V_{\text{risparmiata}}$ (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (2.B) e la formula (2.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.2);

(3) quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale $Eff_{\text{indoor_eff}}$ con la relativa quantità di acqua potabile risparmiata $W_{\text{risparmiata}}$ (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (3.B) e la formula (3.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.3);

(4) quantità di acque meteoriche captate e stoccate V_{CISTERNA} con il relativo volume teorico di acqua piovana recuperabile V_{OTTIMALE} (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (4.A)

presentata nella fase 1 e nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.4);

(5) quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi F_{irr_eff} con la relativa quantità di acqua risparmiata grazie all'uso di acqua non potabile e di piantumazioni a basso consumo idrico V_{ris} (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (e) e la formula (5.B) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.5);

(6) quantità di acqua dispersa da rete idrica I_3 ottenibile sia a partire dai dati di lunghezza della rete e area della condotta idrica che a partire dal dato percentuale di dispersione idrica fornito dal gestore del servizio idrico (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (6.A.1.) e la formula (6.A.2.) presentate nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.6);

(7) fabbisogno idrico globale rispetto a ciascuna delle destinazioni d'uso (il cui metodo di calcolo è esposto con la formula presentata nel paragrafo 7.1.2.7) che viene calcolato, in maniera automatica, sia in metri cubi di acqua annui che in metri cubi su metro quadro.

Tutti i 7 fogli hanno una parte introduttiva nella quale viene via via delineata la composizione del Distretto Urbano, che via via si compone e va a formare il quadro globale.

I dati di *input* da inserire nelle celle bianche sono:

- il numero di edifici facenti parte di ciascuna destinazione d'uso (nelle celle che vanno, a seconda del foglio, dalla E4 alla E12);
- la superficie utile del singolo edificio [m²] per ciascuna destinazione d'uso (nella cella che va, a seconda del foglio, dalla M6 alla M12);
- il numero di abitanti o utenti finali:
 - _nel caso del foglio a destinazione d'uso residenziale il numero di camere da letto a uso singolo (da inserire al posto della n all'interno della cella H4) e il numero di camere da letto a uso matrimoniale (da inserire al posto della n all'interno della cella H5);
 - _nel caso dei fogli a destinazione d'uso non residenziale il numero di utenti finali (nelle celle che vanno, a seconda del foglio, dalla H7 alla H12);
- i dati tecnici legati al volume di acqua dell'impianto per la raccolta e il riutilizzo delle acque per usi *indoor*:

_nel caso del foglio a destinazione d'uso residenziale dell'acqua piovana, delle acque grigie e dell'acqua di condensa dell'impianto di climatizzazione (da inserire in [m³] rispettivamente all'interno delle celle C117, J20 e K29);

_nel caso dei fogli a destinazione d'uso non residenziale dell'acqua piovana, dell'acqua non potabile e delle acque grigie (da inserire in [m³] rispettivamente nelle celle C115, S62 e K82);

- la superficie di captazione i-esima (da inserire in [m²] rispettivamente all'interno delle celle che vanno, a seconda del foglio, dalla D97 alla D103 e dalla D95 alla D101);
- la superficie verde (da inserire in [m²] al posto nella n e senza modificare il resto della formula all'interno della cella che, a seconda del foglio, è la F104 o la F102);
- il fabbisogno idrico effettivo delle specie vegetali piantumate, dato facoltativo da inserire solo se le specie hanno un fabbisogno idrico diverso dallo standard (nella cella, a seconda del foglio, B137 o B135);
- i dati della lunghezza della rete, del diametro della condotta della rete o del dato percentuale fornito dal gestore (da inserire in funzione della selezione fatta nel menù a tendina nella casella A159 per i dati di cui si dispone, a seconda del foglio, rispettivamente nelle celle D155, G161 e I161 oppure D153, G159 e I159).

Qualora non si disponga di alcuni dati di *input* o, nel caso in esame, questi siano nulli, inserire lo 0 (zero) nella casella corrispondente.

7.2.1.2 Emissioni_d.u. "varie"

I 7 fogli denominati "Emissioni_d.u. (...)" e la rispettiva destinazione d'uso sono i fogli grazie ai quali si determina il nono indicatore, tra quelli elencati nel paragrafo 7.1.2, ovvero la quantità di emissioni di CO₂ rilasciate in atmosfera legata al fabbisogno idrico delle singole destinazioni d'uso.

Tuttavia, per poter fare una analisi più puntuale del quadro emissivo, non viene calcolata solo la quantità globale ma viene calcolata rispetto ai vari indicatori dei consumi idrici:

(1) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale $CO_{2_ind_eff,res}$ con la relativa quantità di CO₂ non emessa $CO_{2_risparmiata,res}$ (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (10)

del paragrafo 7.1.3.1 a partire dagli indicatori ottenuti con le formule (1.B) e (1.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.1);

(2) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale CO_{2_ind_eff,n res} con la relativa quantità di CO₂ non emessa CO_{2_risparmiata,n res} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (10) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dagli indicatori ottenuti con le formule (2.B) e (2.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.2);

(3) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale da ciascuna destinazione d'uso CO_{2_ind_effl} con la relativa quantità di CO₂ non emessa CO_{2_risparmiata} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (11) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dagli indicatori ottenuti con la formula (3.B) e la formula (3.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.3);

(4) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso relativa alla quantità di acqua non potabile e necessaria per l'irrigazione delle aree verdi pertinenziale degli edifici relativi a ciascuna destinazione d'uso CO_{2_non_potabile_irr} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (12) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dagli indicatori ottenuti dalla formula (c) e (d) esposti nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.4 o dall'indicatore ottenuto dalla formula (e) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.4);

(5) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acqua dispersa da rete idrica CO_{2_perdite} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (13) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dall'indicatore ottenuto con la formula (6.A.1) o la formula (6.A.2) presentate nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.6);

(6) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acqua globale del Distretto Urbano CO_{2_idr_gl} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (14) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dall'indicatore ottenuto dalla formula presentata nel paragrafo 7.1.2.7).

In questi 7 fogli non ci sono celle bianche con dati di *input* da inse-

rire perché si compongono automaticamente a partire dai dati calcolati nei rispettivi fogli "Fidrico_d.u. (...)".

Inoltre si formano, altrettanto automaticamente, i grafici relativi:

- al fabbisogno idrico effettivo per ciascuna delle destinazioni d'uso (grafico a torta con le percentuali o a colonne raggruppate, corrispettive di ciascuna delle componenti);
- alla quantità di CO₂ emessa per ciascuna delle destinazioni d'uso (anche in questo caso grafico a torta con le percentuali corrispettive di ciascuna delle componenti);
- al Volume di acqua risparmiato per ciascuna delle destinazioni d'uso grazie alle soluzioni tecnologiche e impiantistiche progettate o attuate (grafico a colonne raggruppate con i valori corrispondenti a ciascuna delle componenti);
- alla quantità di CO₂ non emessa in atmosfera grazie alla riduzione del consumo idrico (grafico a colonne raggruppate con i valori corrispondenti a ciascuna delle componenti).

7.2.1.3 F. idrico_distretto urbano

Il foglio denominato "Fidrico_distretto urbano" è il foglio di sintesi, quello nel quale vengono sistematizzate tutte le informazioni inserite nei relativi fogli per ciascuna destinazione d'uso e nel quale la parte introduttiva riporta la composizione, stavolta completa, del Distretto Urbano.

In questo foglio vengono riportati i risultati dei 7 indicatori, precedentemente calcolati in maniera puntuale:

(1) quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale F_{indoor_eff} con la relativa quantità di acqua potabile risparmiata V_{risparmiata} (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (1.B) e la formula (1.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.1);

(2) quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale F_{indoor_eff} con la relativa quantità di acqua potabile risparmiata V_{risparmiata} (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (2.B) e la formula (2.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.2), attraverso la somma dei dati ottenuti da ciascuna delle destinazioni d'uso calcolate sin-

golarmente;

(3) quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale Eff_{indoor_eff} con la relativa quantità di acqua potabile risparmiata $W_{risparmiata}$ (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (3.B) e la formula (3.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.3), andando a sommare il contributo della destinazione d'uso residenziale e di quelle non residenziali;

(4) quantità di acque meteoriche captate e stoccate $V_{CISTERNA}$ con il relativo volume teorico di acqua piovana recuperabile $V_{OTTIMALE}$ (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (4.A) presentata nella fase 1 e nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.4), anche in questo caso attraverso la somma dei contributi delle acque recuperate e stoccate per tutte le destinazioni d'uso prese in considerazione;

(5) quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi F_{irr_eff} con la relativa quantità di acqua risparmiata grazie all'uso di acqua non potabile e di piantumazioni a basso consumo idrico V_{ris} (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (e) e la formula (5.B) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.5), tenendo conto anche delle aree verdi non solo di pertinenza degli edifici ma anche quelle distrettuali sulle quali si interviene e di quelle relative alle opere di drenaggio urbano sostenibile o *green-blue infrastructures*;

(6) quantità di acqua dispersa da rete idrica I_3 ottenibile sia a partire dai dati di lunghezza della rete e area della condotta idrica che a partire dal dato percentuale di dispersione idrica fornito dal gestore del servizio idrico (i cui metodi di calcolo sono esposti rispettivamente con la formula (6.A.1.) e la formula (6.A.2.) presentate nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.6);

(7) fabbisogno idrico globale rispetto a ciascuna delle destinazioni d'uso (il cui metodo di calcolo è esposto con la formula presentata nel paragrafo 7.1.2.7) che viene calcolato, in maniera automatica, sia in metri cubi di acqua annui che in metri cubi al giorno pro capite.

La composizione del foglio avviene in automatico, ad eccezione di 3 celle bianche, i cui dati di *input* vanno inseriti manualmente, relativi

a:

- i dati della lunghezza della rete, del diametro della condotta della rete o del dato percentuale fornito dal gestore (da inserire in funzione della selezione fatta nel menù a tendina nella casella A159 per i dati di cui si dispone, a seconda del foglio, rispettivamente nelle celle D157, G163 e I163).

7.2.1.4 F. energetico_distretto urbano

Il foglio "F.energetico_distretto urbano" è il foglio all'interno del quale le informazioni acquisite nel foglio "F. idrico_distretto urbano" vengono messe a sistema con quelle di carattere energetico, a livello distrettuale.

Anche in questo caso, la parte introduttiva del foglio riporta la composizione completa del Distretto Urbano.

Grazie a questo foglio si calcola l'ottavo indicatore, tra quelli elencati nel paragrafo 7.1.2, della quantità di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano Q_{en,el_idr} (il cui metodo di calcolo è esposto con la formula (9) presentata nel paragrafo 7.1.2.8) che poi viene calcolata automaticamente anche come contributo pro capite.

Per il calcolo del fabbisogno energetico è necessario selezionare dalle celle di colore azzurro, composte da due menù a tendina, la nazione di riferimento ed il relativo Indice di Conversione ($IdC = k_4$) (rispettivamente le celle B17 e G17).

Inoltre, qualora si voglia integrare il progetto volto all'efficienza idrica con quello volto all'efficienza energetica, sempre in questo foglio, è possibile sistematizzare i dati calcolati al di fuori del presente *tool*, relativi al dimensionamento di un impianto da fonte energetica rinnovabile (FER) che vada a coprire il fabbisogno idrico del distretto, con quelli del fabbisogno energetico calcolati nel *tool*, al fine di ricavare la quantità di energia elettrica ottenibile grazie all'impianto da FER scelto, e, qualora si sia in un Distretto Urbano le cui caratteristiche geo-morfologiche favoriscano la scelta degli impianti solari come sistema più efficiente, il numero di moduli fotovoltaici necessari a coprire il fabbisogno idrico e i kWh prodotti dall'impianto.

Per farlo, qualora si stia progettando un impianto solare fotovoltaico (impostato di *default* nel menù a tendina nella cella A35), si può fare riferimento alla tabella che si può compilare inserendo alcuni dati di *input* nelle celle bianche che vanno dalla D35 alla D56, ad eccezione della D35 e della D38 che (celle azzurre) che permettono di selezionare, dal menù a tendina, la tecnologia di pannello fotovoltaico scelto e la posizione di montaggio.

Per i dati di *input* necessari per la compilazione delle celle bianche si consiglia di fare riferimento al *software* gratuito *online*: PVGIS (EC, 2022e).

7.2.1.5 Emissioni_distretto urbano

L'ultimo foglio del *tool*, "Emissioni_distretto urbano" è quello dedicato appunto al calcolo delle quantità di CO₂ emessa in atmosfera dal Distretto Urbano.

Tuttavia, anche in questo caso, come nel caso dei fogli di calcolo delle emissioni specifici per ciascuna delle destinazioni d'uso, per poter fare una analisi più puntuale del quadro emissivo, non viene calcolata solo la quantità globale ma viene calcolata rispetto ai vari indicatori dei consumi idrici:

(1) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale CO_{2_ind_eff,res} con la relativa quantità di CO₂ non emessa CO_{2_risparmiata,res} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (10) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dagli indicatori ottenuti con le formule (1.B) e (1.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.1). Tale indicatore viene misurato anche come quantità pro capite al giorno;

(2) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale CO_{2_ind_eff,n res} con la relativa quantità di CO₂ non emessa CO_{2_risparmiata,n res} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (10) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dagli indicatori ottenuti con le formule (2.B) e (2.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.2). Tale indicatore viene calcolato grazie alla somma dei contributi delle singole destinazioni d'uso non residenziali e viene misurato anche come quantità pro capite al giorno;

(3) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale CO_{2_ind_effi} con la relativa quantità di CO₂ non emessa CO_{2_risparmiata} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (11) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dagli indicatori ottenuti con la formula (3.B) e la formula (3.C) presentate nelle fasi 2 e 3 del paragrafo 7.1.2.3) da tutti gli edifici che compongono il Distretto Urbano;

(4) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso relativa alla quantità di acqua non potabile e necessaria per l'irrigazione delle aree verdi del Distretto Urbano CO_{2_non potabile_irr} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (12) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dagli indicatori ottenuti dalla formula (c) e (d) esposti nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.4 o dall'indicatore ottenuto dalla formula (e) esposta nella fase 2 del paragrafo 7.1.2.4);

(5) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acqua dispersa da rete idrica CO_{2_perdite} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (13) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dall'indicatore ottenuto con la formula (6.A.1.) o la formula (6.A.2.) presentate nella fase 1 del paragrafo 7.1.2.6);

(6) quantità di CO₂ emessa in fase d'uso dalla componente di acqua globale del Distretto Urbano CO_{2_idr_gl} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (14) del paragrafo 7.1.3.1 a partire dall'indicatore ottenuto dalla formula presentata nel paragrafo 7.1.2.7). Tale indicatore viene calcolato anche come quantità emessa pro capite al giorno.

Un ulteriore indicatore che viene calcolato in questo foglio è il decimo indicatore, tra quelli presentati nel paragrafo 7.1.2, ovvero la quantità di CO₂ legata alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano emessa in atmosfera CO_{2_en,el_idr} (il cui metodo di calcolo segue quanto esposto nella formula (15) del paragrafo 7.1.3.2, a partire dall'indicatore ottenuto con la formula (9) presentata nel paragrafo 7.1.2.8).

In questo foglio non ci sono celle bianche con dati di *input* da inserire perché si compone automaticamente a partire dai dati calcolati nei fogli "F.idrico_distretto urbano" e "F.energetico_distretto urbano".

Inoltre si formano, altrettanto automaticamente, i grafici relativi:

- al fabbisogno idrico effettivo del Distretto Urbano (grafico a torta con le percentuali o colonne raggruppate corrispettive di ciascuna delle componenti);
- alla quantità di CO₂ emessa in atmosfera dall'intero Distretto Urbano (anche in questo caso grafico a torta con le percentuali corrispettive di ciascuna delle componenti);
- alla quantità di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano (anche in questo caso grafico a torta con le percentuali corrispettive di ciascuna delle componenti);
- alla quantità di CO₂ legata alla produzione di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano emessa in atmosfera (anche in questo caso grafico a torta con le percentuali corrispettive di ciascuna delle componenti);
- al volume di acqua risparmiato nell'intero Distretto Urbano grazie alle soluzioni tecnologiche e impiantistiche progettate o attuate (grafico a colonne raggruppate con i valori corrispondenti a ciascuna delle componenti);
- alla quantità di CO₂ non emessa in atmosfera grazie alla riduzione del consumo idrico (grafico a colonne raggruppate con i valori corrispondenti a ciascuna delle componenti).

7.3 Individuazione e scelta del caso di studio in base ai parametri ambientali che subiscono un medio impatto dei cambiamenti climatici: il Quartiere INCIS-Decima situato nel quadrante sud-occidentale della città di Roma, Italia

La definizione del metodo di Ricerca e del relativo metodo e strumento di calcolo hanno posto le basi per la fase più strettamente applicativa della Ricerca, a partire dall'individuazione del caso studio sul quale, dall'analisi dello stato di fatto, sono state poi svolte simulazioni con vari scenari di riqualificazione che hanno portato alla definizione dei risultati attesi.

La scelta del caso studio, a priori volutamente limitata ai casi studio europei, ha comportato una analisi approfondita della situazione climatica attuale degli Stati europei e delle proiezioni future a partire dai parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici, di piovosità annua e stagionale, di frequenza dei periodi di siccità, del tasso di umidità contenuta nel suolo, dei livelli di ricarica delle acque di falda e del tasso di evapotraspirazione stagionale, ritenuti particolarmente rilevanti ai fini della valutazione adeguata degli interventi mirati alla gestione sostenibile e ad un uso interamente circolare della risorsa idrica, come precedentemente espresso nel paragrafo 6.2.

Dovendo individuare un unico caso studio sul quale svolgere la fase applicativa la scelta si è orientata verso quegli Stati che, all'analisi dei parametri sopra citati, si collocano tra quelli con un impatto di rischio medio (fascia da medio-basso a medio-alto) rispetto alla risorsa idrica.

Si è ritenuto che scegliere un caso studio estremo, nel quale i parametri ambientali rilavati subissero un impatto molto alto o molto basso da parte dei cambiamenti climatici, avrebbe abbracciato solo porzioni territoriali più circoscritte e dunque avrebbe portato alla determinazione di strategie di riqualificazione e soluzioni di intervento sicuramente più puntuali e di nicchia rispetto a quelle attuabili, ad una scala più ampia, in Stati dove l'impatto dei cambiamenti climatici è di medio rischio.

Stati che, dall'analisi delle carte riportate nel Capitolo 5, risultano essere prevalentemente quelli della fascia centro-meridionale del continente europeo.

Tra questi, la scelta oggetto di approfondimento è stata la zona centrale dell'Italia, in particolare il versante occidentale, nel quale è collocata la regione Lazio: andando ad analizzare nel dettaglio i parametri di piovosità annua e stagionale (fig. 5.2 e fig. 5.3 estrapolate da EEA, 2021) si evince una tendenza storica tra il 1960 e il 2015 con una riduzione non particolarmente significativa delle precipitazioni tra i -20 mm/decade e gli 0 mm/decade nel periodo annuale e nel periodo estivo tra i -5 mm/decade e gli 0 mm/decade, dati suffragati anche dalle statistiche sui dati meteo-climatici e idrologici dell'ISTAT, mentre la proiezione futura tra il 2071 e il 2100 manifesta una diminuzione tra il -5% e il +5% per quanto riguarda l'analisi annuale mentre nel periodo estivo una diminuzione più accentuata, tra il -40% e il -30%.

A seguito del parametro di piovosità, l'analisi ha interessato il parametro di frequenza dei periodi di siccità (fig. 5.4 e fig. 5.5 estrapolate da EEA, 2021) che nel periodo storico tra il 1960 e il 2015 ha visto una tendenza prevalentemente bassa, tra lo 0 e i 3.5 eventi per decade, mentre in proiezione futura, l'analisi delle variazioni previste tra i periodi 1981-2010 e 2041-2070 inserisce il versante occidentale del centro Italia tra le zone che, nello scenario RCP 8.5 dell'IPCC (scenario 3 °C), possono arrivare a subire una variazione nella frequenza dei periodi di siccità superiore allo 0.7 eventi per decade.

Parallelamente ai periodi di siccità, il parametro analizzato è quello legato al tasso di umidità contenuta nel suolo (fig. 5.6 estrapolata da EEA, 2021) che, da un punto di vista strettamente diagnostico, è quello che permette di prendere in considerazione, nella descrizione del suolo, i rapporti fra suolo e acqua e che, mediamente, inquadra il *trend* di variazione tra il periodo 2021-2050 rispetto al periodo tra il 1961-2010 dell'Italia centro-occidentale come minore o uguale di -2.0 secondo la scala di indice di gravità della siccità di Palmer (indice che varia da -10 (secco) a +10 (umido)).

Dal punto di vista delle condizioni di ricarica delle acque di falda su scala nazionale l'Italia si inquadra come un paese a stress idrico medio-alto, nel quale a livello regionale, il Lazio supera il 90% di dipendenza dalle proprie acque sotterranee (come si evince dalla fig. 5.7 estrapolata da EEA, 2021) con un prelievo di acqua per uso potabile pari a 1,16 miliardi di metri cubi (Legambiente, 2022).

Ultimo parametro preso in considerazione tra quelli che subiscono l'influenza dei cambiamenti climatici a livello territoriale è stato quello del tasso di evapotraspirazione stagionale (fig. 5.8 estrapola-

ta da EEA, 2021) che evidenzia la zona centro-occidentale dell'Italia come zona in cui è prevista una variazione pressoché nulla nella stagione invernale, primaverile ed autunnale con una variazione prevista tra lo 0 e il 10% mentre nella stagione estiva una variazione più alta, compresa tra il 20% e il 30%, quadro percentuale individuato per uno scenario di variazione di temperatura di 3°).

Andando a sintetizzare quanto analizzato, la zona della regione Lazio si è, dunque, collocata tra le aree i cui parametri legati alle risorse idriche subiscono un impatto di medio rischio (variabile tra medio-alto e medio basso, in funzione di ciascun parametro) da parte dei cambiamenti climatici, alla luce del quadro attuale e secondo gli scenari di previsione futura.

Avendo limitato il campo alla regione Lazio la scelta è dunque ricaduta su un quartiere romano, in particolare su uno dei quartieri romani di edilizia residenziale pubblica, pensati come luogo del progresso evolutivo della società ma attualmente troppo spesso luoghi di abbandono, di degrado sociale ed economico o 'quartieri dormitorio'. In particolare, tra i quartieri ERP, è stato scelto il Quartiere INCIS (Istituto Nazionale per le Case degli Impiegati Statali) nella zona di Decima, già oggetto di studio e approfondimento da parte dell'autrice, da cui è scaturita la pubblicazione di un contributo in volume (Giampaolletti, M., Romano, G., 2022).

Il Quartiere INCIS-Decima sorge su un'area di circa 22 ettari posta a sud-ovest del Quartiere EUR ed è caratterizzato da un linguaggio architettonico razionalista su piani pilotis. Il progetto urbanistico fu affidato a Luigi Moretti, mentre quello edilizio oltre che a Luigi Moretti, fu affidato anche ad Adalberto Libera, Vittorio Cafiero e Ignazio Guidi, che realizzarono il Quartiere tra il 1957 e il 1965.

La conformazione urbanistica del Quartiere presenta cinque tipologie edilizie: edifici seriali a pettine disposti nell'area Sud-Ovest, edifici di margine a Sud-Est, edifici di margine a L e C posti a Nord-Ovest, edifici di quinta composti dalla spina centrale dell'attuale viale Camillo Sabatini e degli edifici a quest'ultima perpendicolari. La composizione volumetrica dei fabbricati si articola per «isole», dentro le quali gli edifici vengono modellati in forme concave e convesse secondo temi di volta in volta diversificati (Raitano, M., 2018).

Il Quartiere INCIS-Decima, attualmente è situato nel nono Municipio della Città Metropolitana di Roma Capitale (ex 12 Municipio di Roma), ed è composto da 808 appartamenti per un totale di 5 724 vani in edifici in linea.

Didascalie alle immagini.
nelle pagine seguenti -

7.1.a Scheda con dati generali del progetto, dati climatici e immagini del Quartiere INCIS-Decima (Planimetria tratta da Giampaolletti M., et al., 2019; immagini e bozzetto di prospettiva tratte da Associazione Decima50, 2017);

7.1.b (a destra) Bozzetti di prospettiva in bianco e nero del progetto originale dell'architetto Luigi Moretti (immagini tratte da Tranfo, A., 2017; (a sinistra) Vista dall'alto del Quartiere INCIS-Decima (immagine tratta da Giampaolletti, M., Romano, G., 2022);

7.2. rilievo fotografico del Quartiere INCIS-Decima (immagini tratte da Associazione Decima50, 2017);

Quartiere INCIS-Decima, Roma

DATI GENERALI DEL PROGETTO

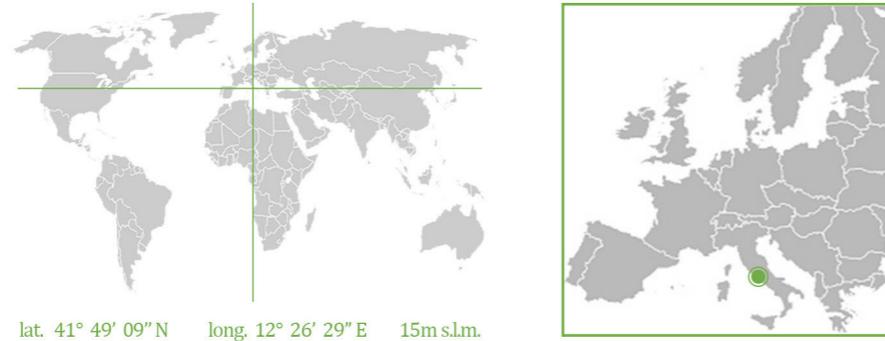
nome del progetto
Quartiere INCIS-Decima, Roma

progettisti
L. Moretti, A. Libera,
V. Cafiero I. Guidi

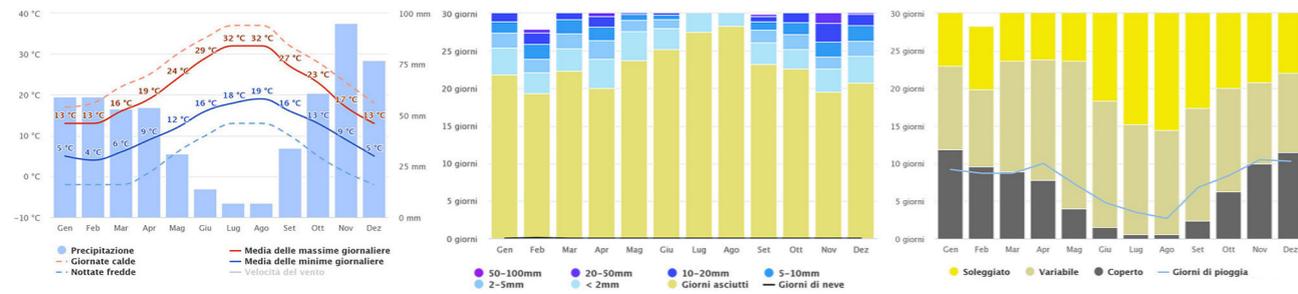
periodo di realizzazione
1957-1965

luogo
Roma, Italia

funzione
quartiere di
edilizia residenziale pubblica



DATI CLIMATICI



IMMAGINI DEL PROGETTO







Una prima analisi demografica e di composizione spaziale e volumetrica del quartiere (tabella 7.10), realizzata a partire dalle informazioni sul censimento della popolazione e delle abitazioni svolte dall'ISTAT e dall'Unità Operativa di Statistica del Comune di Roma (Roma Capitale 2020; Roma Capitale, 2022; ISTAT, 2022e) ha permesso di individuare la netta prevalenza della destinazione d'uso residenziale rispetto alle altre destinazioni d'uso (ad uso ufficio, commerciali, ricettivi, scolastici e ristoranti) che, per altro, non risultano concentrate in singoli edifici ma diffuse spazialmente.

Per costruire il modello di simulazione nel *tool* di calcolo elaborato su Microsoft Excel, si è scelto di ricostruire la composizione spaziale e volumetrica del Quartiere, a partire dalla somma delle superfici destinate alle varie destinazioni d'uso non residenziali, ipotizzando che tali utilizzi siano concentrati in singoli edifici, anziché diffusi, come effettivamente sono nella realtà.

tabella 7.10

Destinazione d'uso edifici	Numero di edifici	Numero di abitanti	Superficie [m ²]	Volume [m ³]
Residenziale	30	3 680	54 528	163 584
Non residenziale				
Uso ufficio	1	653	6 530	19 590
Edifici commerciali	2	1 054	7 376	22 128
Edifici industriali	0	0	0	0
Edifici ricettivi	1	276	6 072	18 216
Edifici scolastici	3	1 368	10 940	32 820
Ristoranti	1	295	1 196	3 588
Totale	38	7 326	86 642	259 926

Dal punto di vista territoriale il quartiere presenta conformazioni localizzate in specifiche aree: le aree interstiziali tra gli edifici progettati da Luigi Moretti chiamate 'le vallette' risultano depresse (il piano di calpestio risulta essere sopraelevato di 50 cm), generando accentuati acclivi.

Tale struttura, composta da un geo-litologia alluvionale, accentua la raccolta e il ristagno delle acque piovane, favorendo quindi un impianto arboreo e vegetale rigoglioso durante tutto l'anno.

Didascalie alle immagini.
tab. 7.10. Ricostruzione della composizione spaziale e volumetrica del Quartiere INCIS-Decima e del numero di abitanti ed utenti finali per destinazione d'uso (rielaborazione dei dati originali del Quartiere (acquisiti da Giampaolletti M., et al., 2019; Roma Capitale, 2019; ISTAT, 2022e) a cura dell'autrice)

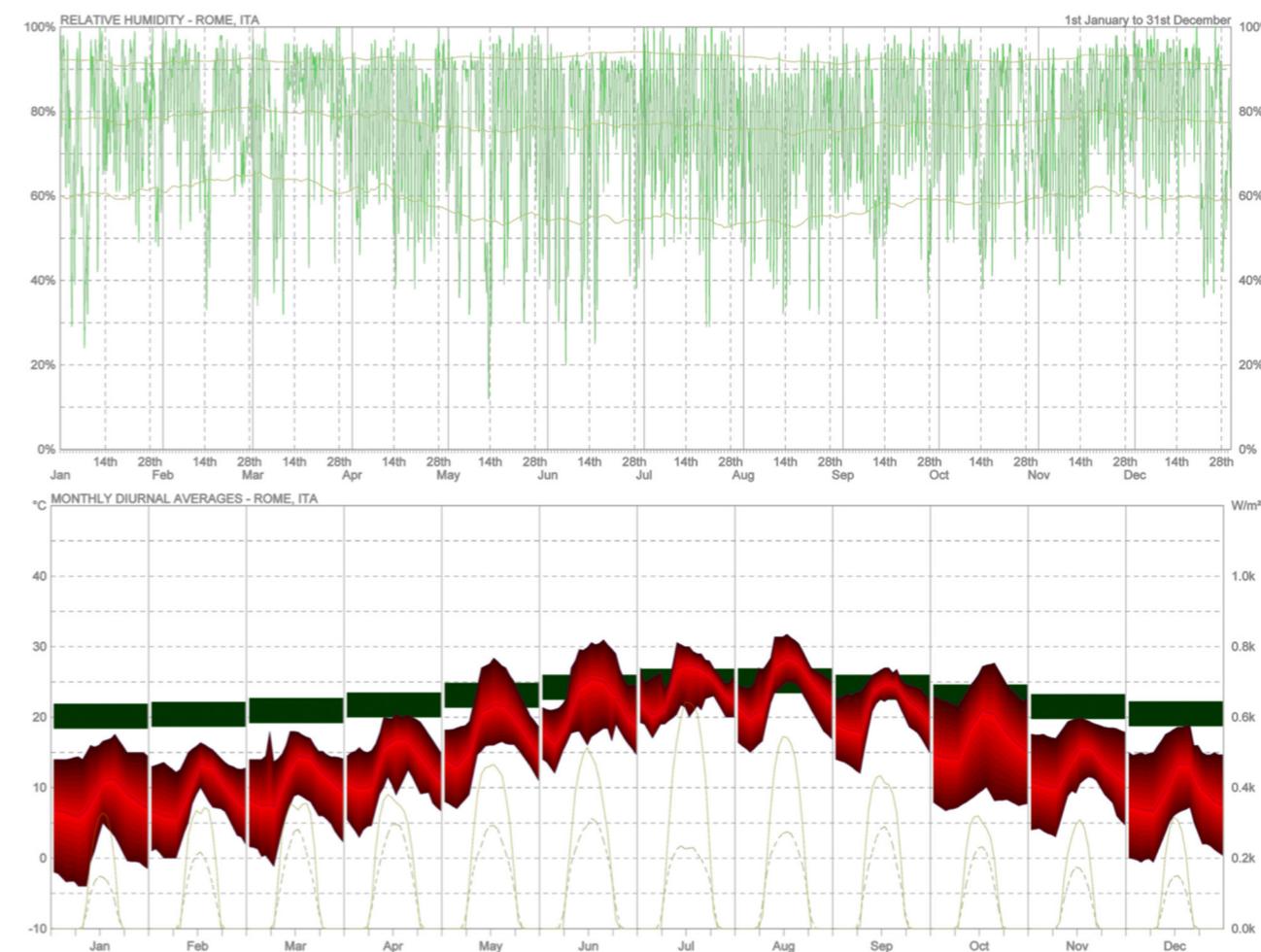
L'analisi vegetazionale dell'area presenta una massa arborea originaria per impianto e disposizione del progettista, costituita principalmente da *Pinus pinea*, *Populus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Cupressus sempervirens* e da specie piantumate dai residenti come *Nerium oleander*, *Magnolia grandiflora* e *Yucca gloriosa* (Giampaolletti, M., Romano, G., 2022).

Mentre l'analisi dei parametri climatici locali, realizzata a partire dalle informazioni reperite dalle stazioni meteorologiche più vicine (Stazioni Meteorologiche di Roma Spinaceto e Roma Centocelle) a confronto con quanto riportato dalla rilevazione dei dati meteorologici ed idrologici dell'ISTAT (ISTAT, 2022b), ha permesso di evidenziare la quantità minima di piovosità nei mesi estivi di luglio e agosto nei quali questo dato raggiunge il picco più basso di 7 mm mensili, a fronte di una temperatura media massima giornaliera di 37° e di una temperatura media minima giornaliera di 13° (7.1) e di quantità massima di piovosità nel mese invernale di novembre con il picco più alto dell'anno, che raggiunge i 95 mm mensili, a fronte di una temperatura media massima giornaliera di 17° e di una temperatura media minima giornaliera di 9° con una media di giorni di pioggia mensili che va dai 2.7 nel mese di agosto a 10.5 nel mese di novembre (7.1).

La stazionarietà di tali dati negli ultimi anni ha trovato un ulteriore riscontro a partire dal confronto con le analisi climatiche di base di temperatura media annuale e umidità relativa restituiti dal software modulare Ecotect (7.3), svolte in sede di Tesi del Master interdisciplinare in *Environmental Technological Design* (Giampaolletti M., et al., 2019).

In particolare, però, va rilevato che in vista della diminuzione prevista nella piovosità estiva tra il 2071 e il 2100 che potrà raggiungere picchi del -40% e dell'assottigliamento delle disponibilità di acqua di falda, secondo l'indice di gravità della siccità di Palmer (EEA, 2021) questo potrebbe comportare una riduzione nel mese di novembre fino ai 57mm e nei mesi estivi di luglio e agosto fino ai 4.2 mm e, sebbene ora siano parametri che rappresentano un rischio medio, sono comunque dati che vanno tenuti presente nella scelta dei criteri di riqualificazione, affinché vengano privilegiate strategie di circolarità della risorsa idrica volte al recupero totale e alla riduzione delle perdite e degli sprechi.

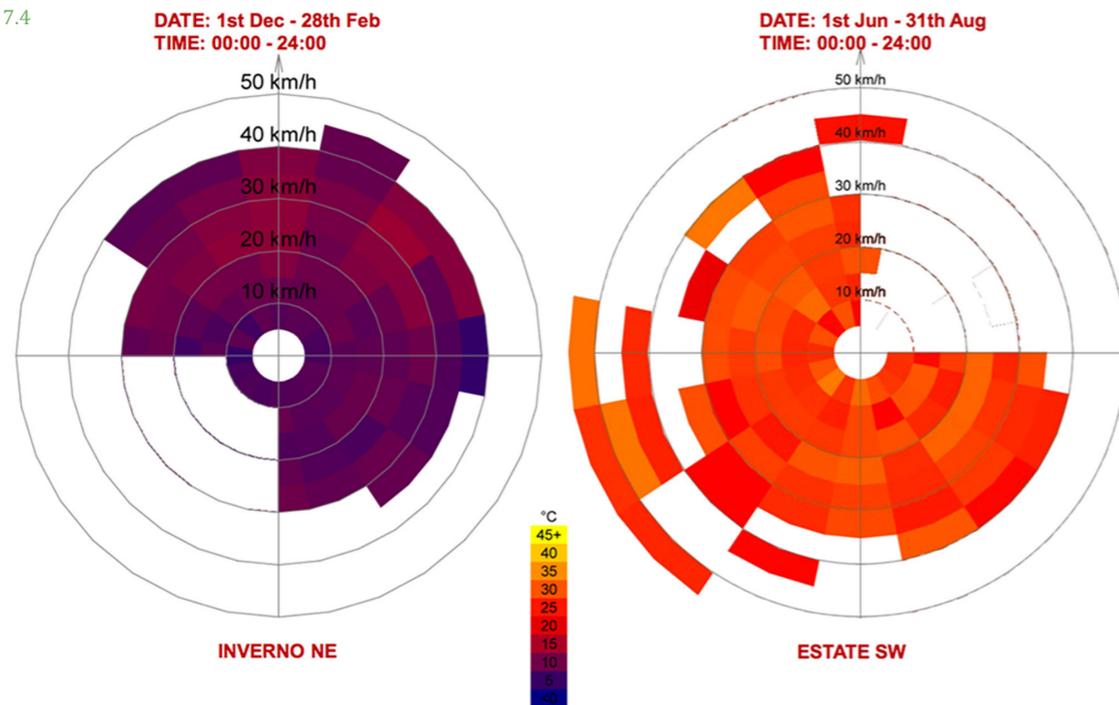
7.3



Ulteriori analisi ambientali hanno riguardato la ventilazione, di nuovo elaborata in Ecotect, e il soleggiamento e dell'ombreggiamento nei solstizi d'inverno e d'estate, elaborati sulla base del modello realizzato su Revit (Giampaolletti M., et al., 2019). L'analisi della ventilazione (7.4 nella pagina seguente) evidenzia il Grecale (nord-est) con medie annue pari a 5km/h e il Libeccio con medie annue tra i 5 e i 12 km/h, come venti prevalenti nel quartiere, anche se entrambi piuttosto deboli.

Didascalie alle immagini.
7.3. Analisi climatica dei dati di umidità relativa e temperatura media annuale (elaborati nel software Ecotect) (immagine tratta da Giampaolletti M., et al., 2019);

7.4



Dal punto di vista del soleggiamento e dell'ombreggiamento (7.5), la distanza degli edifici tra loro rende le coperture, e talvolta anche le facciate, sufficientemente libere da ingombri che ne ostruiscano la captazione solare.

Queste considerazioni a partire dalle analisi ambientali di approfondimento dello stato di fatto del quartiere, sono funzionali ai fini di una valutazione delle opzioni più valide per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in loco.

7.3.1 Analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano allo stato di fatto

Terminato il quadro di analisi preliminari sul Quartiere INCIS-Decima, di natura demografica, territoriale ed ambientale, la fase successiva ha previsto una prima fase di analisi dei consumi idrici, ovvero del fabbisogno idrico del Distretto Urbano, allo stato di fatto.

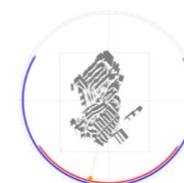
Didascalie alle immagini.

7.4. Analisi della ventilazione prevalente in inverno ed estate (elaborati nel software Revit) (immagine tratta da Giampaolletti M., et al., 2019);

7.5. Analisi del soleggiamento (in alto) e dell'ombreggiamento (in basso) nei giorni e nei mesi del solstizio d'estate e d'inverno (elaborati nel software Ecotect) (immagine tratta da Giampaolletti M., et al., 2019);

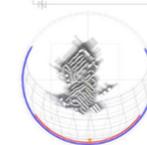
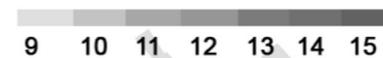
7.5

SOLEGGIAMENTO 21 DICEMBRE



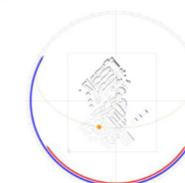
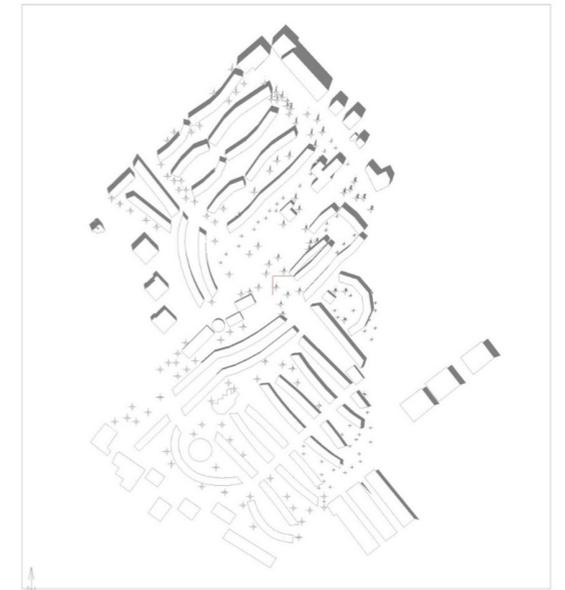
h 13

SHADOW RANGE DICEMBRE



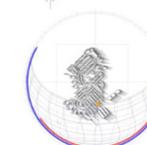
H 9 - 15

SOLEGGIAMENTO 21 GIUGNO



h 13

SHADOW RANGE GIUGNO



H 9 - 18



7.3.1.1 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale

Allo stato di fatto negli edifici a destinazione d'uso residenziale presenti nel Quartiere INCIS-Decima non sono installati dispositivi tecnologici o impiantistici che prevedano una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua, ad eccezione dei dispositivi rompigitto, che si considerano direttamente installati in fase di fabbricazione, nei lavabi destinati agli usi alimentari e al lavaggio della casa e delle persone. Questi dispositivi garantiscono mediamente una riduzione dei consumi degli elementi in cui sono installati, di circa il 50%, considerando dei dispositivi a media efficienza.

Dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.1 con la formula (1.B), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio "Fidrico_d.u. residenziale", emerge una quantità di acqua potabile effettiva per uso indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale ($F_{\text{indoor_eff}}$) pari a 146 463 m³/anno.

7.3.1.2 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso indoor per edifici a destinazione d'uso non residenziale

Per quanto riguarda gli edifici a destinazione d'uso non residenziale, ricostruiti a partire dall'analisi spaziale e volumetrica del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto, viene considerato negli edifici ad uso ufficio e ristorante lo stesso tipo di dispositivo di riduzione dei consumi d'acqua rompigitto già considerato negli edifici a destinazione d'uso residenziale, per la ragione, esposta nel paragrafo precedente, dell'alta probabilità di installazione in fase di fabbricazione e quindi della loro presenza di *default*; negli edifici a destinazione d'uso scolastica, ricettiva e commerciale, si ipotizza anche che allo stato di fatto siano presenti sistemi di riduzione di flusso e controllo di portata e della temperatura dell'acqua, tramite rubinetteria temporizzata ed elettronica con interruzione del flusso d'acqua per lavabi dei bagni e delle docce e a basso consumo d'acqua e l'impiego di apparecchi sanitari con cassette a doppio scarico. Sistemi e dispositivi che, combinati insieme, possono portare fino ad una riduzione del 40% dei consumi idrici considerando dei dispositivi ad efficienza media.

La combinazione di queste soluzioni tecnologiche e impiantistiche nelle varie destinazioni d'uso ha portato, a partire dall'applicazio-

ne del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.2 con la formula (2.B), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio "Fidrico_d.u.(...)" per ciascuna destinazione d'uso non residenziale considerata, alla determinazione di una quantità di acqua potabile effettiva per uso indoor ($F_{\text{indoor_eff}}$) per edifici:

- ad uso ufficio: $F_{\text{indoor_eff}} = 8\,981 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- commerciali: $F_{\text{indoor_eff}} = 15\,750 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ricettivi: $F_{\text{indoor_eff}} = 2\,598 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- scolastici: $F_{\text{indoor_eff}} = 21\,603 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ristoranti: $F_{\text{indoor_eff}} = 2\,900 \text{ m}^3/\text{anno}$;

per un totale di $F_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale pari a 51 832 m³/anno.

7.3.1.3 Calcolo della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale

I dispositivi tecnologici presenti allo stato di fatto sia per gli edifici a destinazione d'uso residenziale che non residenziale contribuiscono alla riduzione dei consumi idrici e di conseguenza ad una riduzione, seppur minima rispetto al consumo globale, della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale.

Tale contributo, calcolato a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.3 con la formula (3.B), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nei fogli di calcolo "Fidrico_d.u. residenziale" e "Fidrico_d.u.(...)" per ciascuna destinazione d'uso considerata, ha portato alla determinazione della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario ($\text{Eff}_{\text{indoor_eff}}$), per edifici:

- residenziali: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 109\,815 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ad uso ufficio: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 6\,694 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- commerciali: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 11\,826 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ricettivi: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 1\,952 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- scolastici: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 15\,798 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ristoranti: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 2\,353 \text{ m}^3/\text{anno}$;

di cui la quantità di $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a 38 623 m³/anno che, sommata alla quantità $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso residenziale, porta ad un totale di 148 438 m³/anno.

7.3.1.4 Calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate

Il Quartiere INCIS-Decima ad oggi non dispone di un sistema di recupero e stoccaggio delle acque meteoriche proveniente dai tetti degli edifici o da qualsiasi altra superficie ai fini del riutilizzo della risorsa per attività che, tipicamente, non richiedano una qualità delle acque che rispetti i criteri di potabilità.

Tuttavia sono state calcolate a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.4 con la formula (b), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nei fogli di calcolo "F.idrico_d.u. residenziale" e "F.idrico_d.u(...)" per ciascuna destinazione d'uso considerata, le superfici di captazione totale (S_c) e le superfici verdi (S_{verde}), utili ai fini del calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi e del volume ottimale per il dimensionamento delle cisterne di raccolta delle acque meteoriche.

Le superfici captanti a livello di quartiere sono pari a 15 800 m², mentre la superficie vegetata è pari a 70 724 m².

A partire dall'analisi delle superfici, il volume ottimale per il dimensionamento complessivo delle cisterne di raccolta è pari a 484 m³ ma, non essendoci nessun impianto destinato alla raccolta e allo stoccaggio di una tale quantità di acqua, le acque meteoriche captate e stoccate allo stato di fatto sono pari a 0 m³/anno.

7.3.1.5 Calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi

Dal punto di vista della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi, calcolate secondo il metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.4 con le formule (c) e (d), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nei fogli di calcolo "F.idrico_d.u. residenziale" e "F.idrico_d.u(...)", a partire dalla somma delle aree verdi pertinenti dei vari edifici e di quartiere, si arriva a definire il fabbisogno idrico per usi non potabili ($F_{non_potabile}$) e per irrigazione (F_{irr}), per ciascuna delle destinazioni d'uso considerate, per edifici:

- residenziali: $F_{non_potabile}+F_{irr} = 182\,785\text{ m}^3/\text{anno}$;
- ad uso ufficio: $F_{non_potabile}+F_{irr} = 10\,063\text{ m}^3/\text{anno}$;
- commerciali: $F_{non_potabile}+F_{irr} = 17\,027\text{ m}^3/\text{anno}$;
- ricettivi: $F_{non_potabile}+F_{irr} = 3\,102\text{ m}^3/\text{anno}$;

- scolastici: $F_{non_potabile}+F_{irr} = 23\,140\text{ m}^3/\text{anno}$;
- ristoranti: $F_{non_potabile}+F_{irr} = 3\,296\text{ m}^3/\text{anno}$;

di cui la quantità di $F_{non_potabile}+F_{irr}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a 56 628 m³/anno che, sommata alla quantità $F_{non_potabile}+F_{irr}$ per edifici a destinazione d'uso residenziale, dà un totale di 239 413 m³/anno.

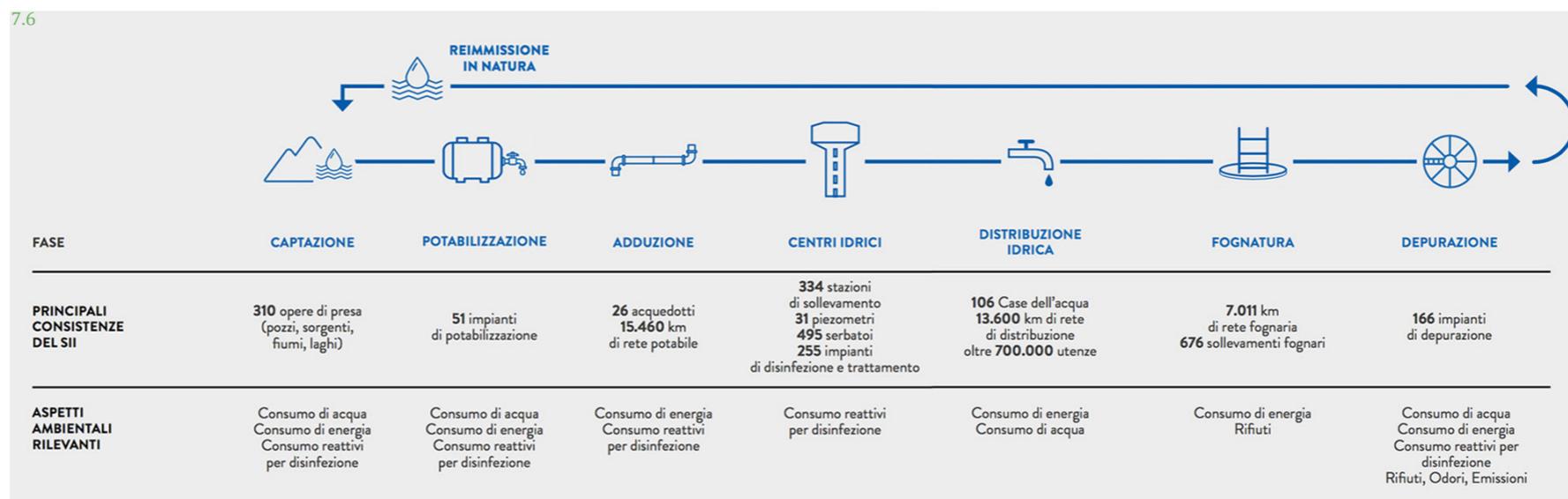
Le specie vegetali del quartiere, corrispondenti a quelle evidenziate dall'analisi vegetazionale effettuata allo stato di fatto, sono considerate come specie che necessitano di un fabbisogno idrico standard, per le quali non sono previsti né fattori di riduzione né di aumento dell'apporto idrico stagionale o annuo; di conseguenza l'apporto di riduzione del volume idrico grazie a piantumazioni diverse dallo standard, calcolato secondo la formula (e) nel paragrafo 7.1.2.4, viene considerato nullo.

7.3.1.6 Calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica

Per il calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica allo stato di fatto nel quartiere, tra i metodi di calcolo esposti nel paragrafo 7.1.2.6, si è fatto riferimento a quello portato avanti a partire dalla formula (6.A.2) che prevede il reperimento dell'indicatore k_3 corrispondente, per definizione, alla percentuale di perdite idriche annue in fase di distribuzione, fornito dal gestore del servizio idrico di pertinenza.

Nel caso specifico, il Quartiere INCIS-Decima dal punto di vista dell'approvvigionamento idrico, fa capo al gestore ACEA ATO 2 Lazio Centrale – Roma, del quale si riporta nella pagina seguente lo schema del servizio idrico integrato (7.6).

Nonostante nel bilancio di sostenibilità dell'Azienda, da cui è tratta la figura soprastante, siano riportati dati riguardo alla lunghezza della rete della distribuzione idrica, mancando i dati più tecnici legati al diametro della condotta e soprattutto, essendo questi dati di carattere generico su tutta la rete di distribuzione idrica e non specifici del distretto idrico di pertinenza del Quartiere INCIS-Decima, si è deciso di fare riferimento al dato percentuale dichiarato dal gestore in merito alla dispersione idrica da rete, pari al 28.6% a Roma nell'anno 2021 (ACEA Acqua, 2022b).



Questo dato risulta decisamente più basso, se confrontato con quello rilevato per lo stesso anno dal censimento delle acque per uso civile dell'ISTAT a livello nazionale (ISTAT, 2022a) o con quello rilevato dall'Unità di Statistica del Comune di Roma (Roma Capitale, 2019), ma viene ritenuto, in ogni caso, più pertinente rispetto ai calcoli affrontati in questa Trattazione, vista la fonte del dato, che risale direttamente a quanto divulgato dal gestore del servizio idrico locale.

Grazie alla definizione del parametro k_3 , attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nei fogli di calcolo "F.idrico_d.u. residenziale" e "F.idrico_d.u.(...)" per ciascuna destinazione d'uso considerata, è stato possibile risalire alla quantità di acqua dispersa da rete idrica (I_3) a partire dai consumi idrici globali del distretto, per edifici:

- residenziali: $I_3 = 131\,408 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ad uso ufficio: $I_3 = 7\,437 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- commerciali: $I_3 = 12\,779 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ricettivi: $I_3 = 2\,247 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- scolastici: $I_3 = 17\,400 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ristoranti: $I_3 = 3\,296 \text{ m}^3/\text{anno}$;

di cui la quantità di I_3 per edifici a destinazione d'uso non residen-

ziale è pari a $25\,759 \text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità I_3 per edifici residenziali, determina un totale di $157\,167 \text{ m}^3/\text{anno}$.

7.3.1.7 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano

L'ultimo calcolo, effettuato a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.7 con la relativa formula, attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "F.idrico_distretto urbano" considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso analizzate, ha permesso di determinare il fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano (F_{idr_gl}), per edifici:

- o residenziali: $F_{idr_gl} = 459\,469 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- o ad uso ufficio: $F_{idr_gl} = 26\,003 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- o commerciali: $F_{idr_gl} = 44\,680 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- o ricettivi: $F_{idr_gl} = 7\,857 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- o scolastici: $F_{idr_gl} = 60\,840 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- o ristoranti: $F_{idr_gl} = 8\,558 \text{ m}^3/\text{anno}$;

di cui la quantità di F_{idr_gl} per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $147\,938 \text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità F_{idr_gl} per edifici a destinazione d'uso residenziale, porta ad un totale di

Didascalie alle immagini.

7.6. Schema del Servizio Idrico Integrato di Acea ATO 2 che identifica le consistenze del Servizio Idrico Integrato, nella sua globalità al 31.12.2021 (immagine tratta da ACEA Acqua, 2022b);

607 407 m³/anno.

Inoltre la ripartizione del dato del fabbisogno idrico globale del quartiere, in rapporto al numero di abitanti e di utenti finali ha portato alla determinazione di un consumo pro capite al giorno pari a 227 l/gg/ab, dato assolutamente in linea rispetto a quelli rilevati dalle statistiche di Roma Capitale, dal Water Regulator europeo e dall'ISTAT (Roma Capitale, 2019; WAREG, 2021; ISTAT, 2022c; ISTAT 2022d) che, per altro, conferma la posizione dell'Italia tra uno dei Paesi più idrovori d'Europa tra quelli che subiscono un impatto di medio rischio da parte dei cambiamenti climatici.

Andando, dunque, a sintetizzare quanto ottenuto dal calcolo delle varie componenti del fabbisogno idrico del Distretto Urbano, per ciascuna destinazione d'uso, la situazione allo stato di fatto del Quartiere INCIS-Decima corrisponde a quanto riportato in [tabella 7.11](#) di seguito.

tabella 7.11

Consumi idrici	n. edif.	n. utenti	S _{utile} [m ²]	Volume [m ³]	F _{indoor_eff} [m ³ /anno]	Eff _{indoor_effl} [m ³ /anno]	F _{non potabile+F_{irr}} [m ³ /anno]	F _{idr_gl} [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	30	3 680	54 528	163 584	146 463	109 815	182 785	459 469	131 408
uffici	1	653	6 530	19 590	8 981	6 694	10 063	26 003	7 437
commerciale	2	1 054	7 376	22 128	15 750	11 826	17 027	44 680	12 779
ricettivi	1	276	6 072	18 216	2 598	1 952	3 102	7 857	2 247
scolastici	3	1 368	10 940	32 820	21 603	15 798	23 140	60 840	17 400
ristorante	1	295	1 196	3 588	2 900	2 353	3 296	8 558	2 448
Totale	38	7 326	86 642	259 926	198 295	148 438	239 413	607 407	157 167

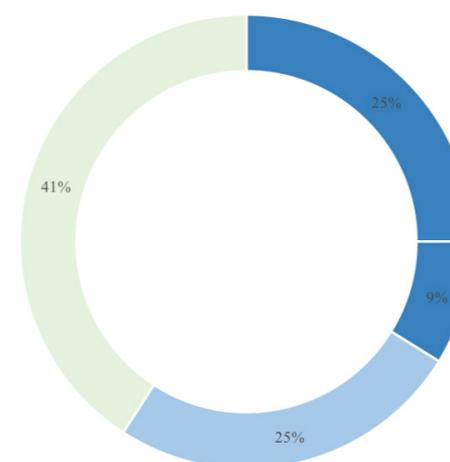
Tali consumi idrici sono ripartiti secondo una percentuale del 25% per il fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale (porzione blu più ampia), una percentuale del 9% per il fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale (porzione blu più piccola), una percentuale del 25% costituita dalla quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario a livello distrettuale (porzione

Didascalie alle immagini.
tab. 7.11. Tabella dei consumi idrici [m³/anno] del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto

azzurra) e una percentuale del 41% di acqua per usi non potabili e per irrigazione (porzione verde) (7.7).

7.7

Fabbisogno idrico effettivo



■ F_{indoor_eff,residenziale} [m³/anno] ■ F_{indoor_eff,non residenziale} [m³/anno]
■ Eff_{indoor_eff} [m³/anno] ■ F_{non potabile+F_{irr}} [m³/anno]

7.3.1.8 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

La fase successiva rispetto al calcolo dei consumi idrici ha riguardato i consumi energetici del Quartiere INCIS-Decima, dei quali, ai fini della presente Ricerca, sono stati presi in considerazione solo quelli necessari al soddisfacimento del fabbisogno idrico.

I consumi energetici legati allo stato di fatto sono stati calcolati a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.8 con le formule (8) e (9), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "F.energetico_distretto urbano", considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso analizzate. Questo calcolo prevede la determinazione dell'Indice di Conversione nazionale (IdC = k₄) considerando la collocazione del quartiere sul territorio italiano: per l'Italia il rapporto tra i consumi di energia elettrica annuali e quelli idrici è pari a 0.288 kWh/m³, calcolato

Didascalie alle immagini.
7.7. Grafico che ripartisce il fabbisogno idrico effettivo globale del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto in funzione delle percentuali di ciascuna delle componenti di acqua utilizzata

mediante rapporto tra i dati ISPRA sul sistema energetico nazionale (ISPRA, 2022) e i dati ISTAT (ISTAT, 2022,c; ISTAT 2022d), ha permesso di determinare la quantità di energia elettrica necessaria a coprire il fabbisogno idrico del Distretto Urbano (Q_{en,el_idr}), pari a 42 606 kWh/anno per edifici a destinazione d'uso non residenziale e a 132 327 kWh/anno per edifici a destinazione d'uso residenziale. Quote che, sommate tra loro, portano ad un totale di energia elettrica necessaria a coprire il fabbisogno idrico del quartiere di 174 933 kWh/anno, pari a 26.5 kWh/anno per abitante.

Il dato rilevato dei consumi di energia elettrica, in funzione del numero di abitanti e utenti finali, ha permesso il confronto di questa quota di consumi con quelli dei *benchmark* elaborati nei *report* di ricerca del sistema elettrico dell'ENEA per ciascuna destinazione d'uso (Corgnati, S.P., et al., 2010; De Pasquale, A., 2019; Mancini, F., et al., in press): da tale rapporto è emersa una percentuale mediamente corrispondente al 3.7% dei consumi di energia elettrica globali del Distretto Urbano.

7.3.2 Analisi delle emissioni di CO₂ legate alle risorse idriche nel Distretto Urbano allo stato di fatto

Dopo aver terminato le analisi sui consumi idrici ed energetici, sono state analizzate le emissioni di CO₂ in atmosfera di cui il Quartiere INCIS-Decima è, ad oggi, responsabile dal punto di vista del settore idrico.

7.3.2.1 Calcolo della quantità di CO₂ emessa nel segmento acquedotto del ciclo integrato dell'acqua durante la fase di distribuzione a livello distrettuale

Per poter procedere al calcolo delle emissioni di CO₂ in atmosfera è stato necessario indagare su quale fosse l'Indice Quantitativo k_6 che determina la quantità unitaria di CO₂ rilasciata in atmosfera relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto.

Tale dato dovrebbe essere reperibile dal gestore del servizio idrico di pertinenza e quindi, nel caso specifico, dovrebbe essere fornito dal gestore ACEA ATO 2 Lazio Centrale – Roma.

Tuttavia nel bilancio di sostenibilità i dati relativi alle emissioni di CO₂, che sono stati calcolati in ottemperanza della norma ISO 14064, non sono segmentati nei vari tratti del servizio idrico, riportando

solo dati a livello totalitario, divisi per emissioni dirette e indirette ma concernenti tutti i segmenti insieme (ACEA Acqua, 2022b). Per questa ragione per la definizione dell'Indice Quantitativo k_6 si è fatto riferimento ad un altro gestore del servizio idrico sempre del centro Italia che, avendo aderito al Programma per la Valutazione dell'Impronta Ambientale lanciato dal MATTM (MATTM, 2011), ha divulgato dati puntuali e dettagliati in merito all'impronta di carbonio del proprio servizio idrico integrato (Acque SpA e MATTM, 2019a), quantificati facendo riferimento ai metodi di calcolo definiti dall'IPCC e dalle norme ISO 14064 e 14067 (Acque SpA e MATTM, 2019b).

L'Indice Quantitativo unitario k_6 determinato a partire dalla quantificazione delle emissioni di CO₂ annue rilasciate in atmosfera relative alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto è pari a 1.859 kgCO₂eq*m³/anno.

Una volta determinato il parametro quantitativo k_6 a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.3.1 con la formula (14), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "Emissioni_distretto urbano" considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso, ha permesso di determinare la quantità di emissioni di CO₂ relativa al fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano annuo (CO_{2,idr,gl}), per edifici:

- residenziali: CO_{2,idr,gl} = 816.2 tCO₂eq*m³/anno;
- ad uso ufficio: CO_{2,idr,gl} = 47.8 tCO₂eq*m³/anno;
- commerciali: CO_{2,idr,gl} = 83.0 tCO₂eq*m³/anno;
- ricettivi: CO_{2,idr,gl} = 14.2 tCO₂eq*m³/anno;
- scolastici: CO_{2,idr,gl} = 112.6 tCO₂eq*m³/anno;
- ristoranti: CO_{2,idr,gl} = 15.9 tCO₂eq*m³/anno;

di cui la quantità di CO_{2,idr,gl} per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a 273.5 tCO₂eq*m³/anno che, sommata alla quantità CO_{2,idr,gl} per edifici a destinazione d'uso residenziale, dà un totale di 1 089.7 tCO₂eq*m³/anno.

Inoltre la ripartizione del dato delle emissioni di CO₂ del quartiere, in rapporto al numero di abitanti e di utenti finali ha portato alla determinazione di un quantitativo di emissioni di CO₂ pro capite pari a 54.1 kgCO₂eq*m³ di acqua.

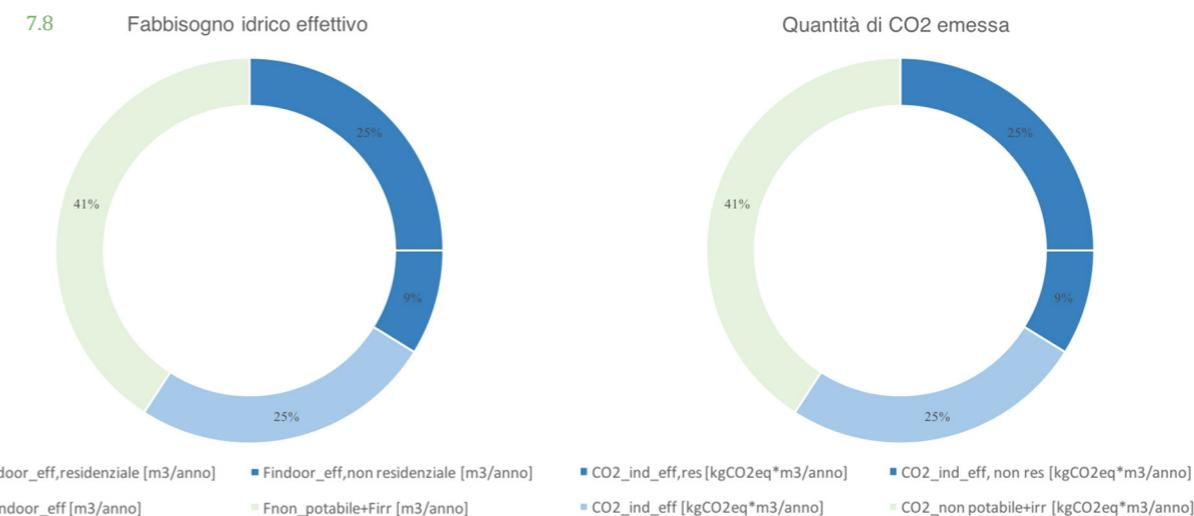
Oltre al calcolo delle emissioni di CO₂ a livello globale sono state considerate anche tutte le porzioni di emissioni legate alle varie quote di quantità di acqua potabile precedentemente considerate, che, proprio a partire dai consumi idrici, possono essere sintetizzate secondo quanto riportato nella [tabella 7.12](#) di seguito.
La ripartizione percentuale delle emissioni di CO₂ correlate ai consumi idrici del quartiere, segue quella dei consumi idrici, secondo

tabella 7.12

Consumi idrici	n. edif.	n. utenti	S _{utile} [m ²]	Volume [m ³]	F _{indoor_eff} [m ³ /anno]	Eff _{indoor_effl} [m ³ /anno]	F _{non potabile+F_{irr}} [m ³ /anno]	F _{idr_gl} [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	30	3 680	54 528	163 584	146 463	109 815	182 785	459 469	131 408
uffici	1	653	6 530	19 590	8 981	6 694	10 063	26 003	7 437
commerciale	2	1 054	7 376	22 128	15 750	11 826	17 027	44 680	12 779
ricettivi	1	276	6 072	18 216	2 598	1 952	3 102	7 857	2 247
scolastici	3	1 368	10 940	32 820	21 603	15 798	23 140	60 840	17 400
ristorante	1	295	1 196	3 588	2 900	2 353	3 296	8 558	2 448
Totale	38	7 326	86 642	259 926	198 295	148 438	239 413	607 407	157 167

Emissioni di CO ₂ correlate	CO ₂ _ind_eff [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO ₂ _ind_effl [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO ₂ _non potabile+irr [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO ₂ _idr_gl [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO ₂ _perdite [tCO ₂ eq*m ³ /anno]
residenziale	272.3	204.1	339.8	816.2	244.3
uffici	16.7	12.4	18.7	47.8	13.8
commerciale	29.3	22	31.7	83	23.8
ricettivi	4.8	3.6	5.8	14.2	4.2
scolastici	40.2	29.4	43	112.6	32.3
ristorante	5.4	4.4	6.1	15.9	4.6
Totale	368.7	275.9	445.1	1 089.7	323

una percentuale del 25% per le emissioni di CO₂ legate al fabbisogno idrico potabile per usi indoor per edifici a destinazione d'uso residenziale (porzione blu più ampia), una percentuale del 9% per le emissioni di CO₂ legate al fabbisogno idrico potabile legato ad usi indoor per edifici a destinazione d'uso non residenziale (porzione blu più piccola), una percentuale del 25% le emissioni di CO₂ legate alla quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario a livello distrettuale (porzione azzurra) ed una percentuale del 41% di emissioni di CO₂ legate dall'acqua per usi non potabili e per irrigazione (porzione verde) (7.8).



7.3.2.2 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

Ulteriore parametro preso in considerazione è stato quello delle emissioni di CO₂ stavolta calcolate solo in funzione della produzione di energia elettrica, per quantificare il legame che unisce i consumi idrici a quelli elettrici all'interno del Distretto Urbano.

Per la determinazione di tale quantità è stato necessario risalire ad un settimo indicatore quantitativo variabile che definisse la quantità di CO₂ unitaria rilasciata in atmosfera durante la produzione di

Didascalie alle immagini.
tab. 7.12. Tabella dei consumi idrici [m³/anno] e delle emissioni di CO₂eq [tCO₂eq*m³/anno] correlate del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto;
7.8. Grafico che, a partire dalla ripartizione del fabbisogno idrico effettivo globale (a sinistra), ripartisce le emissioni di CO₂ (a destra), del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto, in funzione delle percentuali di ciascuna delle componenti di acqua utilizzata

energia elettrica relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto del servizio idrico integrato.

Anche in questo caso, mancando l'informazione dettagliata all'interno del bilancio di sostenibilità di ACEA ATO 2 Lazio Centrale – Roma, si è fatto riferimento ai dati reperiti in merito all'impronta di carbonio del servizio idrico integrato dal gestore toscano, già presentato nel paragrafo precedente (Acque SpA e MATTM, 2019a).

L'Indice Quantitativo k_7 determinato a partire dalla quantificazione delle emissioni di CO_2 annue rilasciate in atmosfera in funzione della produzione di energia elettrica relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto è pari a 0.524 $kgCO_2eq/kWh$.

Una volta determinato il parametro quantitativo k_7 a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.3.2 con la formula (15), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "Emissioni_distretto urbano" considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso, è stato possibile determinare la quantità di emissioni di CO_2 relativa alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano annuo ($CO_{2, en, el, idr}$) pari un totale di 916.7 $tCO_2eq \cdot m^3/anno$, corrispondente all'84.1% delle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico urbano globale.

7.3.3 Discussione dei risultati ottenuti dall'analisi dello stato di fatto e considerazioni sullo stato di fatto del Distretto Urbano a livello di risorse idriche

I risultati ottenuti dall'analisi dello stato di fatto a partire dal calcolo dei 10 indicatori considerati di consumi idrici, energetici e di rilascio di emissioni di CO_2 in atmosfera, restituiscono un quadro che inserisce il Quartiere INCIS-Decima nella media attuale dei Quartieri romani.

In particolare l'indicatore da cui questo dato viene evidenziato maggiormente è la comparazione dei consumi idrici globali per abitante rispetto alle analisi statistiche condotte dall'ISTAT a livello nazionale, regionale e provinciale, che denuncia un consumo di 227 litri pro capite al giorno, consumo particolarmente elevato rispetto alla media della maggior parte dei Paesi europei.

Altresì un aspetto particolarmente positivo che si evince dalla lettura dello stato di fatto è la percentuale di dispersione idrica da rete dichiarata dal bilancio di sostenibilità del gestore del servizio

idrico locale: una dispersione del 28.6% attesta la dispersione del distretto (inteso come distretto idrico), quasi alla metà della dispersione da rete idrica in fase di distribuzione dichiarata dalle statistiche ISTAT a livello regionale per la Regione Lazio. Questo aspetto va sottolineato perché estremamente rilevante alla luce degli sforzi che andranno compiuti, da parte dei gestori dei servizi idrici integrati, nell'ottica di una riduzione delle perdite, degli sprechi e delle emissioni di CO_2 correlate, che possono essere evitate migliorando la gestione.

Un altro aspetto che, invece, in questa analisi quantitativa degli indicatori non emerge, è quello legato al *responsible behaviour* dei cittadini.

Aspetto che, in un'ottica futura di implementazione del presente metodo e *tool* di calcolo sperimentale, potrà trovare un proprio spazio sottoponendo ai residenti e agli utenti finali dei questionari volti ad indagare le abitudini riguardo alla tutela e alla salvaguardia della risorsa idrica da parte dei singoli individui, i consumi effettivi in bolletta, oltre che le soluzioni tecnologiche volte al risparmio idrico effettivamente installate nei singoli edifici da ciascun utente.

Il quadro delle emissioni di CO_2 che emerge alla luce delle analisi degli indicatori di consumo ricalca e sottolinea il forte legame dei consumi idrici con i consumi elettrici, dato assolutamente prevedibile a partire da quanto emerso dallo studio dello stato dell'arte, con particolare riferimento al *water-energy nexus*, presentato nel Capitolo 3.

Inoltre dai risultati ottenuti dall'analisi dello stato di fatto si evince che la fase d'uso e distribuzione idrica del segmento acquedotto ricopre un ruolo tutt'altro che marginale, sebbene sia impossibile quantificarlo con esattezza, nella ripartizione delle emissioni di gas serra globali da parte del servizio idrico integrato e che, per questo, vista la sua incidenza, meriti un'attenzione maggiore parallelamente da parte dei tecnici del settore delle costruzioni e del settore idrico.

7.4 Definizione dei 3 scenari di riqualificazione

Al termine dell'analisi dello stato di fatto dei consumi idrici, energetici e delle emissioni di CO₂ in atmosfera di cui è responsabile il Quartiere INCIS-Decima, sono stati delineati 3 scenari di riqualificazione: *Light Energy-Zero Emission Renovation* (articolato in interventi possibili per gli utenti finali, e in interventi necessari da parte dei gestori del servizio idrico); *Medium Energy-Zero Emission Renovation*; *Deep Energy-Zero Emission Renovation*.

Gli scenari si differenziano nella definizione delle strategie e nella simulazione degli effetti delle soluzioni corrispondenti al livello *Light*, *Medium* e *Deep*, mirate alla riduzione del fabbisogno idrico, energetico e delle emissioni di CO₂.

7.4.1 Scenario 1: *Light Energy-Zero Emission Renovation*

Il primo scenario di *Light Energy-Zero Emission Renovation* è articolato, a sua volta, su due livelli di interventi possibili per gli utenti finali o necessari da parte dei gestori del servizio idrico, che vengono rispettivamente articolati in Scenario 1A e Scenario 1B, nel corso della definizione delle strategie, delle soluzioni progettuali e nella fase applicativa di sperimentazione, per poi essere combinati insieme nella fase di restituzione dei dati ottenuti dagli interventi proposti.

7.4.1.1 Definizione delle strategie di intervento e determinazione delle soluzioni progettuali alla scala dell'edificio e del Distretto Urbano

Le strategie di intervento definite per lo Scenario 1A di *Light Energy-Zero Emission Renovation* si articolano nelle soluzioni progettuali possibili da parte degli utenti finali alla scala dell'edificio e sono quelle che comportano un impatto minore, sia dal punto di vista dei lavori di riqualificazione, che in questo caso comportano interventi di carattere non strutturale, che economico.

La macro-strategia di riferimento riguarda gli ambiti della gestione sostenibile e del *responsible behaviour* degli utenti finali e gli interventi tecnologici ed impiantistici che prevedano una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua, che siano misurabili, e che siano attuabili sugli edifici da parte degli utenti finali.

Tali interventi sono riassumibili in:

- Inserimento di dispositivi frangigetto, laddove non presenti allo stato di fatto;
- inserimento di soffioni a basso consumo per la doccia;
- inserimento di rubinetti con temporizzatore, laddove non presenti allo stato di fatto, per le destinazioni d'uso non residenziali;
- installazione di Casette WC a Doppio Pulsante che permettano due volumi di scarico, tra i 3 e 6 litri, come previsto dai parametri di risparmio delle risorse idriche nei Criteri Ambientali Minimi;
- sostituzione degli elettrodomestici esistenti con elettrodomestici a basso consumo (Classe A) e provvisti di modalità "eco";
- inserimento di dispositivi smart volti al monitoraggio dei consumi, sistemi *wireless* in grado di tenere sotto controllo il consumo giornaliero dell'edificio o della singola unità abitativa e che parallelamente forniscano agli utenti informazioni utili sui propri consumi tramite app e su eventuali rilevamenti delle perdite;
- installazione di un impianto esterno di micro-irrigazione a goccia, comandato da una centralina, che irriga le piante e le aree verdi pertinenti in modo selettivo tramite un sistema di gocciolatori.

Le strategie di intervento definite per lo Scenario 1B di *Light Energy-Zero Emission Renovation* si articolano nelle soluzioni progettuali necessarie da parte dei gestori del servizio idrico di pertinenza e, sebbene comportino un impatto sicuramente maggiore rispetto a quello delle soluzioni proposte nello Scenario 1A, sono comunque riconducibili a strategie di intervento che producono un impatto ambientale minimo sul territorio.

Le macro-strategie di riferimento in questo caso sono sia di miglioramento della circolarità delle risorse idriche attraverso una gestione sostenibile da parte dei gestori del servizio idrico che di massimizzazione dell'efficienza energetica dei sistemi attivi a servizio del ciclo idrico integrato del Distretto Urbano con conseguente riduzione delle emissioni di CO₂ legate al ciclo idrico integrato con soluzioni tecnologiche e impiantistiche alla scala del Distretto Urbano. Gli interventi tecnologici ed impiantistici che prevedono una ridu-

zione del flusso e un controllo della portata dell'acqua, necessari da parte dei gestori del servizio idrico sono riassumibili in:

- ottimizzazione della performance della rete idrica tramite *Water Management System*, ovvero trasformazione e digitalizzazione delle infrastrutture e della gestione della rete, con l'obiettivo di un uso sinergico di tecnologie dell'ITC per una gestione avanzata delle reti idriche;
- implementazione dei sistemi di telecontrollo e intervento da remoto tramite l'installazione di misuratori di pressione e portata per il monitoraggio dei distretti idrici;
- installazione di strumenti in grado di ottimizzare le pressioni di esercizio nella rete di distribuzione, gestendone il controllo in modo dinamico ed efficace (valvole idrauliche, riduttori di pressioni, ecc.);
- inserimento di sistemi di rilevamento delle perdite grazie a dispositivi elettronici utili per rilevare problematiche e consumi dell'impianto idrico ai fini del contenimento delle perdite fisiche.

La sistematizzazione degli scenari 1A e 1B costituisce lo scenario 1 complessivo di *Light Energy-Zero Emission Renovation*.

7.4.2 Scenario 2: *Medium Energy-Zero Emission Renovation*

Il secondo scenario di *Medium Energy-Zero Emission Renovation* va ad aggiungere alle strategie e alle soluzioni di intervento delineate nello Scenario 1 gli interventi di riqualificazione più prettamente volti al miglioramento dei processi di circolarità delle risorse idriche.

7.4.2.1 Definizione delle strategie di intervento e determinazione delle soluzioni progettuali alla scala dell'edificio e del Distretto Urbano

Le strategie di intervento definite per lo Scenario 2 si articolano in soluzioni progettuali, talvolta anche con un coinvolgimento delle parti strutturali, possibili da parte degli utenti finali e possono essere realizzate sia alla scala dell'edificio che del Distretto Urbano.

Gli interventi tecnologici ed impiantistici attuabili sugli edifici sono riassumibili in:

- riqualificazione delle coperture degli edifici tramite realizzazione di *brown roof* (costituiti da mattoni riciclati locali, cemento, cortecchia di compostaggio, vegetazione e terreno medio argilloso, garantiscono gli stessi benefici di un qualsiasi altro tetto verde), tetti verdi intensivi o estensivi (in funzione delle caratteristiche strutturali dei singoli edifici), giardini pensili o pavimentazioni permeabili;
- installazione di un impianto di recupero, raccolta e stoccaggio delle acque meteoriche provenienti dalle coperture degli edifici;
- installazione di un impianto ad ultrafiltrazione per il recupero e riutilizzo delle acque grigie che garantisca la raccolta e il trattamento per il successivo impiego per usi "secondari" delle acque;
- aumento dell'elettificazione degli impianti di circolarità della risorsa idrica per via dell'inserimento di sistemi di filtrazione dell'acqua, pompaggio e reimmissione in rete che richiedono un maggiore apporto energetico.

Mentre gli interventi tecnologici ed impiantistici attuabili sugli spazi esterni del Distretto Urbano sono riconducibili a:

- incremento delle superfici permeabili nelle aree limitrofe e pertinenziali e riqualificazione dei parcheggi tramite elementi prefabbricati di forma alveolare, in materiale lapideo, posizionati in modo da lasciare degli spazi interstiziali vuoti, colmati con sabbie o ghiaie o inerbiti, utili per l'infiltrazione dell'acqua nel terreno sottostante;
- riqualificazione dei percorsi pedonali e carrabili esistenti tramite calcestruzzo drenante, che, abbinato ad un sottofondo impermeabile, favorisce un immediato drenaggio, con la possibilità di far confluire le acque verso punti di raccolta e depurazione naturale;
- realizzazione di sistemi di drenaggio urbano sostenibile quali:
 - _bioswales, fossati lineari aperti, poco profondi, mezzo di filtrazione e rimozione degli inquinanti mediante la captazione del flusso di acqua piovana;
 - _raingardens: aree finalizzate alla raccolta e al trattamento delle acque meteoriche drenate dalle superfici impermeabili circostanti mediante filtrazione e rimozione degli agenti inquinanti; questi sistemi permettono quindi un filtraggio e una depurazione del tutto naturale dell'acqua raccolta;
 - _vasche di accumulo: bacini in cui vengono convogliate le acque di pioggia;
 - _impianti di fitodepurazione vengono progettati principalmente per il trattamento delle acque di prima pioggia di reti separate o acque a sfioro di reti miste (reflue e meteoriche).

Grazie alla combinazione degli interventi possibili alla scala dell'edificio e del Distretto Urbano nello Scenario 1 e nello Scenario 2 si arriva alla definizione di un processo di circolarità della risorsa idrica quasi completo (che comprende la re-immissione in circolo e il riuso sia della componente delle acque meteoriche che di quelle grigie), oltre che alla riduzione dei consumi idrici e al contenimento delle perdite da rete nonché all'aumento proporzionale dei livelli di elettrificazione dei dispositivi attivi volti alla circolarità della risorsa idrica e del monitoraggio *smart* dei consumi e delle perdite idriche.

Tali soluzioni portano indirettamente anche ad una riduzione delle emissioni di CO₂ grazie all'ottimizzazione dei processi e dei trattamenti volti a migliorare la circolarità e i parametri di esercizio, ma non intervengono sulle fonti di produzione energetica necessaria a garantirne il funzionamento.

7.4.3 Scenario 3: Deep Energy-Zero Emission Renovation

L'ultimo scenario, lo Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, è quello che sistematizza i due scenari precedenti e che racchiude in sé le strategie e le soluzioni tecnologiche ed impiantistiche volte al miglioramento del processo di circolarità della risorsa idrica, alla massimizzazione dell'efficienza energetica dei sistemi attivi a servizio del ciclo idrico integrato del Distretto Urbano e riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera da parte del Distretto Urbano.

7.4.3.1 Definizione delle strategie di intervento e determinazione delle soluzioni progettuali alla scala dell'edificio e del Distretto Urbano

Le strategie di intervento definite per lo Scenario 3 si articolano in soluzioni progettuali possibili da parte degli utenti finali e possono essere realizzate sia alla scala dell'edificio che del Distretto Urbano.

L'intervento impiantistico attuabile ai fini della riduzione, fino all'azzeramento, delle emissioni di CO₂ in fase d'uso e distribuzione, è riconducibile all'installazione di impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili da produrre e consumare in loco.

Questo tipo di intervento può variare sostanzialmente in funzione sia della criticità della Zona in cui è collocato il Distretto Urbano, dal punto di vista dell'impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche che delle analisi ambientali di ombreggiamento, soleg-

giamento e ventilazione svolte, ai fini della valutazione della fonte energetica rinnovabile più efficiente.

Nel caso specifico del Quartiere INCIS-Decima, alla luce delle analisi svolte e dei parametri ambientali considerati, oltre che dello studio della reportistica nazionale e internazionale sullo stato delle fonti energetiche rinnovabili in Italia (MITE, 2022b; REN21, 2022), l'energia solare fotovoltaica si conferma sicuramente la scelta più valida, dal punto di vista dell'efficienza del sistema considerato e dal punto di vista della praticità e dell'economicità dei costi di installazione.

La realizzazione di un impianto solare fotovoltaico, integrato negli edifici esistenti e, solo dove necessario, collocato sulle coperture, comporta la produzione di energia elettrica necessaria alla copertura del fabbisogno idrico del Distretto Urbano e la riduzione delle emissioni di CO₂ ad esso correlate; riduzione che può arrivare all'azzeramento, prendendo in considerazione le emissioni in fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto del servizio idrico integrato.

7.5 Applicazione del metodo allo Scenario 1: *Light Energy-Zero Emission Renovation* nel Quartiere INCIS-Decima

La definizione dello Scenario 1 *Light Energy-Zero Emission Renovation*, interviene con lo Scenario 1A, rispetto allo stato di fatto, su quasi tutti gli indicatori descritti nel paragrafo 7.1.2, ad eccezione dell'indicatore (6) di dispersione dalla rete idrica che invece viene modificato dagli interventi previsti nello Scenario 1B.

7.5.1 Analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Light Energy-Zero Emission Renovation*

La prima fase di analisi ha riguardato i consumi idrici e dunque il fabbisogno idrico del Quartiere INCIS-Decima, alla luce degli interventi previsti nello Scenario 1A, e della quantità di acqua dispersa da rete di distribuzione idrica, alla luce degli interventi previsti nello Scenario 1B, di *Light Energy-Zero Emission Renovation*.

7.5.1.1 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale

Negli edifici a destinazione d'uso residenziale nel Quartiere INCIS-Decima sono previsti interventi di installazione di dispositivi tecnologici e impiantistici che comportino una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua, in aggiunta a quelli che si ipotizza possano essere stati installati in fase di fabbricazione.

In particolare si prevede l'integrazione dei dispositivi frangigetto laddove non presenti allo stato di fatto, nei lavabi ad uso alimentare, per il lavaggio della casa e delle persone; l'inserimento di soffioni a basso consumo per la doccia; l'installazione di cassette WC a doppio pulsante che prevedano volumi di scarico tra i 3 e i 6 litri; la sostituzione degli elettrodomestici a basso consumo con elettrodomestici Classe A, per il lavaggio della biancheria e delle stoviglie; l'inserimento di impianti di micro-irrigazione a goccia centralizzati, per l'irrigazione delle piante sui balconi e nelle aree verdi pertinenziali

degli appartamenti, tramite gocciolatori.

La somma degli interventi di riduzione parziale dei consumi grazie ai dispositivi installati per i vari usi, permette una riduzione del 25% del fabbisogno idrico *indoor*, che si traduce in una quantità di acqua potabile effettiva per usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale ($F_{\text{indoor_eff}}$), calcolata grazie all'applicazione del metodo esposto nel paragrafo 7.1.2.1 con la formula (1.B), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio "F.idrico_d.u. residenziale", pari a 116 683 m³/anno.

7.5.1.2 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale

Per quanto riguarda gli edifici a destinazione d'uso non residenziale, che seguono la ricostruzione spaziale e volumetrica fatta per l'analisi dello stato di fatto del Quartiere INCIS-Decima, vengono considerati gli stessi interventi previsti per la destinazione d'uso residenziale, ovvero l'integrazione dei dispositivi che consentano la riduzione del flusso e il controllo della portata e della temperatura dell'acqua laddove non presenti allo stato di fatto, in questo caso con l'inserimento di rubinetteria temporizzata ed elettronica con interruzione del flusso d'acqua per lavabi dei bagni e delle docce, per le destinazioni d'uso nelle quali questi non siano già previsti allo stato di fatto; l'installazione di cassette WC a doppio pulsante che prevedano volumi di scarico tra i 3 e i 6 litri; la sostituzione degli elettrodomestici a basso consumo con elettrodomestici Classe A, per il lavaggio della biancheria e delle stoviglie; l'inserimento di impianti di micro-irrigazione a goccia centralizzati, per l'irrigazione delle piante sui balconi e nelle aree verdi pertinenziali degli appartamenti, tramite gocciolatori.

Dispositivi e sistemi che, sommati insieme, portano ad una riduzione del 28% del fabbisogno idrico *indoor* medio per gli edifici a destinazione d'uso non residenziale.

Tale riduzione porta, a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.2 con la formula (2.B), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio "F.idrico_d.u(...)" per ciascuna destinazione d'uso non residenziale considerata, alla determinazione di una quantità di acqua potabile effettiva per uso *indoor* ($F_{\text{indoor_eff}}$) per edifici:

- ad uso ufficio: $F_{\text{indoor_eff}} = 7,346 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 18.2% ri-

petto al fabbisogno indoor calcolato allo stato di fatto);

- commerciali: $F_{\text{indoor_eff}} = 12\,430 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 21.2% rispetto al fabbisogno indoor calcolato allo stato di fatto);
- ricettivi: $F_{\text{indoor_eff}} = 2\,122 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 18.3% rispetto al fabbisogno indoor calcolato allo stato di fatto);
- scolastici: $F_{\text{indoor_eff}} = 15\,158 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 29.8% rispetto al fabbisogno indoor calcolato allo stato di fatto);
- ristoranti: $F_{\text{indoor_eff}} = 2\,464 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 15.0% rispetto al fabbisogno indoor calcolato allo stato di fatto);

per un totale di $F_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale pari a $39\,520 \text{ m}^3/\text{anno}$ con una riduzione media del 20.5% rispetto al fabbisogno indoor calcolato allo stato di fatto.

7.5.1.3 Calcolo della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale

Le soluzioni di intervento previste per la riduzione dei consumi idrici nello Scenario 1A di *Light Energy-Zero Emission Renovation* portano ad una conseguente riduzione della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale.

Tale contributo, calcolato a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.3 con la formula (3.B), attraverso il tool di calcolo elaborato su Excel nei fogli di calcolo "Fidrico_d.u. residenziale" e "Fidrico_d.u.(...)" per ciascuna destinazione d'uso considerata ha portato alla determinazione della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario ($Eff_{\text{indoor_eff}}$), per edifici:

- residenziali: $Eff_{\text{indoor_eff}} = 87\,476 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 20.3% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $Eff_{\text{indoor_eff}} = 5\,445 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 18.7% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- commerciali: $Eff_{\text{indoor_eff}} = 9\,561 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 19.2% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- ricettivi: $Eff_{\text{indoor_eff}} = 1\,576 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 19.3% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- scolastici: $Eff_{\text{indoor_eff}} = 12\,774 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 19.1% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- ristoranti: $Eff_{\text{indoor_eff}} = 1\,832 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 22.1% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);

di cui la quantità di $Eff_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso non

residenziale è pari a $31\,188 \text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità $Eff_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso residenziale, porta ad un totale di $118\,664 \text{ m}^3/\text{anno}$, con una riduzione media del 20.1% rispetto alla quantità globale immessa allo stato di fatto.

7.5.1.4 Calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate

Il calcolo delle superfici di captazione totale (S_c) e delle superfici verdi (S_{verde}) precedentemente svolto ed esposto durante le analisi delle superfici del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto, nel paragrafo 7.3.1.4, ha portato alla determinazione delle superfici captanti a livello di quartiere pari a $15\,800 \text{ m}^2$, e della superficie vegetata pari a $70\,724 \text{ m}^2$, invariate rispetto al calcolo precedente.

A partire dall'analisi delle superfici, il volume ottimale per il dimensionamento complessivo delle cisterne di raccolta rimane pari a 484 m^3 ma, non essendo previsto all'interno dello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation* nessun impianto destinato alla raccolta e allo stoccaggio di una tale quantità di acqua, anche in questo caso le acque meteoriche captate e stoccate sono pari a $0 \text{ m}^3/\text{anno}$.

7.5.1.5 Calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi

L'assenza di soluzioni d'intervento a livello distrettuale destinate alla riduzione della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi, all'inserimento di specie vegetali che comportino un aumento o una diminuzione del fabbisogno irriguo stagionale o annuo, o alla captazione e allo stoccaggio delle acque meteoriche e delle acque per usi non potabili, fa sì che questa quantità di acqua rimanga invariata rispetto allo stato di fatto anche nello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation*.

Quantità calcolate secondo quanto esposto nel paragrafo 7.3.1.5, che in questo paragrafo si riportano invariate per completezza di restituzione dei dati.

Per edifici:

- residenziali: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 182\,785 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ad uso ufficio: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 10\,063 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- commerciali: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 17\,027 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ricettivi: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 3\,102 \text{ m}^3/\text{anno}$;

- scolastici: $F_{\text{non_potabile}} + F_{\text{irr}} = 23\,140 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- ristoranti: $F_{\text{non_potabile}} + F_{\text{irr}} = 3\,296 \text{ m}^3/\text{anno}$;

di cui la quantità di $F_{\text{non_potabile}} + F_{\text{irr}}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $56\,628 \text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità $F_{\text{non_potabile}} + F_{\text{irr}}$ per edifici a destinazione d'uso residenziale, dà un totale di $239\,413 \text{ m}^3/\text{anno}$.

7.5.1.6 Calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica

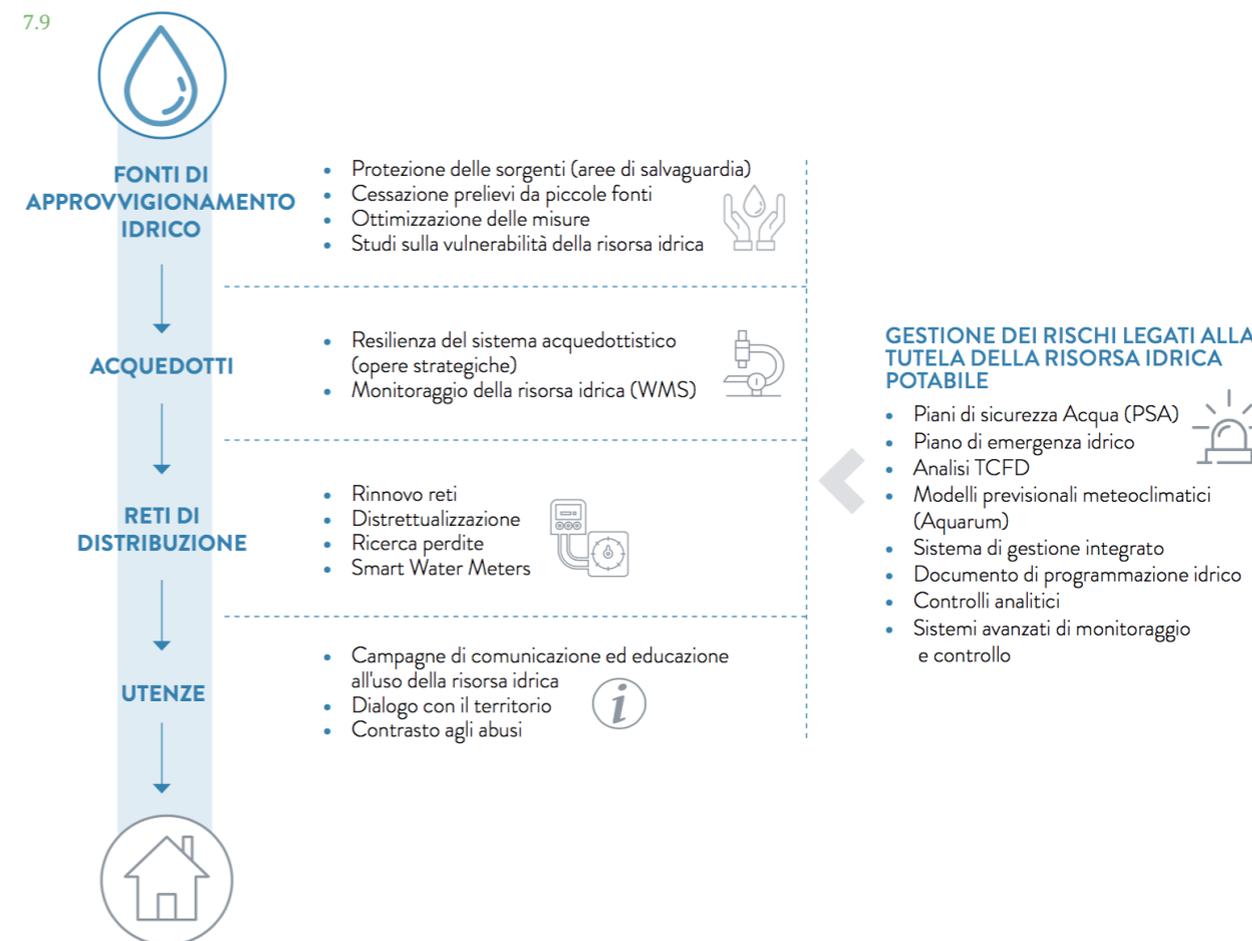
Per il calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica nel quartiere, si fa riferimento agli interventi definiti per lo Scenario 1B dello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation*, ovvero quelle soluzioni progettuali necessarie da parte dei gestori del servizio idrico che producano un impatto ambientale minimo sul territorio.

Per la definizione di tali interventi progettuali si è fatto riferimento a quanto riportato nel bilancio di sostenibilità del gestore ACEA ATO 2 Lazio Centrale – Roma (7.9).

Nello specifico, nel bilancio (ACEA Acqua, 2022b) si leggono gli intenti e i lavori *in progress*, volti alle reti di distribuzione, per:

- ottimizzare le performance della rete idrica tramite *Water Management System* con un censimento completo delle infrastrutture e la loro rappresentazione sul Sistema Informativo Georeferenziato (GIS), che consente di pianificare con maggior consapevolezza gli interventi, e la gestione/controllo delle infrastrutture da remoto (telecontrollo), censimento ancora non ultimato ma completo per l'85% al 31.12.2021;
- implementare i sistemi di telecontrollo e intervento da remoto tramite l'installazione di dispositivi smart volti al monitoraggio dei parametri di pressione, portata e consumi dei distretti idrici (esattamente installazione di 400 000 *smart meter*), con l'obiettivo di puntare ad una gestione tecnologicamente avanzata delle reti idriche e parallelamente trasformare la relazione con il cliente in un'esperienza sempre più integrata e "omnicanales";
- installare strumenti in grado di ottimizzare le pressioni di esercizio nelle reti di distribuzione, nel 2021 sono state installate 144 idrovalvole per la gestione e il controllo in modo dinamico ed efficace;

7.9



- inserire sistemi di rilevamento delle perdite tramite sistema *noise logger*, ossia apparecchiature elettroacustiche che consentono di localizzare le perdite senza ricorrere a scavi;
- distrettualizzare le reti, una delle principali attività avviate dall'Azienda a partire dal 2018, per il contenimento delle perdite fisiche lungo la rete di distribuzione, consistente nella suddivisione della stessa in aree tra loro non connesse e con immissioni misurate di cui, al 31.12.2021, sono stati realizzati 581 distretti di misura su oltre 11 500 km di rete di distribuzione con circa 2 200 misuratori di portata e pressione.

Didascalie alle immagini.
7.9. Strumenti e azioni per preservare la risorsa idrica potabile delineati nel bilancio di sostenibilità di ACEA ATO 2 (immagine tratta da ACEA Acqua, 2022b)

Il complesso di tutte le azioni sopra descritte ha prodotto, e continua a produrre, come risultato, la progressiva riduzione delle perdite idriche percentuali che, in proporzione rispetto a quanto dichiarato dal gestore, si prevede possa raggiungere a Roma una ulteriore riduzione fino al 13.5% nell'anno 2024.

Dato percentuale di perdite idriche annue che viene preso a riferimento come indicatore k_3 da inserire nella formula (6.A.2) esposta nel paragrafo 7.1.2.6.

Grazie alla definizione del nuovo parametro k_3 , previsto da progetto, attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nei fogli di calcolo "Fidrico_d.u. residenziale" e "Fidrico_d.u(...)" per ciascuna destinazione d'uso considerata, è stato possibile risalire alla quantità di acqua dispersa da rete idrica (I_3) a partire dai consumi idrici globali del distretto, per edifici:

- residenziali: $I_3 = 62\,028\text{ m}^3/\text{anno}$;
- ad uso ufficio: $I_3 = 3\,510\text{ m}^3/\text{anno}$;
- commerciali: $I_3 = 6\,031\text{ m}^3/\text{anno}$;
- ricettivi: $I_3 = 1\,061\text{ m}^3/\text{anno}$;
- scolastici: $I_3 = 8\,213\text{ m}^3/\text{anno}$;
- ristoranti: $I_3 = 1\,155\text{ m}^3/\text{anno}$;

di cui la quantità di I_3 per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $19\,970\text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità I_3 per edifici a destinazione d'uso residenziale, determina un totale di $81\,998\text{ m}^3/\text{anno}$ con una riduzione del 52.8% rispetto alla quantità di acqua dispersa da rete di distribuzione idrica allo stato di fatto.

7.5.1.7 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano

Il calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano, alla luce della combinazione degli interventi delineati nello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation*, ed effettuato a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.7, attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "Fidrico_distretto urbano" considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso analizzate, ha determinato le quantità (F_{idr_gl}), per edifici:

- residenziali: $F_{idr_gl} = 407\,351\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'11.3% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $F_{idr_gl} = 23\,120\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'11.1% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- commerciali: $F_{idr_gl} = 39\,095\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 12.5% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ricettivi: $F_{idr_gl} = 7\,004\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 10.9% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- scolastici: $F_{idr_gl} = 51\,371\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 15.6% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ristoranti: $F_{idr_gl} = 7\,601\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'11.2% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);

di cui la quantità di F_{idr_gl} per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $128\,191\text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità F_{idr_gl} per edifici a destinazione d'uso residenziale, porta ad un totale di $535\,542\text{ m}^3/\text{anno}$, con una riduzione del 12.1% rispetto al fabbisogno idrico globale del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto.

Inoltre la ripartizione del dato del fabbisogno idrico globale del Quartiere, in rapporto al numero di abitanti e di utenti finali ha portato alla determinazione di un consumo pro capite al giorno pari a 200 l/gg/ab .

Andando, dunque, a sintetizzare quanto ottenuto dal calcolo delle varie componenti del fabbisogno idrico del Distretto Urbano, per ciascuna destinazione d'uso, la situazione del Quartiere INCIS-Decima, a seguito degli interventi previsti nello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation* corrisponde a quanto riportato in [tabella 7.13](#) alla pagina seguente. Nella quale, rispetto alla totalità del fabbisogno idrico globale, il fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale (prima colonna blu dello Scenario 1) costituisce il 23%, il fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale (seconda colonna blu dello Scenario 1) costituisce l'8%, la quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario a livello distrettuale (colonna azzurra dello Scenario 1) costituisce una percentuale del 23% e l'acqua per usi non potabili e per irrigazione (colonna verde dello Scenario 1) costituisce una percentuale del 46%.

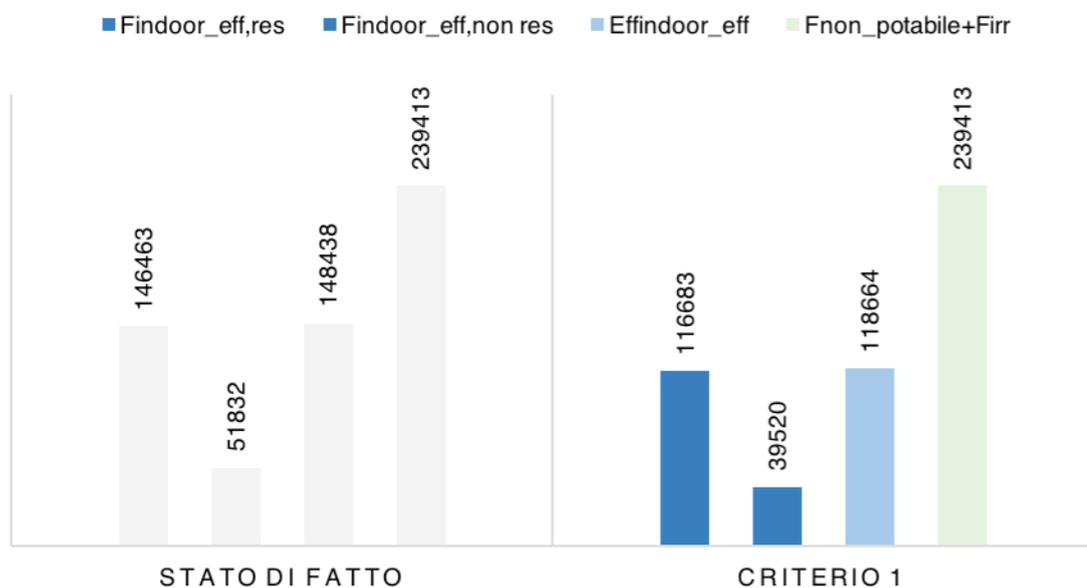
Dalla figura [7.10](#) si può invece notare il confronto quantitativo dei consumi idrici globali effettivi dello Scenario 1 rispetto a quelli della situazione attuale del Quartiere INCIS-Decima.

tabella 7.13

Consumi idrici	n. edif.	n. utenti	S _{utile} [m ²]	Volume [m ³]	F _{indoor_eff} [m ³ /anno]	Eff _{indoor_eff} [m ³ /anno]	F _{non potabile+F_{irr}} [m ³ /anno]	F _{idr_gl} [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	30	3 680	54 528	163 584	116 683	87 476	182 785	407 351	62 028
uffici	1	653	6 530	19 590	7 346	5 445	10 063	23 120	3 510
commerciale	2	1 054	7 376	22 128	12 430	9 561	17 071	39 095	6 031
ricettivi	1	276	6 072	18 216	2 122	1 576	3 102	7 004	1 061
scolastici	3	1 368	10 940	32 820	15 158	12 774	23 140	51 371	8 213
ristorante	1	295	1 196	3 588	2,464	1 832	3 296	7 601	1 155
Totale	38	7 326	86 642	259 926	156 203	118 664	239 457	535 542	81 998

7.10

FABBISOGNO IDRICO EFFETTIVO



7.5.1.8 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

Dopo aver terminato la fase di calcolo dei consumi idrici alla luce della combinazione degli interventi delineati nello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation*, sono stati analizzati i consumi energetici, ovvero la quantità di energia elettrica necessaria a coprire il fabbisogno idrico.

Questo calcolo, come nel caso dell'analisi dello stato di fatto, ha necessitato l'impiego dell'Indice di Conversione nazionale (IdC = k₄), rimasto invariato rispetto a quello determinato nel paragrafo 7.3.1.8, pari a 0.288 kWh/m³.

La moltiplicazione del dato legato al fabbisogno idrico globale del Quartiere per l'Indice di Conversione nazionale ha permesso di determinare, a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.8 con la formula (9), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "F.energetico_distretto urbano" considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso analizzate i consumi energetici necessari alla copertura del fabbisogno idrico del Distretto Urbano (Q_{en,el,idr}), pari a 36 919 kWh/anno per edifici a destinazione d'uso non residenziale e a 117 317 kWh/anno per edifici a destinazione d'uso residenziale.

Quote che, sommate tra loro, portano ad un totale di energia elettrica necessaria a coprire il fabbisogno idrico del quartiere di 154 236 kWh/anno, pari a 22.6 kWh/anno per abitante.

7.5.2 Analisi delle emissioni di CO₂ legate alle risorse idriche nel Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Light Energy-Zero Emission Renovation*

Al termine delle analisi dei consumi idrici ed energetici, la fase successiva ha previsto l'analisi delle emissioni di CO₂ in atmosfera di cui sarebbe responsabile il Quartiere INCIS-Decima a seguito degli interventi dello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation*.

7.5.2.1 Calcolo della quantità di CO₂ emessa dal segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale

Didascalie alle immagini nella pagina accanto - tab. 7.13. Tabella dei consumi idrici [m³/anno] del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 1 - somma Scenari 1A + 1B); 7.10. Grafico che ripartisce il fabbisogno idrico effettivo globale del quartiere INCIS-Decima, alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 1 - somma Scenari 1A + 1B), a confronto con la situazione attuale (colonne grigie);

A partire dalla determinazione dell'Indice Quantitativo k_6 , ovvero la quantità unitaria di CO_2 rilasciata in atmosfera relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto, definita e individuata nel paragrafo 7.3.2.1, pari a $1.859 \text{ kgCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$, si è proceduto con la quantificazione delle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico del Distretto Urbano annuo ($CO_{2,idr,gl}$).

Tale quantità è suddivisa per tipologia di edificio:

- residenziali: $CO_{2,idr,gl} = 719.3 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'11.3% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $CO_{2,idr,gl} = 42.5 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'11.1% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- commerciali: $CO_{2,idr,gl} = 72.6 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 12.5% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ricettivi: $CO_{2,idr,gl} = 12.6 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 10.9% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- scolastici: $CO_{2,idr,gl} = 94.9 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 15.6% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ristoranti: $CO_{2,idr,gl} = 14.1 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'11.2% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);

di cui la quantità di $CO_{2,idr,gl}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $236.7 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità $CO_{2,idr,gl}$ per edifici a destinazione d'uso residenziale, dà un totale di $956 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$, con una riduzione del 13.1% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto.

Inoltre la ripartizione del dato delle emissioni di CO_2 del quartiere, in rapporto al numero di abitanti e di utenti finali ha portato alla determinazione di un quantitativo di emissioni di CO_2 pro capite pari a $42.6 \text{ kgCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3$ di acqua.

Oltre al calcolo delle emissioni di CO_2 a livello globale sono state considerate anche tutte le porzioni di emissioni legate alle varie quote di quantità di acqua potabile precedentemente calcolate, che,

a partire dai consumi idrici, possono essere sintetizzate secondo quanto riportato nella [tabella 7.14](#) di seguito.

tabella 7.14

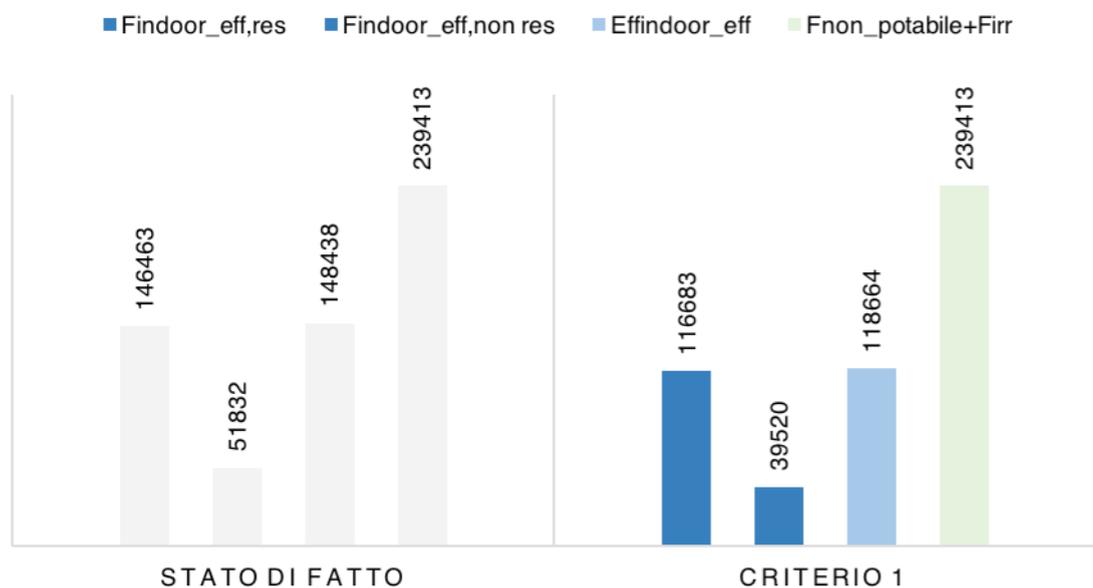
Consumi idrici	n. edif.	n. utenti	$S_{utile} [m^2]$	Volume $[m^3]$	$F_{indoor,eff} [m^3/\text{anno}]$	$Eff_{indoor,eff} [m^3/\text{anno}]$	$F_{non\text{potabile}+F_{irr}} [m^3/\text{anno}]$	$F_{idr,gl} [m^3/\text{anno}]$	Perdite $[m^3/\text{anno}]$
residenziale	30	3 680	54 528	163 584	116 683	87 476	182 785	407 351	62 028
uffici	1	653	6 530	19 590	7 346	5 445	10 063	23 120	3 510
commerciale	2	1 054	7 376	22 128	12 430	9 561	17 071	39 095	6 031
ricettivi	1	276	6 072	18 216	2 122	1 576	3 102	7 004	1 061
scolastici	3	1 368	10 940	32 820	15 158	12 774	23 140	51 371	8 213
ristorante	1	295	1 196	3 588	2,464	1 832	3 296	7 601	1 155
Totale	38	7 326	86 642	259 926	156 203	118 664	239 457	535 542	81 998
Emissioni di CO_2 correlate					$CO_{2,ind,eff} [tCO_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}]$	$CO_{2,ind,effl} [tCO_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}]$	$CO_{2,non\text{potabile}+irr} [tCO_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}]$	$CO_{2,idr,gl} [tCO_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}]$	$CO_{2,perdite} [tCO_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}]$
residenziale					216.9	162.6	339.8	719.3	115.3
uffici					13.7	10.1	18.7	42.5	6.5
commerciale					23.1	17.8	31.7	72.6	11.2
ricettivi					3.9	2.9	5.8	12.6	2.0
scolastici					28.2	23.7	43	94.9	15.3
ristorante					4.6	3.4	6.1	14.1	2.1
Totale					290.4	220.6	445.1	956	152.4

Dalla figura 7.11 alla pagina seguente, invece, si può notare il confronto quantitativo dei consumi idrici globali effettivi e delle emissioni di CO_2 ad essi correlate dello Scenario 1 rispetto a quelli della

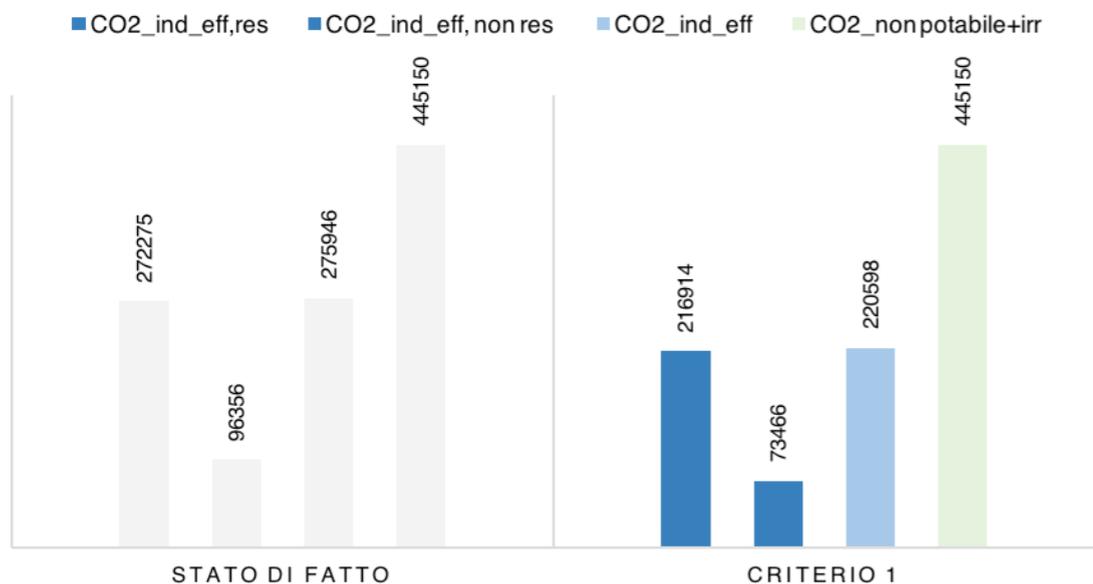
Didascalie alle immagini, nella pagina accanto - [tab. 7.14](#). Tabella dei consumi idrici $[m^3/\text{anno}]$ e delle emissioni di $CO_2\text{eq} [tCO_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}]$ correlate, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 1 - somma Scenari 1A + 1B);

7.11

FABBISOGNO IDRICO EFFETTIVO



EMISSIONI DI CO2



situazione attuale del Quartiere INCIS-Decima: rispetto alla totalità del fabbisogno idrico globale, le emissioni di CO₂ legate al fabbisogno idrico potabile per usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale (prima colonna blu dello Scenario 1) costituiscono il 23%, le emissioni di CO₂ legate al fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale (seconda colonna blu dello Scenario 1) costituiscono l'8%, le emissioni di CO₂ legate alla quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario a livello distrettuale (colonna azzurra dello Scenario 1) costituiscono una percentuale del 23% e emissioni di CO₂ legate dall'acqua per usi non potabili e per irrigazione (colonna verde dello Scenario 1) costituiscono una percentuale del 46%.

7.5.2.2 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

Come per le analisi dello stato di fatto, le emissioni di CO₂ sono state calcolate anche nella misura legata alla produzione di energia elettrica per soddisfare il fabbisogno idrico all'interno del Distretto Urbano per quantificare il legame tra consumi idrici ed elettrici alla luce degli interventi previsti nello Scenario 1 di *Light Energy Zero-Emission Renovation*.

Per lo svolgimento di tale calcolo si è fatto riferimento all'Indice Quantitativo k_7 , determinato a partire dalla quantificazione delle emissioni di CO₂ annue rilasciate in atmosfera in funzione della produzione di energia elettrica relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto, secondo quanto esposto nel paragrafo 7.3.2.2, pari a 0.524 kgCO₂eq/kWh.

Determinato il parametro quantitativo k_7 a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.3.2 con la formula (15), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "Emissioni_distretto urbano" considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso, sono state quantificate le emissioni di CO₂ relative alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano annuo (CO₂_{en,el,idr}) pari un totale di 808.2 tCO₂eq*m³/anno, corrispondenti all'83.5% delle emissioni di CO₂ relative al fabbisogno idrico urbano globale, percentuale rimasta pressochè invariata rispetto allo stato di fatto in quanto nello Scenario 1 non sono stati previsti interventi volti ad un aumento rilevante dell'elettrificazione delle utenze.

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
7.11. Grafico che, a partire dalla ripartizione del fabbisogno idrico effettivo globale (in alto), ripartisce le emissioni di CO₂ (in basso), del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 1 - somma Scenari 1A + 1B), a confronto con la situazione attuale (colonne grigie);

7.5.2.3 Calcolo della quantità di CO₂ risparmiata

La riduzione nei consumi idrici alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation*, come si è visto puntualmente nei paragrafi precedenti, comporta una riduzione nei consumi energetici e nelle emissioni ad essi correlate.

L'effettiva quantificazione della riduzione ottenuta nello Scenario 1 viene restituita numericamente nella [tabella 7.15](#), e graficamente, per mezzo di un grafico a colonne raggruppate, nella [figura 7.12](#).

La [tabella 7.15](#) nella pagina accanto evidenzia quanto a fronte di una riduzione dei consumi idrici globali del Distretto Urbano pari a 71 865 m³/anno corrisponda una quantità di CO₂ risparmiata, ovvero non emessa in atmosfera da parte del Quartiere, pari a 133.7 tCO₂eq*m³/anno, esattamente il 12.3% in meno rispetto alla situazione attuale.

Evidenzia inoltre il dato puntuale di riduzione della dispersione idrica dalla rete di distribuzione che si ottiene a seguito degli interventi da parte del gestore del servizio idrico locale che, se effettuati, possono portare fino ad una riduzione delle perdite di 91 721 m³/anno corrispondenti ad una quantità di CO₂ non emessa in atmosfera dalla rete di distribuzione idrica, e quindi da uno dei segmenti del servizio idrico integrato, pari a 170.6 tCO₂eq*m³/anno, oltre il 50% in meno rispetto alla quantità attualmente emessa dallo stesso segmento.

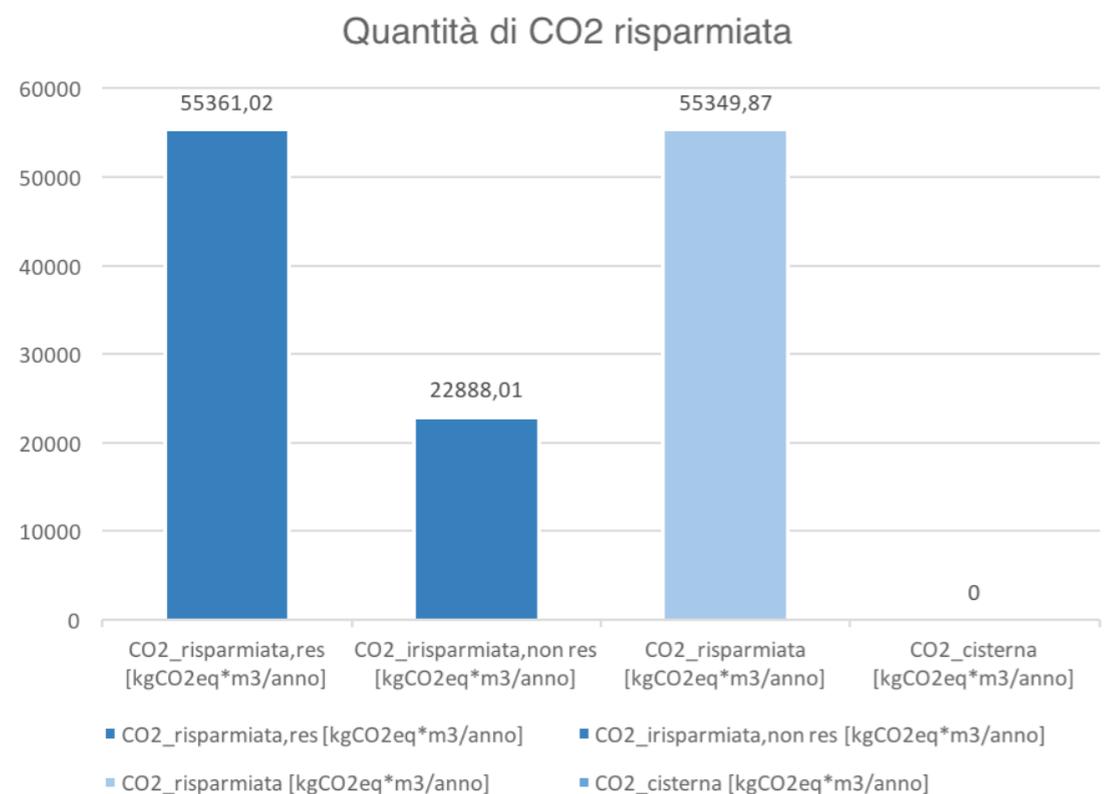
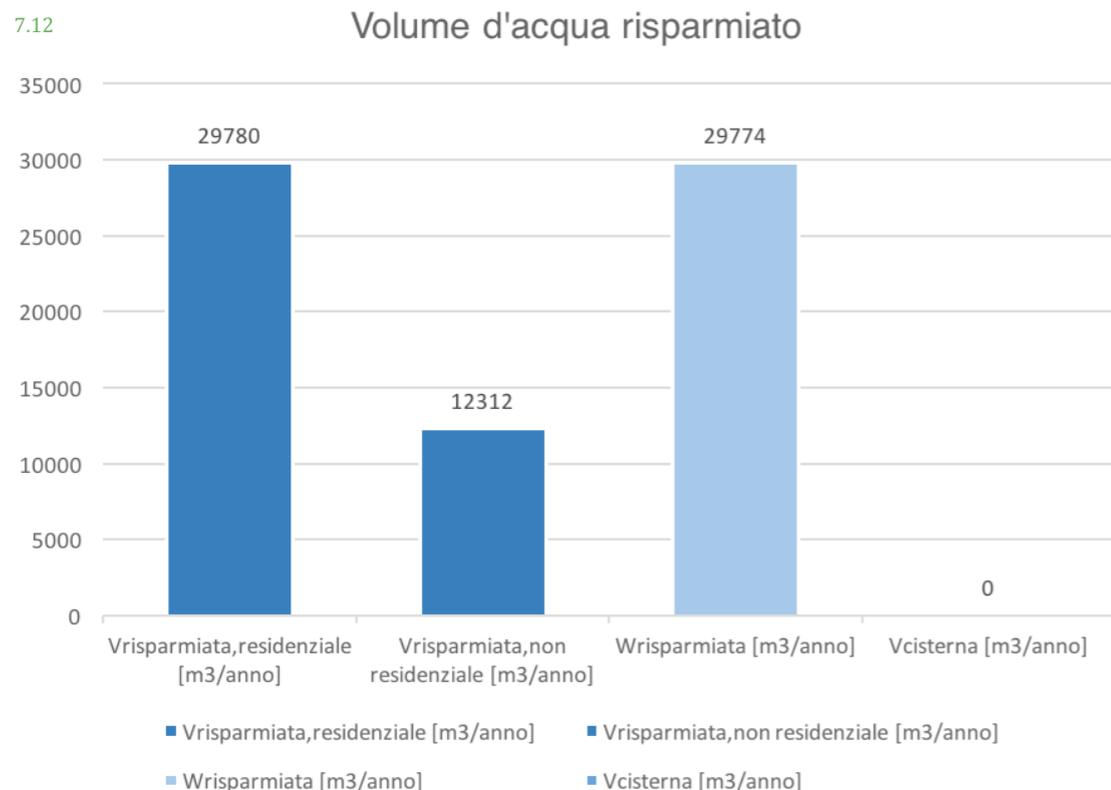
La [figura 7.12](#) nella pagina seguente restituisce, invece, il risparmio ottenuto in proporzione dalle destinazioni d'uso residenziali e non residenziali per quanto riguarda la riduzione dei consumi di acqua potabile di uso *indoor* (colonne blu in entrambi i grafici) rispetto agli interventi delineati nello Scenario 1 e la riduzione ottenuta sull'acqua che non viene immessa nel sistema fognario distrettuale (colonne azzurre in entrambi i grafici).

Non essendo previsti, nel presente Scenario 1, interventi volti all'insediamento di impianti per la captazione e lo stoccaggio e il riuso delle acque meteoriche e delle acque per usi non potabili, il contributo del volume di acqua risparmiata grazie alle cisterne di raccolta rimane nullo.

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
[tab. 7.15](#). Tabella delle riduzioni dei consumi idrici [m³/anno] e delle emissioni di CO₂eq [tCO₂eq*m³/anno] correlate, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 1 – somma Scenari 1A + 1B);
nella pagina seguente -
[7.12](#). Grafico che, a partire dalla ripartizione del volume idrico risparmiato (in alto), ripartisce le emissioni di CO₂ (in alto) risparmiate, ovvero non emesse, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 1 – somma Scenari 1A + 1B);

tabella 7.15

Riduzione dei Consumi idrici	F _{indoor_eff} [m ³ /anno]	Eff _{indoor_eff} [m ³ /anno]	F _{non potabile+F_{irr}} [m ³ /anno]	F _{idr_gl} [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	-29 780	-22 339	0	-52 118	-69 380
uffici	-1 635	-1 249	0	-2 883	-3 927
commerciale	-3 320	-2 265	0	-5 585	-6 748
ricettivi	-476	-376	0	-853	-1 186
scolastici	-6 445	-3 024	0	-9 469	-9 187
ristorante	-436	-521	0	-957	-1 293
Totale	-42 092	-29 774	0	-71 865	-91 721
Totale in %	-21.2	-20.1	0	-12.3	-52.8
Riduzione de Emissioni di CO ₂ correlate	CO _{2_ind_eff} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO _{2_ind_effl} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO _{2_non potabile+irr} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO _{2_idr_gl} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO _{2_perdite} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]
residenziale	-55.4	-41.5	0	-96.9	-129
uffici	-3.0	-2.3	0	-5.3	-7.3
commerciale	-6.2	-4.2	0	-10.4	-12.6
ricettivi	-0.9	-0.7	0	-1.6	-2.2
scolastici	-12.0	-5.7	0	-17.7	-17
ristorante	-0.8	-1.0	0	-1.8	-2.5
Totale	-78.3	-55.4	0	-133.7	-170.6
Totale in %	-21.2	-20.1	0	-12.3	-52.8



7.5.3 Analisi economica degli interventi di Light Energy-Zero Emission Renovation

L'analisi dei costi di intervento per gli Scenari previsti fa riferimento al Prezzario della Regione Lazio aggiornato al 2022. Nel caso di voci non presenti sono stati consultati anche altri elenchi regionali e/o comunali, aggiornati e legalmente in corso di validità.

In ultimo, per le voci mancanti in ogni prezzario consultato si è fatto ricorso all'analisi dei prezzi aggiunti alla luce della consultazione di preventivi di aziende di fornitura e produzione dei dispositivi tecnologici e impiantistici previsti da progetto.

Nella scelta delle aziende di fornitura sono state predilette ditte locali, o comunque fornitori il più possibile vicini al Quartiere INCIS-Decima; questa scelta deriva dalla volontà di contenere ulteriormente le emissioni di gas serra generate dal trasporto dei materiali e dei prodotti considerati, sebbene non siano contemplate nella presente trattazione, nell'ottica più ampia del raggiungimento dell'obiettivo cardine di Decarbonizzazione del Distretto Urbano.

Nel caso specifico degli interventi previsti nello Scenario 1 di Light Energy-Zero Emission Renovation si fa riferimento solo agli interventi previsti nello Scenario 1A da parte degli utenti finali alla scala dell'edificio, vengono tralasciati quelli relativi allo Scenario 1B necessari da parte del gestore del servizio idrico integrato.

Per le soluzioni tecnologiche volte alla riduzione dei consumi idrici sono stati considerati i marchi forniti da un'impresa di impianti e articoli di termoidraulica collocata a 5 km di distanza dal centro del Quartiere INCIS-Decima.

I prezzi indicati nella tabella 7.16, nella pagina seguente, si considerano come costi unitari a carattere indicativo e non esaustivo delle voci necessarie per la realizzazione di un computo metrico estimativo.

Infine, nella presente stima non sono stati inseriti i costi di manutenzione, da intendersi con interventi necessari con cadenza annuale o con cadenza decennale, a seconda della lavorazione considerata.

tabella 7.16

Soluzione tecnologica	Portata [l/min]	Quantità	U.M.	Prezzo [€]
Miscelatore monocomando lavabo temporizzato	6	1	cad.	159.5
Doccia – set a basso consumo temporizzato	8	1	cad.	291.5
Miscelatore monocomando cucina	6	1	cad.	136.5
Miscelatore monocomando lavabo casa	6	1	cad.	129.0
Miscelatore monocomando bidet	6	1	cad.	129.0
Doccia – set a basso consumo casa	8	1	cad.	225.0
Cassetta di scarico WC	3-6	1	cad.	246.0
Piastra doppio tasto di scarico	-	1	cad.	48.5
Lavatrice classe A	0.85	1	cad.	351.6
Lavastoviglie classe A	0.5	1	cad.	424.9
Rubinetto balcone	15	1	cad.	19.0
Rubinetto giardino	15	1	cad.	19.0
Rubinetto piano terra	24	1	cad.	190.5
Kit micro-irrigazione con gocciolatore + raccordi + filtro	-	1	cad.	60.0
Avvolgi-tubo automatico 20 mt	-	1	cad.	64.9
Sistema di irrigazione automatico controllo da remoto	-	1	cad.	51.0
Rilevatore <i>smart</i> consumi idrici	-	1	cad.	59.0
Rilevatore <i>smart</i> perdite idriche	-	1	cad.	38.9
Totale		18		2 643.8

7.5.4 Discussione dei risultati ottenuti e considerazioni sulle condizioni del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Light Energy-Zero Emission Renovation*

Lo Scenario 1 è stato volutamente suddiviso negli Scenari di riqualificazione 1A e 1B, con il preciso scopo di far emergere, in maniera disgiunta, i due aspetti legati agli interventi progettuali di carattere non strutturale possibili da parte degli abitanti e degli utenti finali del Quartiere INCIS-Decima e quelli a basso impatto ambientale necessari da parte del gestore del servizio idrico locale:

da una parte lo Scenario 1A evidenzia come, attraverso l'installazione di dispositivi tecnologici e impiantistici che comportano una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua, sia possibile, con una spesa media variabile tra i 1 500 e 2 500 euro per utenza e senza interventi di carattere strutturale,

ottenere una riduzione percentuale sia dei consumi idrici che delle emissioni di CO₂ correlate, compresa tra il 10% e il 20%. Percentuale che, seppur non particolarmente alta, porta comunque ad una riduzione tangibile del fabbisogno idrico pro capite al giorno a 200 litri, valore che, nonostante rimanga tendenzialmente alto è comunque più basso rispetto a quello stimato allo stato di fatto, ancora di più se valutato nell'arco di un periodo annuo; tuttavia si sottolinea che con le Scenario 1A non si agisce in maniera considerevole nell'ottica del miglioramento della circolarità della risorsa, ma solo su una riduzione dei consumi;

dall'altra lo Scenario 1B, alla luce degli obiettivi reali e di quelli fino ad ora raggiunti tra il 2019 e il 2021 in termini di riduzione della dispersione idrica e delle conseguenti emissioni di CO₂, dichiarati nel bilancio di sostenibilità da parte del gestore del servizio idrico locale, dimostra come, anche solo agendo sull'approvvigionamento idrico in un'ottica rivolta alla distrettualizzazione e al contenimento delle perdite in fase d'uso e distribuzione, si può raggiungere una riduzione dei consumi idrici e delle emissioni di CO₂ correlate pari a oltre il 50%. Percentuale che sottolinea il peso maggiore della gestione sovra ordinata dell'infrastruttura idrica rispetto a quello delle singole utenze, anche solo considerando la fase di uso e distribuzione del segmento acquedotto, senza ampliare la considerazione alle altre fasi.

Didascalie alle immagini.
tab. 7.16. Tabella dei costi unitari per gli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 1A) previsti nel Quartiere INCIS-Decima;

7.6 Applicazione del metodo allo Scenario 2: *Medium Energy-Zero Emission Renovation* nel Quartiere INCIS-Decima

Nella determinazione dello Scenario 2 *Medium Energy-Zero Emission Renovation* si vanno ad aggiungere agli interventi non strutturali volti alla riduzione del consumo idrico previsti nello Scenario 1, soluzioni progettuali, talvolta anche strutturali, più prettamente volte al miglioramento del processo di circolarità della risorsa idrica.

7.6.1 Analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*

La prima fase di analisi, come nell'analisi dello stato di fatto e nello Scenario precedentemente approfondito, ha riguardato i consumi idrici e dunque il fabbisogno idrico del Quartiere INCIS-Decima, alla luce degli interventi previsti nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*.

7.6.1.1 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale

Negli edifici a destinazione d'uso residenziale nel Quartiere INCIS-Decima nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, in aggiunta agli interventi previsti per l'installazione di dispositivi tecnologici e impiantistici che comportino una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua già esposti dettagliatamente nel paragrafo 7.5.1.1, vengono considerati anche i contributi dati dal volume delle acque meteoriche, delle acque grigie e delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione, raccolti grazie ad un sistema di cisterne e riutilizzato per usi *indoor* secondo un'organizzazione impiantistica specifica.

Per il dimensionamento ottimale delle cisterne di accumulo, rispettivamente delle acque meteoriche, delle acque grigie e delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione si è fatto riferimento

al metodo di calcolo semplificato previsto dalla norma tecnica UNI/TS 11445:2012 (UNI Ente Italiano di Normazione, 2012), ed esposto nella fase 1 del metodo di calcolo al paragrafo 7.1.2.4.

In particolare:

- per il valore ottimale di dimensionamento della cisterna di raccolta delle acque meteoriche è stato considerato il prodotto tra la resa locale dell'acqua piovana annuale (pari a 0.06 nel caso specifico) per il contributo minimo tra il fabbisogno irriguo e *indoor* e il volume di acque piovana recuperabile all'anno, ricavato dalle analisi ISTAT (ISTAT, 2022b);
- per il valore ottimale di dimensionamento della cisterna di raccolta delle acque grigie è stato considerato il contributo della quantità di acque grigie trattata giornalmente, a partire dalla stima delle acque provenienti da usi alimentari, lavaggio degli ambienti, lavaggio delle persone (inclusi usi da vasche da bagno o docce);
- per il valore ottimale di dimensionamento della cisterna di raccolta delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione si è fatto riferimento a quanto riportato nella norma in materia ambientale (GURI, 2006) in merito alla condensa negli impianti di climatizzazione e al dato ricorrente, reperito in diverse schede tecniche di prodotto, che quantificano tale apporto idrico come variabile tra i 2.5 e i 4 litri di acqua orari durante i periodi di maggior utilizzo, considerando un apparecchio standard dotato di 5 KW di potenza.

Alla luce dei dati tecnici emersi dai dimensionamenti svolti, sono state considerate le seguenti cisterne, previste da progetto: 1 cisterna di raccolta delle acque meteoriche (il cui contributo è stato considerato sia per uso *indoor* che per uso irriguo dei balconi e delle aree verdi pertinenziali, inclusi i tetti verdi, laddove previsti da progetto) per ciascun edificio a destinazione d'uso residenziale che consenta la raccolta di un volume di 15 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque grigie per uso *indoor* per ciascun edificio a destinazione d'uso residenziale che consenta la raccolta di un volume di 1.5 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione per uso *indoor* per ciascun edificio a destinazione d'uso residenziale che consenta la raccolta di un volume di 0.25 m³.

La somma degli interventi di riduzione parziale dei consumi grazie ai dispositivi installati per i vari usi e della re-immissione in circolo delle acque meteoriche, grigie e di condensa, permette una riduzione del 92.8% del fabbisogno idrico *indoor*, che si traduce in una

quantità di acqua potabile effettiva per usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale ($F_{\text{indoor_eff}}$), calcolata grazie all'applicazione del metodo esposto nel paragrafo 7.1.2.1 con la formula (1.B), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio "F.idrico_d.u. residenziale", pari a 10 603 m³/anno.

7.6.1.2 Calcolo della quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale

Negli edifici a destinazione d'uso non residenziale nel Quartiere IN-CIS-Decima secondo quanto delineato con lo Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, in aggiunta agli interventi previsti per l'installazione di dispositivi tecnologici e impiantistici che comportino una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua già esposti dettagliatamente nel paragrafo 7.5.1.2, vengono considerati anche i contributi dati dal volume delle acque meteoriche, delle acque grigie e delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione, raccolti grazie ad un sistema di cisterne e riutilizzato per usi *indoor* secondo un'organizzazione impiantistica specifica.

Il dimensionamento ottimale delle cisterne di accumulo, rispettivamente delle acque meteoriche, delle acque grigie e delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione è avvenuto seguendo gli stessi criteri e requisiti normativi anticipati nel paragrafo precedente.

Sulla base dei dati tecnici emersi dai dimensionamenti svolti, sono state considerate le seguenti cisterne:

per l'edificio a destinazione d'uso ufficio: 1 cisterna di raccolta delle acque meteoriche (il cui contributo è stato considerato sia per uso *indoor* che per uso irriguo dei balconi e delle aree verdi pertinenti, inclusi i tetti verdi, laddove previsti da progetto) che consenta la raccolta di un volume di 10 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque grigie per uso *indoor* che consenta la raccolta di un volume di 1.5 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione per uso *indoor* che consenta la raccolta di un volume di 0.5 m³;

per gli edifici a destinazione d'uso commerciale: 1 cisterna di raccolta delle acque meteoriche (il cui contributo è stato considerato sia per uso *indoor* che per uso irriguo dei balconi e delle aree verdi pertinenti, inclusi i tetti verdi, laddove previsti da progetto) per ciascun edificio che consenta la raccolta di un volume di 10 m³; 1

cisterna di raccolta delle acque grigie per uso *indoor* per ciascun edificio che consenta la raccolta di un volume di 1 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione per uso *indoor* per ciascun edificio che consenta la raccolta di un volume di 0.5 m³;

per l'edificio a destinazione d'uso ricettiva: 1 cisterna di raccolta delle acque meteoriche (il cui contributo è stato considerato sia per uso *indoor* che per uso irriguo dei balconi e delle aree verdi pertinenti, inclusi i tetti verdi, laddove previsti da progetto) che consenta la raccolta di un volume di 15 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque grigie per uso *indoor* che consenta la raccolta di un volume di 1.5 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione per uso *indoor* che consenta la raccolta di un volume di 0.25 m³;

per gli edifici a destinazione d'uso scolastica: 1 cisterna di raccolta delle acque meteoriche (il cui contributo è stato considerato sia per uso *indoor* che per uso irriguo dei balconi e delle aree verdi pertinenti, inclusi i tetti verdi, laddove previsti da progetto) per ciascun edificio che consenta la raccolta di un volume di 15 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque grigie per uso *indoor* per ciascun edificio che consenta la raccolta di un volume di 2.5 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione per uso *indoor* per ciascun edificio che consenta la raccolta di un volume di 0.25 m³;

per l'edificio a destinazione d'uso ristorante: 1 cisterna di raccolta delle acque meteoriche (il cui contributo è stato considerato sia per uso *indoor* che per uso irriguo dei balconi e delle aree verdi pertinenti, inclusi i tetti verdi, laddove previsti da progetto) che consenta la raccolta di un volume di 10 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque grigie per uso *indoor* che consenta la raccolta di un volume di 1 m³; 1 cisterna di raccolta delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione per uso *indoor* che consenta la raccolta di un volume di 0.25 m³.

La somma degli interventi di riduzione parziale dei consumi grazie ai dispositivi installati per i vari usi e della reimmissione in circolo delle acque meteoriche, grigie e di condensa, porta, a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.2 con la formula (2.B), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio "F.idrico_d.u.(...)" per ciascuna destinazione d'uso non residenziale considerata, alla determinazione di una quantità di acqua potabile effettiva per uso *indoor* ($F_{\text{indoor_eff}}$) per edifici:

- ad uso ufficio: $F_{\text{indoor_eff}} = 919 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 64.0% rispetto al fabbisogno *indoor* calcolato allo stato di fatto);
- commerciali: $F_{\text{indoor_eff}} = 5\,667 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 64.0% rispetto al fabbisogno *indoor* calcolato allo stato di fatto);
- ricettivi: $F_{\text{indoor_eff}} = 787 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 62.9% rispetto al fabbisogno *indoor* calcolato allo stato di fatto);
- scolastici: $F_{\text{indoor_eff}} = 5\,515 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 74.5% rispetto al fabbisogno *indoor* calcolato allo stato di fatto);
- ristoranti: $F_{\text{indoor_eff}} = 1\,307 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 54.9% rispetto al fabbisogno *indoor* calcolato allo stato di fatto);

per un totale di $F_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale pari a $14\,195 \text{ m}^3/\text{anno}$.

7.6.1.3 Calcolo della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale

Le soluzioni di intervento previste di riduzione dei consumi idrici e di riuso delle acque meteoriche, delle acque grigie e delle acque di condensa degli impianti di climatizzazione previste nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation* portano ad una conseguente riduzione della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale.

Tale contributo, calcolato a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.3 con la formula (3.B), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nei fogli di calcolo "F.idrico_d.u. residenziale" e "F.idrico_d.u.(...)" per ciascuna destinazione d'uso considerata ha portato alla determinazione della quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario ($\text{Eff}_{\text{indoor_eff}}$), per edifici:

- residenziali: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 37\,476 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'85.0% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 1\,445 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 78.4% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- commerciali: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 3\,561 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'87.6% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- ricettivi: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 241 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 19.3% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- scolastici: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 5\,274 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 66.7% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);
- ristoranti: $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}} = 332 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'85.9% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);

di cui la quantità di $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $10\,853 \text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità $\text{Eff}_{\text{indoor_eff}}$ per edifici a destinazione d'uso residenziale, porta ad un totale di $48\,329 \text{ m}^3/\text{anno}$, con una riduzione media del 70.5% rispetto alla quantità globale immessa allo stato di fatto.

7.6.1.4 Calcolo della quantità di acque meteoriche captate e stoccate

Il calcolo delle superfici di captazione totale (S_c) e delle superfici verdi (S_{verde}) subisce, nel caso degli interventi previsti nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation* una variazione rispetto alla situazione dello stato di fatto, per via delle modifiche apportate, secondo questi interventi progettuali, alle coperture degli edifici esistenti e alla permeabilizzazione delle aree di parcheggio, pedonali e ciclabili.

In particolare negli edifici a destinazione d'uso residenziale è prevista la realizzazione di tetti verdi intensivi su 13 dei 30 edifici e di *brown roof*, ai fini di un aumento della permeabilizzazione delle superfici, sulla copertura dei restanti 17; nell'edificio a destinazione d'uso ufficio è prevista la realizzazione di un tetto verde estensivo; negli edifici a destinazione d'uso commerciale e in quello a destinazione d'uso ricettiva è prevista la realizzazione di *brown roof*; in 2 dei 3 edifici a destinazione d'uso scolastica viene ipotizzata la realizzazione di tetti verdi estensivi e nell'edificio a destinazione d'uso ristorante non sono previste modifiche alla copertura, rispetto allo stato di fatto.

Inoltre, a livello di Distretto Urbano è prevista la conversione delle aree verdi attualmente scarsamente mantenute e non irrigate in *raingardens* nelle aree interstiziali tra gli edifici residenziali posti a nord-ovest del Quartiere; la realizzazione di *bioswales* poste lungo i margini della strada sugli assi longitudinali del Quartiere; la sostituzione degli elementi di finitura delle aree a parcheggio esistenti (attualmente impermeabilizzate dall'asfalto) con materiali a elevata porosità che permettano all'acqua di infiltrarsi nel terreno sottostante diminuendo, così, la quantità di deflusso superficiale; il rifacimento dei viali pedonali (attualmente impermeabilizzati dalla finitura in asfalto) con calcestruzzo drenante.

Alla luce degli interventi progettuali previsti, il nuovo calcolo delle superfici di captazione totale (S_c) e delle superfici verdi (S_{verde}) de-

termina una superficie captante pari a 19 160 m² tra coperture degli edifici, superfici pavimentate e permeabili, e della superficie vegetata pari a 84 869 m², con un aumento previsto del 20% delle superfici permeabili e delle superfici vegetate rispetto allo stato di fatto.

A partire dall'analisi delle superfici nel caso degli interventi previsti nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, il volume di dimensionamento complessivo delle cisterne di raccolta delle acque meteoriche, ai fini del riuso per usi *indoor* e per usi irrigui delle aree verdi pertinenziali, dei tetti verdi e delle *green blue infrastructures* è di 550 m³.

7.6.1.5 Calcolo della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi

Le soluzioni d'intervento a livello distrettuale volte al riuso delle acque meteoriche e delle acque grigie a copertura quasi totale del fabbisogno irriguo oltre che del fabbisogno *indoor*, previste nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, comportano una notevole riduzione della quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi, che rimane molto consistente nonostante l'aumento del 20% delle superfici vegetate rispetto allo stato di fatto.

Nel caso specifico, questa quantità, calcolata secondo quanto esposto nel paragrafo 7.3.1.5, si ripartisce nelle seguenti porzioni.

Per edifici:

- residenziali: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 27\,423 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'85.0% rispetto alla quantità necessaria allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 494 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 95.1% rispetto alla quantità necessaria allo stato di fatto);
- commerciali: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 964 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 94.3% rispetto alla quantità necessaria allo stato di fatto);
- ricettivi: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 341 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'89.0% rispetto alla quantità necessaria allo stato di fatto);
- scolastici: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 639 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 97.2% rispetto alla quantità necessaria allo stato di fatto);
- ristoranti: $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}} = 165 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 95.0% rispetto alla quantità immessa allo stato di fatto);

di cui la quantità di $F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a 2 603 m³/anno che, sommata alla quantità

$F_{\text{non_potabile}}+F_{\text{irr}}$ per edifici a destinazione d'uso residenziale, dà un totale di 30 026 m³/anno, con una riduzione dell'87.5% rispetto alla quantità globale immessa allo stato di fatto.

7.6.1.6 Calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica

Per il calcolo della quantità di acqua dispersa da rete idrica nel quartiere, alla luce degli interventi definiti per lo Scenario 1B dello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation*, nel paragrafo 7.5.1.6 si è fatto riferimento a quanto riportato nel bilancio di sostenibilità del gestore ACEA ATO 2 Lazio Centrale – Roma (ACEA Acqua, 2022b), ovvero ad una ipotetica riduzione prevista fino al 13.5% nell'anno 2024.

Dato percentuale di perdite idriche annue che viene preso a riferimento come indicatore k_3 da inserire nella formula (6.A.2) esposta nel paragrafo 7.1.2.6.

Grazie alla definizione del nuovo parametro k_3 , previsto da progetto, attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nei fogli di calcolo "Fidrico_d.u. residenziale" e "Fidrico_d.u(...)" per ciascuna destinazione d'uso considerata, è stato possibile risalire alla quantità di acqua dispersa da rete idrica (I_3) a partire dai consumi idrici globali del distretto, per edifici:

- residenziali: $I_3 = 31\,199 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 76.3% rispetto alla quantità dispersa allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $I_3 = 447 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 94% rispetto alla quantità dispersa allo stato di fatto);
- commerciali: $I_3 = 1\,376 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'89.2% rispetto alla quantità dispersa allo stato di fatto);
- ricettivi: $I_3 = 365 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'83.8% rispetto alla quantità dispersa allo stato di fatto);
- scolastici: $I_3 = 1\,543 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 91.1% rispetto alla quantità dispersa allo stato di fatto);
- ristoranti: $I_3 = 244 \text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 90.0% rispetto alla quantità dispersa allo stato di fatto);

di cui la quantità di I_3 per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a 3 975 m³/anno che, sommata alla quantità I_3 per edifici a destinazione d'uso residenziale, determina un totale di 35 175 m³/anno con una riduzione dell'81.8% rispetto alla quantità di ac-

qua dispersa da rete di distribuzione idrica allo stato di fatto.

7.6.1.7 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano

Il calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano, alla luce della combinazione degli interventi delineati nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, ed effettuato a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.7, attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "Fidrico_distretto urbano" considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso analizzate, ha determinato le quantità (F_{idr_gl}), per edifici:

- residenziali: $F_{idr_gl} = 75\,523\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'83.6% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $F_{idr_gl} = 3\,413\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'86.9% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- commerciali: $F_{idr_gl} = 10\,192\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 77.2% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ricettivi: $F_{idr_gl} = 2\,705\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 65.6% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- scolastici: $F_{idr_gl} = 11\,428\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'81.2% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ristoranti: $F_{idr_gl} = 1\,805\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'78.9% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);

di cui la quantità di F_{idr_gl} per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $29\,543\text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità F_{idr_gl} per edifici a destinazione d'uso residenziale, porta ad un totale di $105\,066\text{ m}^3/\text{anno}$ con una riduzione dell'82.0% rispetto al fabbisogno idrico globale del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto.

Inoltre la ripartizione del dato del fabbisogno idrico globale del Quartiere, in rapporto al numero di abitanti e di utenti finali ha portato alla determinazione di un consumo pro capite al giorno pari a 40 l/gg/ab che, rispetto allo stato di fatto, porta ad una riduzione del consumo pro capite di oltre l'80%, dato che, se realmente raggiunto e diffuso mediamente a livello nazionale, farebbe attestare l'Italia tra i paesi meno idrovori a livello europeo rispetto alle statistiche internazionali del *Water Regulator europeo* (WAREG, 2021).

Andando, dunque, a sintetizzare quanto ottenuto dal calcolo delle varie componenti del fabbisogno idrico del Distretto Urbano, per ciascuna destinazione d'uso, la situazione del Quartiere INCIS-Decima, a seguito degli interventi previsti nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation* corrisponde a quanto riportato in [tabella 7.17](#) di seguito.

tabella 7.17

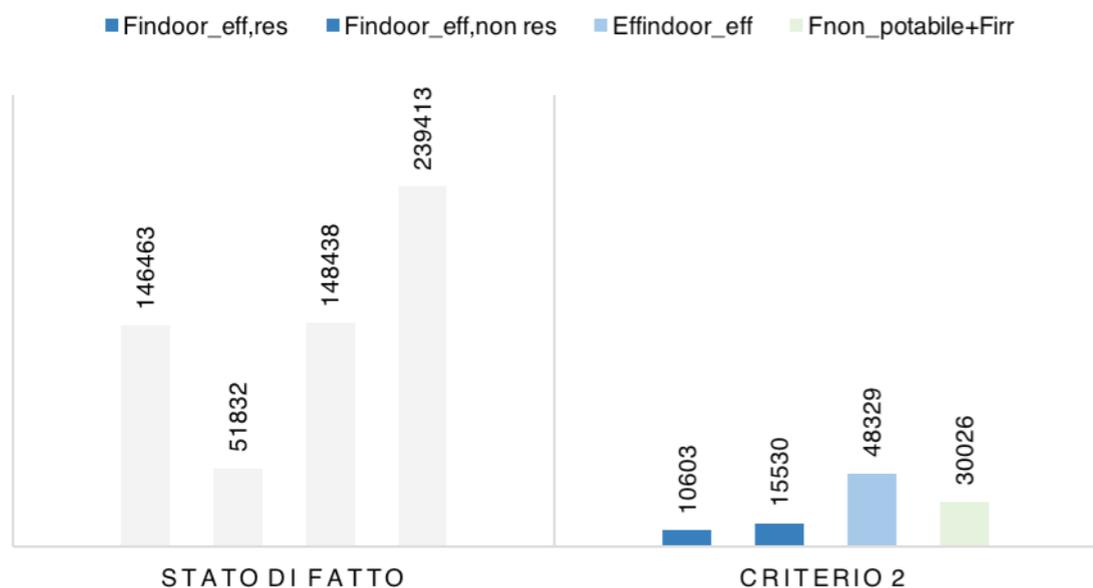
Consumi idrici	n. edif.	n. utenti	S_{utile} [m ²]	Volume [m ³]	F_{indoor_eff} [m ³ /anno]	Eff_{indoor_eff} [m ³ /anno]	$F_{non\ potabile+F_{irr}}$ [m ³ /anno]	F_{idr_gl} [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	30	3 680	54 528	163 584	10 603	37 476	27 423	75 523	31 199
uffici	1	653	6 530	19 590	919	1 445	494	3 413	447
commerciale	2	1 054	7 376	22 128	5 667	3 561	964	10 192	1 376
ricettivi	1	276	6 072	18 216	2 122	241	341	2 705	365
scolastici	3	1 368	10 940	32 820	5 515	5 274	639	11 428	1 543
ristorante	1	295	1 196	3 588	1 307	332	165	1 805	244
Totale	38	7 326	86 642	259 926	26 133	48 329	30 026	105 066	35 174

Dalla figura 7.13, nella pagina seguente, si può notare, inoltre, il confronto quantitativo dei consumi idrici globali effettivi dello Scenario 2 rispetto a quelli della situazione attuale del Quartiere INCIS-Decima. Rispetto alla totalità del fabbisogno idrico globale, il fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale (prima colonna blu dello Scenario 2) costituisce il 15%, il fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale (seconda colonna blu dello Scenario 2) costituisce l'11%, la quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario a livello distrettuale (colonna azzurra dello Scenario 2) costituisce una percentuale del 46% e l'acqua per usi non potabili e per irrigazione (colonna verde dello Scenario 2) costituisce una percentuale del 28%.

Didascalie alle immagini.
tab. 7.17. Tabella dei consumi idrici [m³/anno] del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 2);

7.13

FABBISOGNO IDRICO EFFETTIVO



7.6.1.8 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

Seguendo l'iter metodologico usato per lo stato di fatto e per lo Scenario 1, dopo aver terminato la fase di calcolo dei consumi idrici alla luce della combinazione degli interventi delineati nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, sono stati analizzati i consumi energetici, ovvero la quantità di energia elettrica necessaria a coprire il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano.

Anche in questo caso l'Indice di Conversione nazionale ($IdC = k_4$), è rimasto invariato rispetto a quello determinato nel paragrafo 7.3.1.8, pari a 0.288 kWh/m³.

La moltiplicazione del dato legato al fabbisogno idrico globale del Quartiere per l'Indice di Conversione nazionale ha permesso di determinare, a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.2.8 con la formula (9), attraverso il tool di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "F.energetico_distretto urbano", considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso analiz-

zate, i consumi energetici necessari alla copertura del fabbisogno idrico del Distretto Urbano ($Q_{en,el,idr}$), pari a 25 014 kWh/anno per edifici a destinazione d'uso non residenziale e a 9 751 kWh/anno per edifici a destinazione d'uso residenziale.

Quote che, sommate tra loro, portano ad un totale di energia elettrica necessaria a coprire il fabbisogno idrico del quartiere di 34 765 kWh/anno, pari a 16.4 kWh/anno per abitante.

Dato che, nonostante risulti più basso rispetto a quello delineato nello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation*, cela in sé un aumento proporzionale dei livelli di consumi elettrici legati alle risorse idriche del 15% che riflette l'inserimento di soluzioni impiantistiche volte da una parte alla circolarità della risorsa naturale e quindi ai sistemi di filtrazione dell'acqua, pompaggio e reimmissione in rete che richiedono un maggiore apporto energetico, dall'altra ai dispositivi di monitoraggio e gestione *smart* dei consumi e delle perdite idriche.

7.6.2 Analisi delle emissioni di CO₂ legate alle risorse idriche nel Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*

Al termine delle analisi dei consumi idrici ed energetici, la fase successiva ha previsto l'analisi delle emissioni di CO₂ in atmosfera di cui sarebbe responsabile il Quartiere INCIS-Decima a seguito degli interventi dello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*.

7.6.2.1 Calcolo della quantità di CO₂ emessa dal segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale

A partire dalla determinazione dell'Indice Quantitativo k_6 , ovvero la quantità unitaria di CO₂ rilasciata in atmosfera relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto, definita e individuata nel paragrafo 7.3.2.1, pari a 1.859 kgCO₂eq*m³/anno, si è proceduto con la quantificazione delle emissioni di CO₂ relative al fabbisogno idrico del Distretto Urbano annuo ($CO_{2,idr,gl}$).

Tale quantità è suddivisa per tipologia di edificio:

- residenziali: $CO_{2,idr,gl} = 140.4 \text{ tCO}_2\text{eq}\cdot\text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'82.8% rispetto alle emissioni di CO₂ relative al fabbisogno idri-

Didascalie alle immagini.

7.13. Grafico che ripartisce il fabbisogno idrico effettivo globale del quartiere INCIS-Decima, alla luce degli interventi di *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 2), a confronto con la situazione attuale (colonne grigie);

- co globale allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $CO_{2_idr_gl} = 5.3 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'88.9% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
 - commerciali: $CO_{2_idr_gl} = 18.9 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 77.2% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
 - ricettivi: $CO_{2_idr_gl} = 5.0 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 64.8% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
 - scolastici: $CO_{2_idr_gl} = 21.2 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'81.2% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
 - ristoranti: $CO_{2_idr_gl} = 3.4 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 78.6% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);

di cui la quantità di $CO_{2_idr_gl}$ per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $53.8 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità $CO_{2_idr_gl}$ per edifici a destinazione d'uso residenziale, dà un totale di $194.2 \text{ tCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3/\text{anno}$, con una riduzione dell'82.2% rispetto alle emissioni di CO_2 relative al fabbisogno idrico globale del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto.

Inoltre la ripartizione del dato delle emissioni di CO_2 del quartiere, in rapporto al numero di abitanti e di utenti finali ha portato alla determinazione di un quantitativo di emissioni di CO_2 pro capite pari a $7.5 \text{ kgCO}_2\text{eq} \cdot \text{m}^3$ di acqua.

Oltre al calcolo delle emissioni di CO_2 a livello globale sono state considerate anche tutte le porzioni di emissioni legate alle varie quote di quantità di acqua potabile precedentemente calcolate, che, a partire dai consumi idrici, possono essere sintetizzate secondo quanto riportato nella [tabella 7.18](#) nella pagina accanto.

Dalla figura [7.14](#) si può, invece, notare il confronto quantitativo dei consumi idrici globali effettivi e delle emissioni di CO_2 ad essi correlate dello Scenario 2 rispetto a quelli della situazione attuale del Quartiere INCIS-Decima. Nella quale, rispetto alla totalità del fabbisogno idrico globale, le emissioni di CO_2 legate al fabbisogno idrico potabile per usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale (prima colonna blu dello Scenario 2) costituiscono il 23%, le emissioni di CO_2 legate al fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor*

per edifici a destinazione d'uso non residenziale (seconda colonna blu dello Scenario 2) costituiscono l'8%, le emissioni di CO_2 legate alla quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario a livello distrettuale (colonna azzurra dello Scenario 2) costituiscono una percentuale del 23% e emissioni di CO_2 legate dall'acqua per usi non potabili e per irrigazione (colonna verde dello Scenario 2) costituiscono una percentuale del 46%.

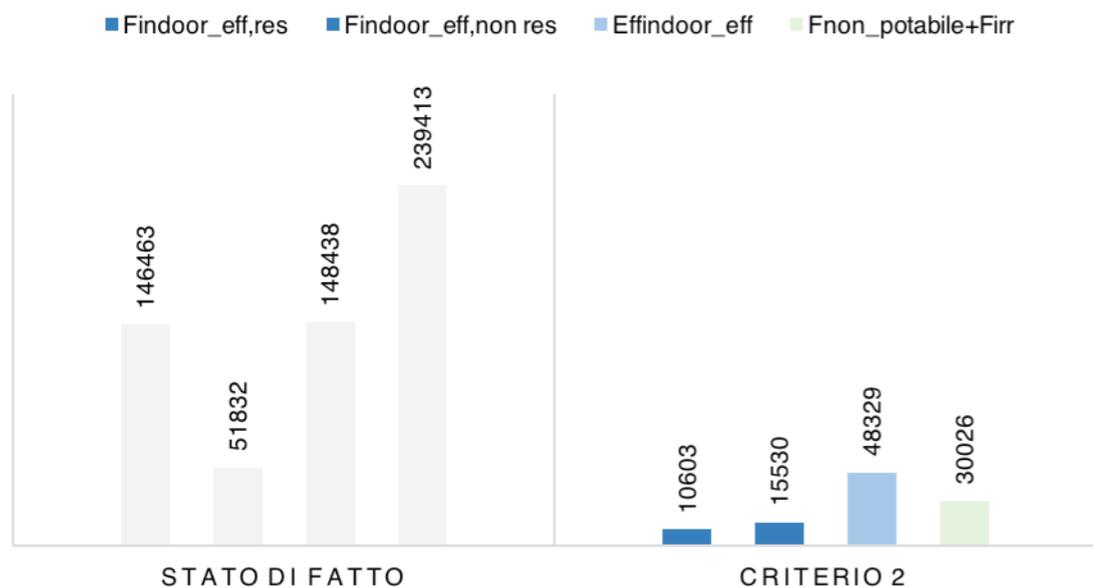
tabella 7.18

Consumi idrici	n. edif.	n. utenti	S _{utile} [m ²]	Volume [m ³]	F _{indoor_eff} [m ³ /anno]	Eff _{indoor_eff} [m ³ /anno]	F _{non potabile+F_{irr}} [m ³ /anno]	F _{idr_gl} [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	30	3 680	54 528	163 584	10 603	37 476	27 423	75 523	31 199
uffici	1	653	6 530	19 590	919	1 445	494	3 413	447
commerciale	2	1 054	7 376	22 128	5 667	3 561	964	10 192	1 376
ricettivi	1	276	6 072	18 216	2 122	241	341	2 705	365
scolastici	3	1 368	10 940	32 820	5 515	5 274	639	11 428	1 543
ristorante	1	295	1 196	3 588	1 307	332	165	1 805	244
Totale	38	7 326	86 642	259 926	26 133	48 329	30 026	105 066	35 174
Emissioni di CO₂ correlate					CO_{2_ind_eff} [tCO ₂ eq·m ³ /anno]	CO_{2_ind_effl} [tCO ₂ eq·m ³ /anno]	CO_{2_non potabile+irr} [tCO ₂ eq·m ³ /anno]	CO_{2_idr_gl} [tCO ₂ eq·m ³ /anno]	CO_{2_perdite} [tCO ₂ eq·m ³ /anno]
residenziale					19.7	69.7	51.0	140.4	18.9
uffici					1.7	2.7	0.9	5.3	0.8
commerciale					10.5	6.6	1.8	18.9	2.6
ricettivi					3.9	0.4	0.6	5.0	0.7
scolastici					10.3	9.8	1.2	21.2	2.9
ristorante					2.4	0.6	0.3	3.4	0.5
Totale					48.5	89.8	55.8	194.2	26.4

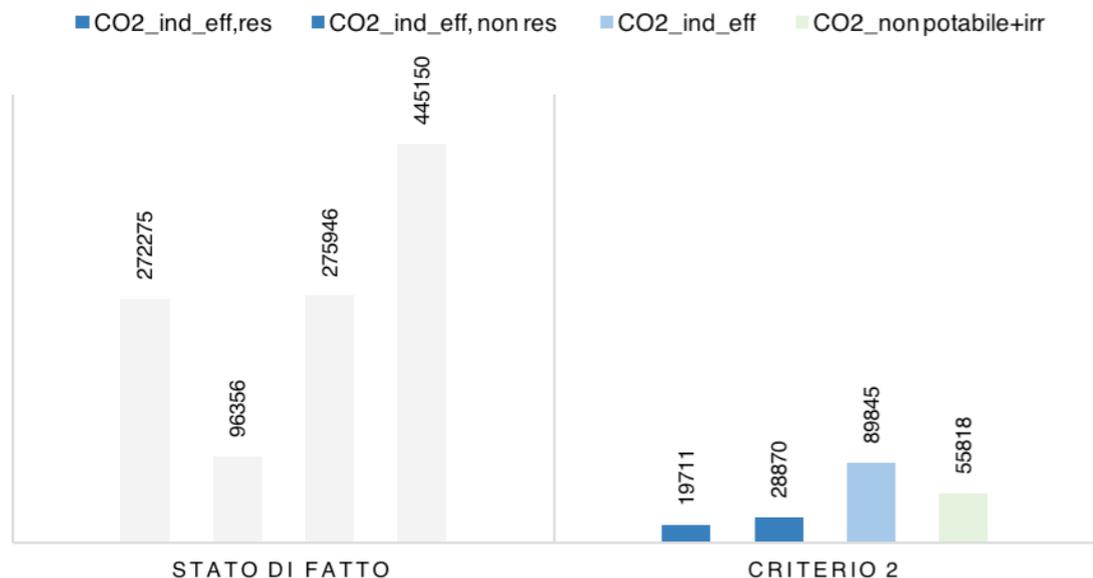
Didascalie alle immagini, nella pagina accanto - [tab. 7.18](#). Tabella dei consumi idrici [m³/anno] e delle emissioni di CO₂eq [tCO₂eq·m³/anno] correlate, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 2); nella pagina seguente - [7.14](#). Grafico che, a partire dalla ripartizione del fabbisogno idrico effettivo globale (in alto), ripartisce le emissioni di CO₂ (in basso), del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 2), a confronto con la situazione attuale (colonne grigie);

7.14

FABBISOGNO IDRICO EFFETTIVO



EMISSIONI DI CO2



7.6.2.2 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

Al pari delle analisi già svolte negli scenari precedenti, le emissioni di CO₂ sono state calcolate anche nella misura legata alla produzione di energia elettrica per soddisfare il fabbisogno idrico all'interno del Distretto Urbano per quantificare il legame tra consumi idrici ed elettrici alla luce degli interventi previsti nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*.

Per lo svolgimento di tale calcolo si è fatto riferimento, anche in questo caso, all'Indice Quantitativo k₇, determinato a partire dalla quantificazione delle emissioni di CO₂ annue rilasciate in atmosfera in funzione della produzione di energia elettrica relativa alla fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto, secondo quanto esposto nel paragrafo 7.3.2.2, pari a 0.524 kgCO₂eq/kWh.

Determinato il parametro quantitativo k₇ a partire dall'applicazione del metodo di calcolo esposto nel paragrafo 7.1.3.2 con la formula (15), attraverso il *tool* di calcolo elaborato su Excel nel foglio di calcolo "Emissioni_distretto urbano" considerando il contributo di tutte le destinazioni d'uso, sono state quantificate le emissioni di CO₂ relative alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano annuo (CO₂en,el_idr) pari un totale di 182.2 tCO₂eq*m³/anno, corrispondenti all'93.8% delle emissioni di CO₂ relative al fabbisogno idrico urbano globale. Questo aumento, in proporzione percentuale, delle emissioni di CO₂ rispetto allo stato di fatto e allo scenario precedente, si giustifica con l'impiego, in questo caso, degli impianti di raccolta e stoccaggio delle acque che necessitano l'uso di dispositivi impiantistici attivi (sistemi di pompaggio e filtrazione dell'acqua) che comportano un aumento proporzionale dei consumi elettrici a livello distrettuale.

7.6.2.3 Calcolo della quantità di CO₂ risparmiata

La riduzione nei consumi idrici e il re-impiego delle acque previsti alla luce degli interventi di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, come analizzato nei paragrafi precedenti, combinati insieme comportano una riduzione nei consumi energetici e nelle emissioni ad essi correlate.

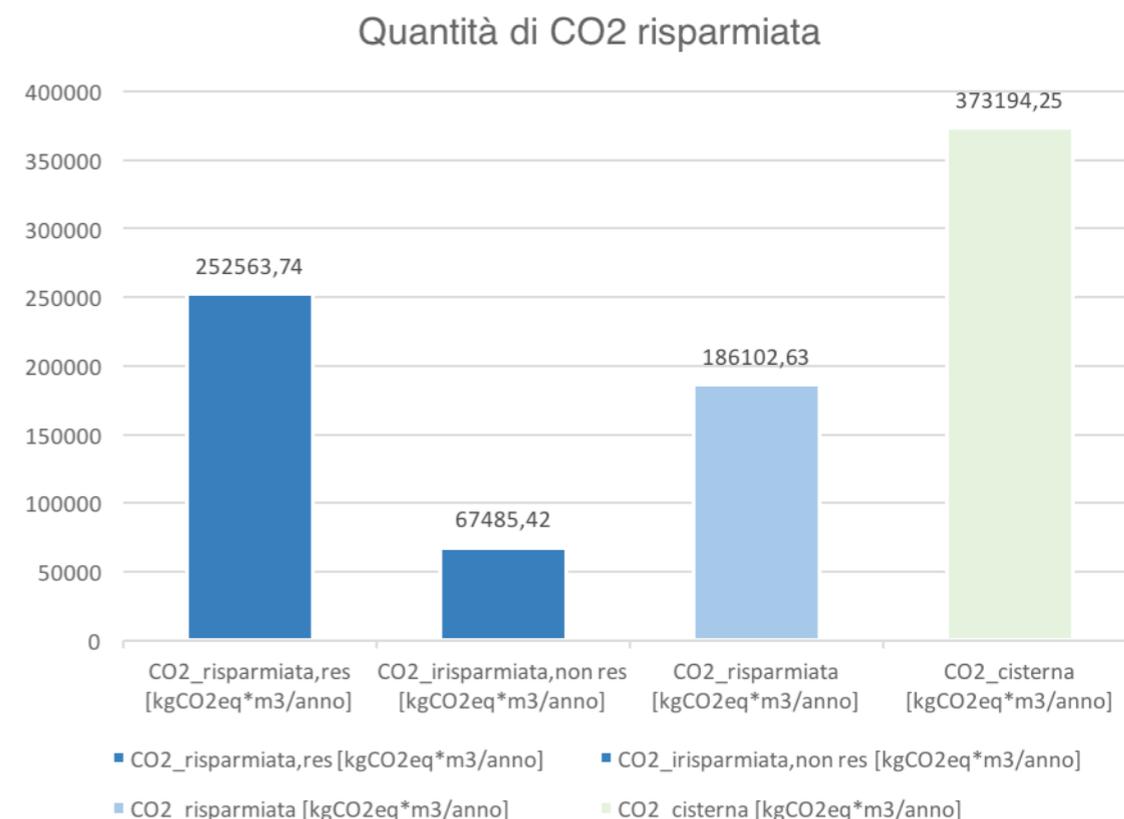
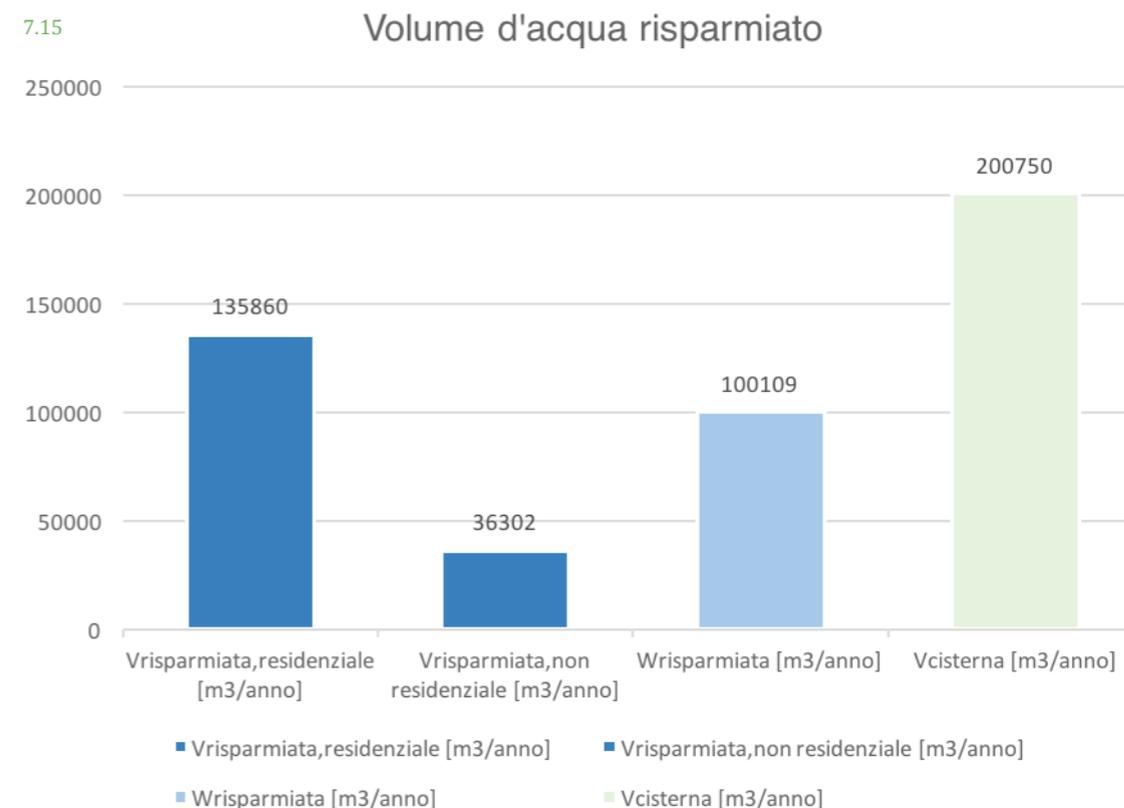
L'effettiva quantificazione della riduzione ottenuta nello Scenario 2

Didascalie alle immagini.
nelle pagine seguenti -
tab. 7.19. Tabella delle riduzioni dei consumi idrici [m³/anno] e delle emissioni di CO₂eq [tCO₂eq*m³/anno] correlate, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 2);
7.15. Grafico che, a partire dalla ripartizione del volume idrico risparmiato (in alto), ripartisce le emissioni di CO₂ (in basso) risparmiate, ovvero non emesse, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 2);

viene restituita numericamente nella [tabella 7.19](#) di seguito, e graficamente, per mezzo di un grafico a colonne raggruppate, nella [figura 7.15](#) nella pagina accanto.

tabella 7.19

Riduzione dei Consumi idrici	$F_{\text{indoor_eff}}$ [m ³ /anno]	$Eff_{\text{indoor_eff}}$ [m ³ /anno]	$F_{\text{non potabile}}+F_{\text{irr}}$ [m ³ /anno]	$F_{\text{idr_gl}}$ [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	-135 860	-72 339	-155 362	-383 946	-100 209
uffici	-8 062	-5 249	-9 569	-22 689	-6 990
commerciale	-10 083	-8 265	-16 063	-34 488	-11 403
ricettivi	-476	-1 711	-2 761	-853	-1 882
scolastici	-16 088	-10 524	-22 501	-49 412	-15 857
ristorante	-1 593	-2 021	-3 131	-6 753	-2 204
Totale	-172 162	-100 109	-209 387	-498 141	-138 545
Totale in %	-86.8	-70.5	-87.5	-82.0	-81.8
Riduzione de Emissioni di CO ₂ correlate	$CO_{2_ind_eff}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	$CO_{2_ind_effl}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	$CO_{2_non potabile+irr}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	$CO_{2_idr_gl}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	$CO_{2_perdite}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]
residenziale	-252.6	-134.4	-288.8	-675.8	-225.4
uffici	-15.0	-9.7	-17.8	-42.5	-13.0
commerciale	-18.8	-15.4	-29.9	-64.1	-21.2
ricettivi	-0.9	-3.2	-5.2	-9.2	-3.5
scolastici	-29.9	-19.6	-41.8	-91.4	-29.4
ristorante	-3.0	-3.8	-5.8	-12.5	-4.1
Totale	-320.2	-186.1	-389.3	-895.5	-296.6
Totale in %	-86.8	-70.5	-87.5	-82.2	-81.8



7.6.3 Analisi economica degli interventi di Medium Energy-Zero Emission Renovation

L'analisi dei costi di intervento per gli Scenari previsti fa riferimento al Prezzario della Regione Lazio aggiornato al 2022.

Nel caso di voci non presenti sono stati consultati anche altri elenchi regionali e/o comunali, aggiornati e legalmente in corso di validità.

Per le voci mancanti in ogni prezzario consultato si è fatto ricorso all'analisi dei prezzi aggiunti emersi dalla consultazione di preventivi di aziende di fornitura e produzione dei dispositivi tecnologici e impiantistici previsti da progetto.

In particolare, si rileva che per l'analisi soluzioni impiantistiche previste nel presente Scenario, volte all'accumulo e al riuso della risorsa idrica (meteorica, grigia e di condensa), così come per la stima dei costi di realizzazione delle opere di drenaggio urbano sostenibile non si è potuto fare riferimento al Prezzario regionale, poiché il documento della Regione Lazio non contiene sezioni volte al risparmio idrico né sistemi di recupero e trattamento acque per irrigazione e WC.

Per l'analisi dei costi relativi alle tecniche di drenaggio urbano sostenibile e alle *green blue infrastructures* è stato riferimento ai costi medi al metro quadro per gli interventi di ritenzione naturale delle acque (BEWARE, 2022).

Nella scelta delle aziende di fornitura sono state predilette ditte locali, o comunque fornitori il più possibile vicini al Quartiere INCIS-Decima; questa scelta deriva dalla volontà di contenere ulteriormente le emissioni di gas serra generate dal trasporto dei materiali e dei prodotti considerati, sebbene non siano contemplate nella presente Trattazione, nell'ottica più ampia dell'obiettivo di Decarbonizzazione del Distretto Urbano.

I prezzi indicati nella **tabella 7.20**, nella pagina accanto, si considerano come costi unitari a carattere indicativo e non esaustivo delle voci necessarie per la realizzazione di un computo metrico estimativo.

Infine, nella presente stima non sono stati inseriti i costi di manutenzione, da intendersi con interventi necessari con cadenza annuale o con cadenza decennale, a seconda della lavorazione considerata.

Didascalie alle immagini, nella pagina accanto e nelle pagine seguenti - **tab. 7.20**. Tabella dei costi unitari per gli interventi di *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 2) previsti nel Quartiere INCIS-Decima ;

tabella 7.20

Soluzione tecnologica e impiantistica	Volume [m ³]	Quantità	U.M.	Prezzo [€]
Fornitura e posa in opera di serbatoio di accumulo in polietilene lineare ad alta densità idoneo per liquidi (si considera acqua piovana) e specifico per l'interro. Reso in opera compreso di scavo, allettamento con sabbia, ancoraggio, rinterro e trasporto in discarica della terra di risulta.	15	1	cad.	8 681.4
Filtro per acqua piovana da installare in condotte di scolo all'aperto. In polietilene, maglia filtrante 0,2mm, per superfici di raccolta acqua piovana fino a 300m ²	-	1	cad.	343.4
Filtro per acqua piovana da interrare, con chiusino di compensazione continua altezza e livello e piastra di copertura. In polietilene, maglia filtrante 0,2mm, per superfici di raccolta acqua piovana fino a 300m ²	-	1	cad.	428.9
Unità di pompaggio con pompa centrifuga e centralina di comando, alimentazione integrativa automatica ad acqua potabile, raccordo troppo pieno con chiusino, pressostato, manometro e protezione contro il funzionamento a secco. Completa di materiale di fissaggio e di raccordo	-	1	cad.	1 764.5
Fornitura e posa in opera di serbatoio di accumulo in polietilene lineare ad alta densità idoneo per liquidi (si considerano acque grigie) e specifico per l'interro. Reso in opera compreso di scavo, allettamento con sabbia, ancoraggio, rinterro e trasporto in discarica della terra di risulta; completa di impianto automatico per il trattamento delle acque grigie	1.5	1	cad.	1 252.5
Impianto automatico per uso irriguo e indoor (solo WC) delle acque grigie	1.5	1	cad.	11 950.0
Fornitura e posa in opera di serbatoio di accumulo in polietilene lineare ad alta densità idoneo per liquidi (si considerano acque di condensa da impianti di climatizzazione) e specifico per l'interro. Reso in opera compreso di scavo, allettamento con sabbia, ancoraggio, rinterro e trasporto in discarica della terra di risulta; completa di impianto automatico per il trattamento delle acque di condensa	0.25	1	cad.	208.8

Impianto automatico per uso irriguo e indoor (solo WC) delle acque di condensa	0.25	1	cad.	1 991.7	con ottime rimozioni dei principali inquinanti veicolati dalle acque di pioggia di dilavamento: SST:>90%, P tot >80%, N tot 50%, Metalli (zinco, piombo, cadmio) >90%. Previsto strato di geotessuto e pietrisco di separazione	-	1	mq	184.0
Fornitura e posa in opera di pavimentazione drenante in massetto di calcestruzzo autobloccante di spessore 90-100mm; posato su adeguato sottofondo compensato a parte, comprensivo del riempimento con ghiaietto lavato 2-4mm. Compreso l'onere delle interruzioni attorno ai chiusini	-	1	mq	95.0	Realizzazione di <i>bioswales</i> attraverso la conversione di marciapiedi già esistenti progettate per ricevere l'acqua di ruscellamento senza collegamento alla condotta fognaria, ma per mezzo di apposite aperture posizionate lungo i cordoli stradali (minimo 500 mm). In prossimità di tali aperture sono previsti adeguati sistemi di dissipazione di energia in blocchi di pietra per limitare il rischio di erosione. Prima dell'immissione nell'area di bioritenzione è prevista una trappola per sedimenti	-	1	mq	148.3
Formazione di tetto verde realizzato con il sistema completo per tetti verdi di tipo estensivo, secondo le disposizioni e specifiche contenute nella norma UNI 11235; con caratteristiche stratigrafiche: strato drenante e riserva idrica, in lastre di polietilene o in elementi di schiuma di polietilene dallo spessore da 25 a 40 mm, strato di separazione/filtro costituito da tessuto non tessuto, in grado di garantire passaggio all'acqua 0,1 cm/sec. - strato di coltivo adatto alla costruzione dei tetti verdi, conforme alla norma UNI 11235, per uno spessore medio compattato di 10 cm costituito da miscuglio di torba bionda, lapillo vulcanico, sostanza organica umidificata, fibre vegetali e concime complesso. Il substrato dovrà essere esente da infestanti con PH neutro o subacido; Porosità totale > 60%, Capacità di ritenzione idrica > 35% vol.	-	1	mq	105.0					
Formazione di tetto verde realizzato con il sistema completo per tetto verdi di tipo intensivo, secondo le disposizioni e specifiche contenute nella norma UNI 11235; con caratteristiche stratigrafiche: strato drenante e riserva idrica, in lastre di polietilene o in elementi di schiuma di polietilene dallo spessore compreso tra i 40mm e i 60mm; - strato di separazione/filtro costituito da tessuto non tessuto, in grado di garantire il passaggio all'acqua 0,1 cm/sec; - strato di drenaggio e compensazione idrica in materiale naturale per uno spessore di 10cm; strato di separazione/filtro costituito da tessuto in grado di garantire il passaggio all'acqua 0,1 cm/sec; strato di coltivo adatto alla costruzione di tetti verdi, conforme alla norma UNI 11235, per uno spessore medio compattato di 25cm costituito da miscuglio di torba bionda, sostanza organica umidificata, fibre vegetali e concime complesso. Il substrato dovrà essere esente da infestanti con PH neutro o subacido; Porosità totale > 60%, Capacità di ritenzione idrica > 35% vol.	-	1	mq	215.0					
Realizzazione di <i>raingardens</i> attraverso la conversione di aiuole già esistenti mediante l'inserimento di uno strato di un filtraggio e uno di depurazione del tutto naturale dell'acqua raccolta									
Totale									27 368.5
<p>Per raggiungere una analisi globale del costo dello Scenario 2 di <i>Medium Energy-Zero Emission Renovation</i>, ed avere un quadro più oggettivo, devono essere sommati alla presente tabella anche i costi relativi allo Scenario 1.</p> <p>Tuttavia, in questa sede, avendo deciso di riportare solo i costi in forma unitaria (al pezzo o al metro quadro a seconda della lavorazione), non si procede con tale somma perché non si ritiene efficace il risultato potenzialmente ottenibile.</p> <p>7.6.2.4 Discussione dei risultati ottenuti e considerazioni sulle condizioni del Distretto Urbano a seguito degli interventi di <i>Medium Energy-Zero Emission Renovation</i></p> <p>Con gli interventi di riqualificazione previsti nello Scenario 2 di <i>Medium Energy-Zero Emission Renovation</i> sono stati raggiunti risultati considerevoli in termini di riduzione del fabbisogno idrico globale e pro capite, di riduzione delle perdite (già ottenuta grazie agli interventi previsti nello Scenario 1B), di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ correlate.</p> <p>In particolare i consumi di acqua potabile pro capite al giorno sono stati ridotti a 40 litri, ovvero una riduzione percentuale dell'80% rispetto ai consumi del precedente Scenario 1 e dell'83% rispetto allo stato di fatto.</p> <p>Questa riduzione così elevata in percentuale rispetto alla situazione</p>									

attuale non sarebbe mai stata raggiungibile in un quartiere come quello di INCIS-Decima, se non grazie alla realizzazione di soluzioni tecnologiche e impiantistiche volte all'accumulo, allo stoccaggio e al riuso delle componenti idriche reflue meteoriche, di scarico di lavabi, docce e vasche e di condensa degli impianti di climatizzazione: tutte componenti preziose della risorsa idrica che nello Scenario precedente venivano immesse nel sistema fognario distrettuale e che invece, in questo quadro di interventi progettuali, vengono rimesse in circolo a copertura della porzione del fabbisogno *indoor* che non richieda l'impiego di acqua potabile, oltre che per l'uso irriguo.

L'uso circolare della risorsa idrica mediante il riuso delle acque reflue contribuisce da una parte ad una riduzione dei volumi estratti dalle sorgenti acquifere, che sebbene in Italia non siano ad alto rischio, comunque, nel prossimo futuro, saranno protagoniste di un pericoloso assottigliamento a livello globale, mentre dall'altra contribuisce ad una riduzione dello sversamento irresponsabile e immotivato delle acque di possibile "secondo uso" nei sistemi fognari urbani, creandone un ulteriore sovraccarico.

Complici di questo risultato di riduzione nei consumi e nei prelievi di acqua potabile sono anche gli interventi a livello distrettuale, volti all'aumento delle superfici permeabili nelle aree pedonali e di parcheggio nel Quartiere, oltre che sulle coperture degli edifici, e al drenaggio urbano sostenibile e alle *green blue infrastructures* che concorrono insieme ad un ulteriore accumulo delle acque meteoriche per l'irrigazione delle aree verdi pubbliche, ad una depurazione e ad una infiltrazione naturale nel terreno, limitando i livelli di dilavamento superficiale, gli episodi di inondazioni e allagamenti in caso di eventi meteo-climatici estremi e favorendo il comportamento "sponge" da parte del Quartiere romano.

Questo insieme di interventi delineati nel Secondo Scenario di riqualificazione risponde, in maniera concreta, al miglioramento del processo di circolarità della risorsa idrica a livello di Quartiere e, a fronte di un costo mediamente ingente, concorre alla definizione dell'insieme di strategie connesse alla *green economy* per affrontare quello che è il tema centrale della Ricerca di Dottorato, la mitigazione delle cause del cambiamento climatico.

7.7 Applicazione del metodo allo Scenario 3: *Deep Energy-Zero Emission Renovation* nel Quartiere INCIS-Decima

Nella determinazione dello Scenario 3 *Deep Energy-Zero Emission Renovation* si vanno ad aggiungere, rispetto agli interventi previsti nello Scenario 1 e nello Scenario 2 soluzioni progettuali volte all'efficientamento energetico degli impianti, tramite la modifica della fonte di produzione di energia elettrica da non rinnovabile a completamente rinnovabile.

Come precedentemente anticipato l'impianto scelto alla luce delle analisi ambientali svolte sul Quartiere INCIS-Decima hanno portato alla determinazione della scelta di un impianto solare fotovoltaico, dimensionato in funzione della copertura totale dei consumi elettrici legati al fabbisogno idrico distrettuale, questo vuol dire andare a coprire circa il 5% del fabbisogno energetico globale del Quartiere.

Una porzione piccola, ma pur sempre significativa, che ha una risonanza rilevante se analizzata in termini di riduzione delle emissioni di CO₂ e quindi di porzione che concorre all'obiettivo cardine di Decarbonizzazione del Distretto Urbano su cui si interviene.

7.7.1 Analisi del fabbisogno idrico del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*

Anche in questo caso, come negli Scenari precedenti, la prima fase di analisi ha riguardato i consumi idrici e dunque il fabbisogno idrico del Quartiere INCIS-Decima, alla luce degli interventi previsti nello Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*.

Tuttavia essendo questo uno Scenario nel quale si va ad intervenire soltanto dal punto di vista energetico, per quanto riguarda i consumi idrici nella loro quantificazione puntuale per tipologia di fabbisogno e destinazione d'uso, per non appesantire la Trattazione di dati già calcolati, analizzati e restituiti, si rimanda a quanto presentato nel paragrafo 7.6.1.

7.7.1.1 Calcolo del fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano

Tuttavia, per completezza di restituzione dei risultati ottenuti si riporta qui quanto emerso dal calcolo del fabbisogno idrico globale del precedente Scenario, svolto nel paragrafo 7.6.1.7.

Le quantità di acqua (F_{idr_gl}) per le varie destinazioni d'uso sono così suddivise.

Per edifici:

- residenziali: $F_{idr_gl} = 75\,523\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'83.6% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ad uso ufficio: $F_{idr_gl} = 3\,413\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'86.9% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- commerciali: $F_{idr_gl} = 10\,192\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 77.2% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ricettivi: $F_{idr_gl} = 2\,705\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione del 65.6% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- scolastici: $F_{idr_gl} = 11\,428\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'81.2% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);
- ristoranti: $F_{idr_gl} = 1\,805\text{ m}^3/\text{anno}$ (riduzione dell'78.9% rispetto al fabbisogno idrico globale allo stato di fatto);

di cui la quantità di F_{idr_gl} per edifici a destinazione d'uso non residenziale è pari a $29\,543\text{ m}^3/\text{anno}$ che, sommata alla quantità F_{idr_gl} per edifici a destinazione d'uso residenziale, porta ad un totale di $105\,066\text{ m}^3/\text{anno}$ con una riduzione dell'82.0% rispetto al fabbisogno idrico globale del Quartiere INCIS-Decima allo stato di fatto ed un consumo pro capite al giorno pari a 40 l/gg/ab.

Andando, dunque, a sintetizzare quanto ottenuto dal calcolo delle varie componenti del fabbisogno idrico del Distretto Urbano, per ciascuna destinazione d'uso, la situazione del Quartiere INCIS-Decima, a seguito degli interventi previsti nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, esattamente coincidente con il presente Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, corrisponde a quanto riportato in [tabella 7.21](#) nella pagina accanto.

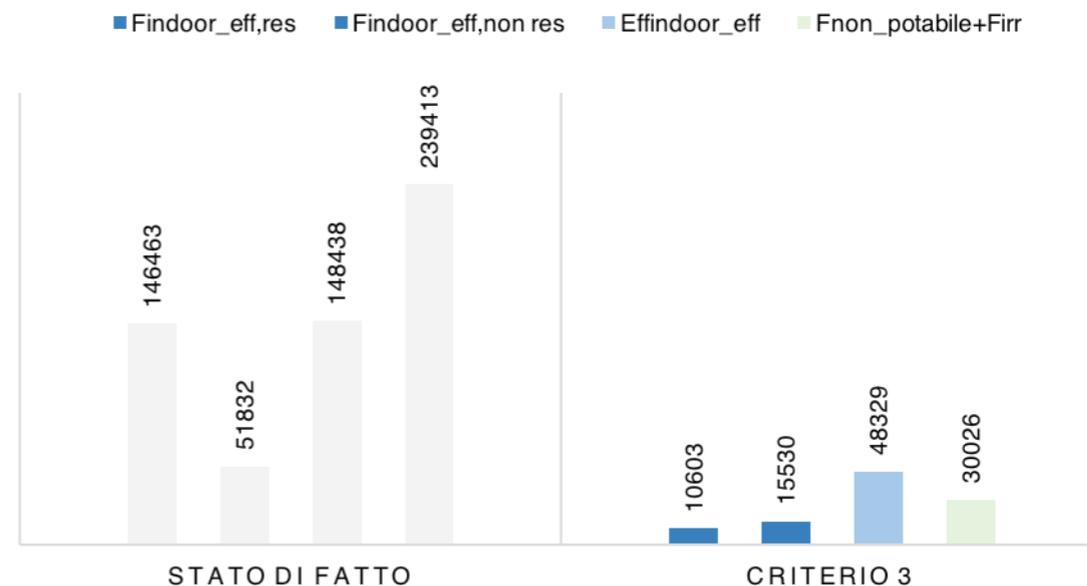
Dalla figura 7.16 si può, invece, notare il confronto quantitativo dei consumi idrici globali effettivi dello Scenario 3 rispetto a quelli della situazione attuale del Quartiere INCIS-Decima. Nella quale, rispetto alla totalità del fabbisogno idrico globale, il fabbisogno idrico pota-

tabella 7.21

Consumi idrici	n. edif.	n. utenti	S _{utile} [m ²]	Volume [m ³]	F _{indoor_eff} [m ³ /anno]	Eff _{indoor_eff} [m ³ /anno]	F _{non potabile+F_{irr}} [m ³ /anno]	F _{idr_gl} [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	30	3 680	54 528	163 584	10 603	37 476	27 423	75 523	31 199
uffici	1	653	6 530	19 590	919	1 445	494	3 413	447
commerciale	2	1 054	7 376	22 128	5 667	3 561	964	10 192	1 376
ricettivi	1	276	6 072	18 216	2 122	241	341	2 705	365
scolastici	3	1 368	10 940	32 820	5 515	5 274	639	11 428	1 543
ristorante	1	295	1 196	3 588	1 307	332	165	1 805	244
Totale	38	7 326	86 642	259 926	26 133	48 329	30 026	105 066	35 174

7.16

FABBISOGNO IDRICO EFFETTIVO



Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -

[tab. 7.21](#). Tabella dei consumi idrici [m³/anno] del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 3);

7.16. Grafico che ripartisce il fabbisogno idrico effettivo globale del quartiere INCIS-Decima, alla luce degli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 3), a confronto con la situazione attuale (colonne grigie);

bile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale (prima colonna blu dello Scenario 3) costituisce il 15%, il fabbisogno idrico potabile legato ad usi *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale (seconda colonna blu dello Scenario 3) costituisce l'11%, la quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario a livello distrettuale (colonna azzurra dello Scenario 3) costituisce una percentuale del 46% e l'acqua per usi non potabili e per irrigazione (colonna verde dello Scenario 3) costituisce una percentuale del 28%.

7.7.1.2 Calcolo della quantità di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

Seguendo l'iter metodologico usato per gli Scenari precedenti ed essendo rimasti invariati i consumi idrici, anche i consumi energetici nello Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation* rimangono invariati rispetto a quanto calcolato nel paragrafo 7.6.1.8 e si riportano di seguito per completezza.

La moltiplicazione del dato legato al fabbisogno idrico globale del Quartiere per l'Indice di Conversione nazionale (pari a 0.288 kWh/m³) ha permesso di determinare, i consumi energetici necessari alla copertura del fabbisogno idrico del Distretto Urbano (Q_{en,el_idr}), pari a 25 014 kWh/anno per edifici a destinazione d'uso non residenziale e a 9 751 kWh/anno per edifici a destinazione d'uso residenziale. Quote che, sommate tra loro, portano ad un totale di energia elettrica necessaria a coprire il fabbisogno idrico del quartiere di 34 765 kWh/anno.

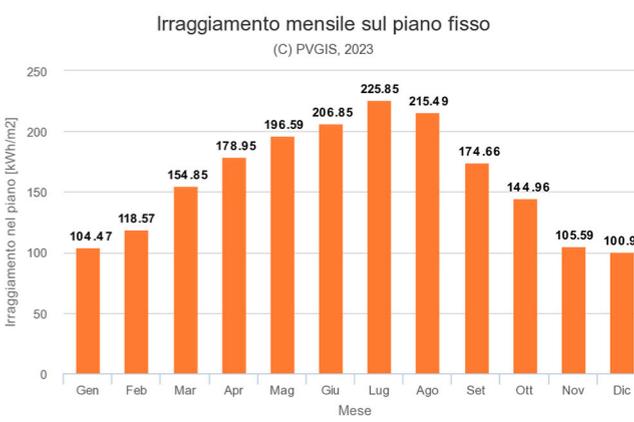
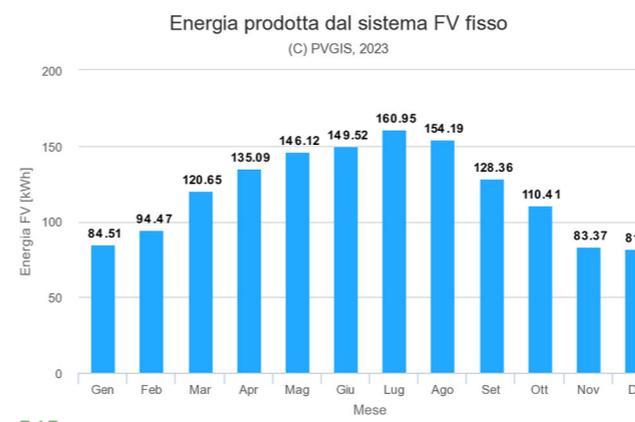
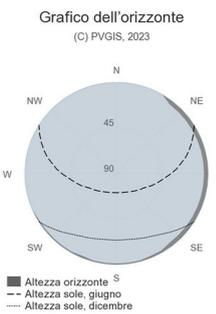
In aggiunta alla determinazione dei consumi energetici, nello Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation* si procede, al dimensionamento dell'impianto solare fotovoltaico a copertura dei consumi energetici considerati, grazie ai dati di *input* necessari, per il dimensionamento e ricavati dal *software* gratuito online: PVGIS (EC, 2022e).

L'impianto solare fotovoltaico è ipotizzato connesso alla rete e realizzato con pannelli di silicio monocristallino con potenza di picco pari a 1 kWp, integrati negli edifici esistenti o, laddove non si ritiene possibile l'integrazione per via delle condizioni di ombreggiamento, posto sulle coperture degli edifici.

L'inserimento dei dati inseriti nel *software* online hanno prodotto i valori di *output* riportati nella figura 7.17 nella pagina accanto.

I dati relativi all'energia prodotta annualmente calcolati dal *softwa-*

Valori inseriti	Output del calcolo
Latitudine	41° 49' 09 N
Longitudine	12° 26' 29 E
Orizzonte	Calcolato
Database solare	PVGIS-SARAH2
Tecnologia PV	Silicio monocristallino
Posizione montaggio	Integrato nell'edificio Sulle coperture
Potenza di Picco del Pannello PV [kWp]	1
Perdite di sistema [%]	14%
	Angolo inclinazione ottimale 36°
	Angolo orientamento ottimale 3°
	Produzione PV annuale [kWh] 1449.23
	Irraggiamento annuale [kWh/m ²] 1927.74
	Variazione interannuale [kWh] 52.07
	Variazione di produzione a causa di:
	Angolo di incidenza [%] -2.67
	Effetti spettrali [%] +0.89
	Temperatura e irradianza bassa [%] -10.98
	Perdite totali [%] -24.82



7.17

re hanno permesso di dimensionare l'impianto determinando la necessità di 24 m² di moduli fotovoltaici per coprire il fabbisogno energetico, creando anche un lieve *surplus* di produzione, con una produzione annua di 34 800 kWh/anno.

7.7.2 Analisi delle emissioni di CO₂ legate alle risorse idriche nel Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*

Al termine delle analisi dei consumi idrici ed energetici, nonché del dimensionamento dell'impianto per la produzione di energia elettrica da fonte energetica interamente rinnovabile, la fase successiva ha previsto l'analisi delle emissioni di CO₂ in atmosfera di cui sarebbe responsabile il Quartiere INCIS-Decima a seguito degli interventi dello Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*.

Didascalie alle immagini, nella pagina accanto -
7.17. Rendimento dell'impianto solare fotovoltaico connesso alla rete installato nel Quartiere INCIS-Decima, alla luce degli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 3) - (dati tratti da PVGIS (EC, 2022e) e rielaborati dall'autrice);

7.7.2.1 Calcolo della quantità di CO₂ emessa dal segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale

Il passaggio ad una fonte interamente rinnovabile a copertura del fabbisogno idrico globale del Quartiere INCIS-Decima comporta un azzeramento delle emissioni di CO₂ in atmosfera nella fase d'uso e distribuzione del segmento acquedotto.

Questo azzeramento deriva sia dalla diminuzione delle emissioni di CO₂, legata alla diminuzione dei consumi idrici, ottenuta nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, che dalla totale elettrificazione degli impianti a copertura del fabbisogno idrico e dei sistemi di monitoraggio e contenimento delle perdite da rete, prevista nello Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*. Chiaramente l'azzeramento delle emissioni di CO₂ riguarda solo ed esclusivamente la fase d'uso e distribuzione e non si tiene conto, nella presente Trattazione, né della porzione di emissioni che derivano da consumi da altri segmenti del servizio idrico integrato che delle emissioni legate alla produzione, al trasporto e allo smaltimento dei pannelli fotovoltaici previsti da progetto.

Di seguito si riportano i dati dei consumi idrici, legati alle emissioni di CO₂ per lo Scenario 3, ripartiti secondo quanto riportato nella [tabella 7.22](#) nella pagina accanto e a confronto con la situazione attuale nella figura [7.18](#) nella pagina seguente.

7.7.2.2 Calcolo delle emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano

La totale elettrificazione degli impianti a copertura del fabbisogno idrico globale e dei sistemi di monitoraggio e contenimento delle perdite da rete del Quartiere INCIS-Decima, prevista nello Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, come anticipato nel paragrafo precedente, comporta, nel caso specifico, la coincidenza della quantità di emissioni di CO₂ rilasciata in atmosfera dal segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione a livello distrettuale con le emissioni legate alla produzione di energia elettrica necessaria alla copertura del fabbisogno idrico del Quartiere.

Questa totale elettrificazione porta, di conseguenza, all'azzeramento delle emissioni di CO₂ rilasciate in atmosfera, in fase di uso e distribuzione da rete idrica nel Distretto Urbano, grazie alla produzione di energia elettrica da fonte completamente rinnovabile, grazie all'impianto solare fotovoltaico dimensionato da progetto.

tabella 7.22

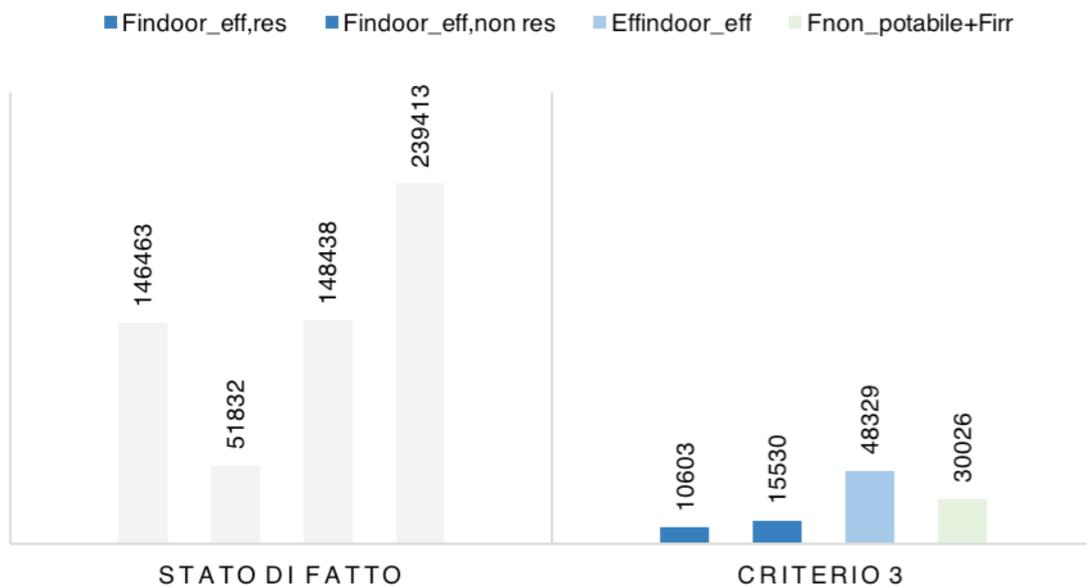
Consumi idrici	n. edif.	n. utenti	S _{utile} [m ²]	Volume [m ³]	F _{indoor_eff} [m ³ /anno]	Eff _{indoor_eff} [m ³ /anno]	F _{non potabile+F_{irr}} [m ³ /anno]	F _{idr_gl} [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	30	3 680	54 528	163 584	10 603	37 476	27 423	75 523	31 199
uffici	1	653	6 530	19 590	919	1 445	494	3 413	447
commerciale	2	1 054	7 376	22 128	5 667	3 561	964	10 192	1 376
ricettivi	1	276	6 072	18 216	2 122	241	341	2 705	365
scolastici	3	1 368	10 940	32 820	5 515	5 274	639	11 428	1 543
ristorante	1	295	1 196	3 588	1 307	332	165	1 805	244
Totale	38	7 326	86 642	259 926	26 133	48 329	30 026	105 066	35 174

Emissioni di CO ₂ correlate	CO _{2_ind_eff} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO _{2_ind_effl} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO _{2_non potabile+irr} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO _{2_idr_gl} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	CO _{2_perdite} [tCO ₂ eq*m ³ /anno]
residenziale	0	0	0	0	0
uffici	0	0	0	0	0
commerciale	0	0	0	0	0
ricettivi	0	0	0	0	0
scolastici	0	0	0	0	0
ristorante	0	0	0	0	0
Totale	0	0	0	0	0

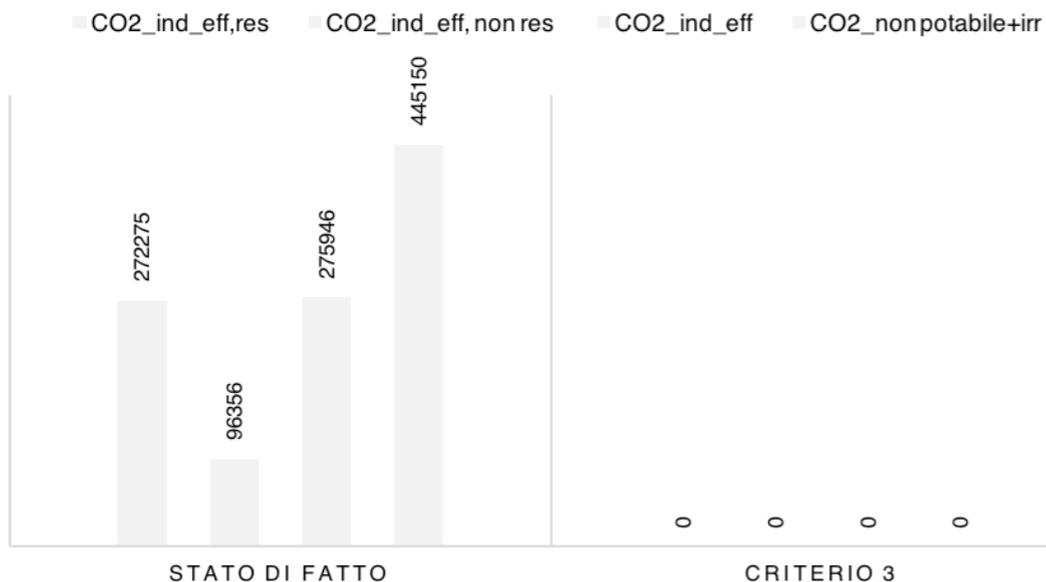
Didascalie alle immagini, nella pagina accanto - [tab. 7.22](#). Tabella dei consumi idrici [m³/anno] e delle emissioni di CO₂eq [tCO₂eq*m³/anno] correlate, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 3); nella pagina seguente - [7.18](#). Grafico che, a partire dalla ripartizione del fabbisogno idrico effettivo globale (in alto), ripartisce le emissioni di CO₂ (in basso), del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 3), a confronto con la situazione attuale (colonne grigie);

7.18

FABBISOGNO IDRICO EFFETTIVO



EMISSIONI DI CO2



7.7.2.3 Calcolo della quantità di CO₂ risparmiata

La riduzione nei consumi idrici, il re-impiego delle acque previsti alla luce degli interventi di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, e l'elettificazione degli impianti a copertura del fabbisogno idrico globale e dei sistemi di monitoraggio e contenimento delle perdite da rete prevista nello Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, come analizzato nei paragrafi precedenti, combinati insieme comportano una riduzione nei consumi energetici e ad un azzeramento delle emissioni ad essi correlate, in fase di uso e distribuzione del segmento acquedotto.

L'effettiva quantificazione della riduzione ottenuta nello Scenario 3 viene restituita numericamente nella [tabella 7.23](#), e graficamente, per mezzo di grafici a colonne raggruppate, nella [figura 7.19](#).

La [tabella 7.23](#), alla pagina seguente, evidenzia quanto a fronte di una riduzione dei consumi idrici globali del Distretto Urbano pari a 498 141 m³/anno corrisponda una quantità di CO₂ risparmiata, ovvero non emessa in atmosfera da parte del Quartiere, pari a 1 089.7 tCO₂eq*m³/anno, esattamente il 100% in meno rispetto alla situazione attuale.

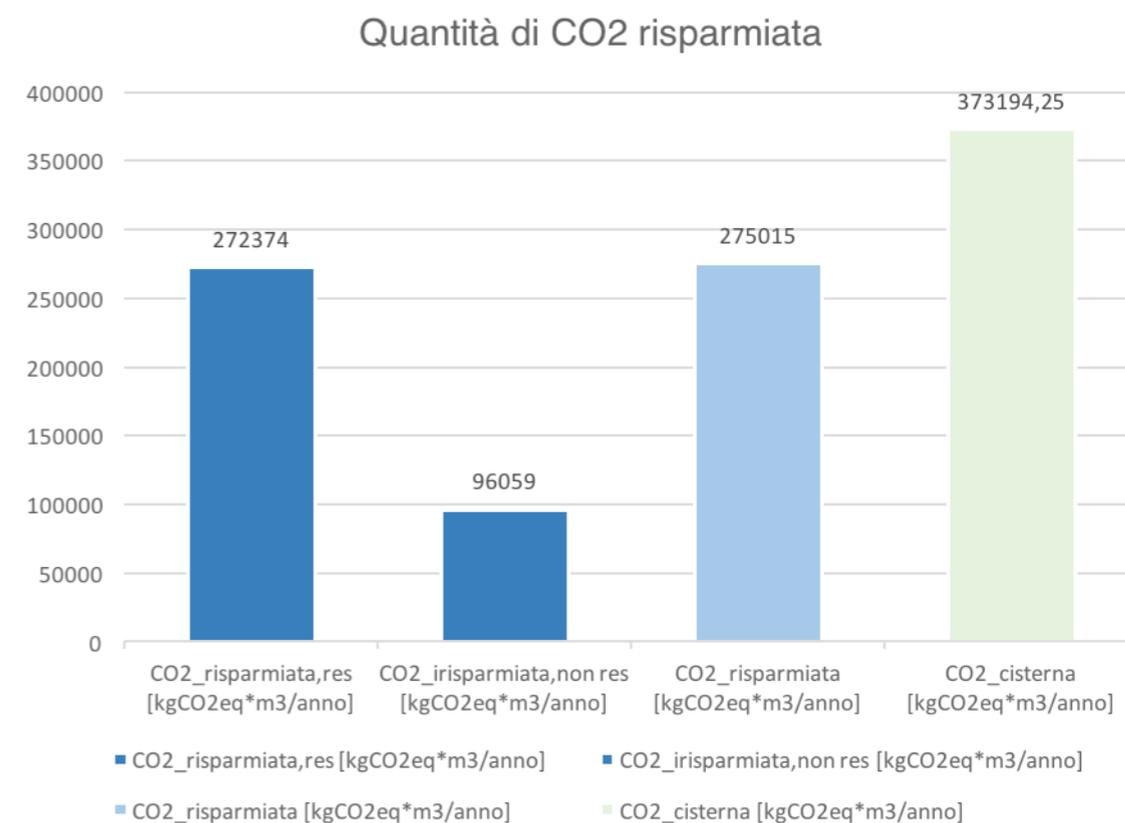
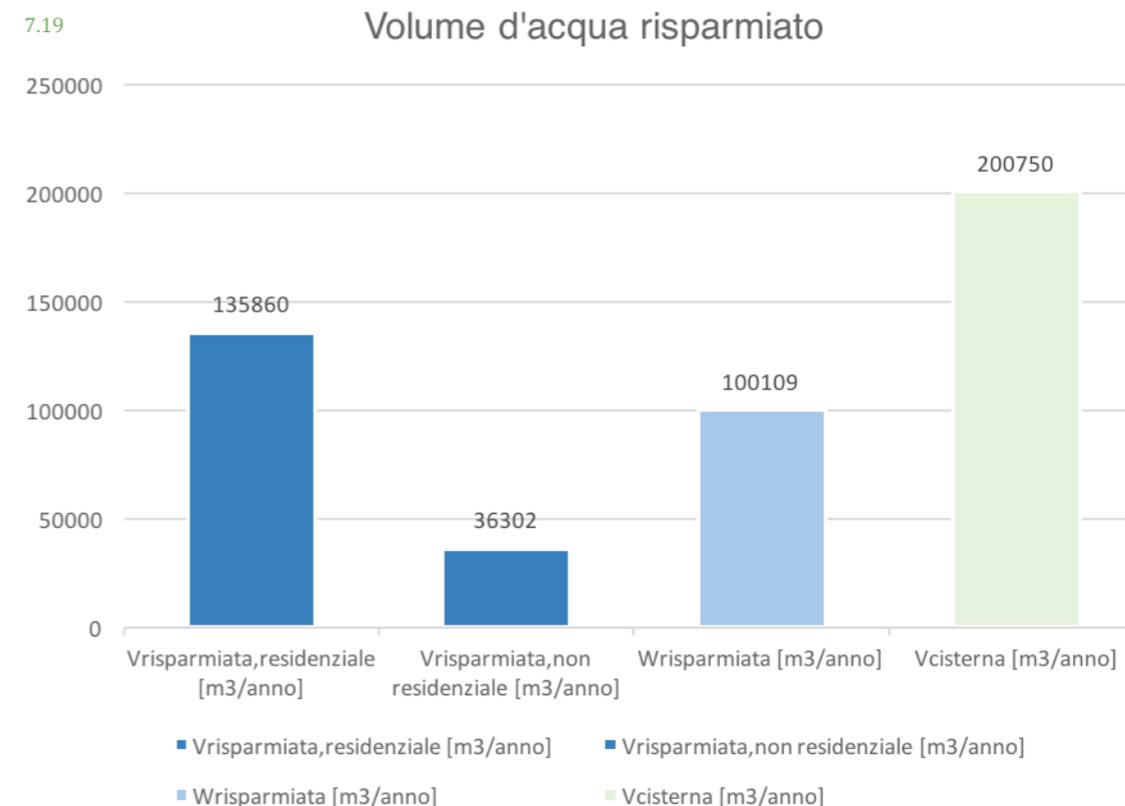
Evidenzia, inoltre, il dato puntuale di riduzione della dispersione idrica dalla rete di distribuzione che si ottiene a seguito degli interventi da parte del gestore del servizio idrico locale che, se effettuati, possono portare fino ad una riduzione delle perdite di 138 545 m³/anno corrispondenti ad una quantità di CO₂ non emessa in atmosfera dalla rete di distribuzione idrica, e quindi da uno dei segmenti del servizio idrico integrato, pari a 323.0 tCO₂eq*m³/anno, esattamente il 100% in meno rispetto alla quantità attualmente emessa dallo stesso segmento.

La [figura 7.19](#), accanto alla tabella, restituisce, invece, il risparmio ottenuto in proporzione dalle destinazioni d'uso residenziali e non residenziali per quanto riguarda la riduzione dei consumi di acqua potabile di uso *indoor* (colonne blu in entrambi i grafici) rispetto agli interventi delineati nello Scenario 3 e la riduzione ottenuta sull'acqua che non viene immessa nel sistema fognario distrettuale (colonne azzurre in entrambi i grafici) mentre l'ultima colonna rappresenta la quantità di acqua recuperata grazie all'installazione di dispositivi di raccolta delle acque meteoriche, grigie e di condensa dell'impianto di climatizzazione (colonna verde in entrambi i grafici).

Didascalie alle immagini nelle pagine seguenti - [tab. 7.23](#). Tabella delle riduzioni dei consumi idrici [m³/anno] e delle emissioni di CO₂eq [tCO₂eq*m³/anno] correlate, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 3); [7.19](#). Grafico che, a partire dalla ripartizione del volume idrico risparmiato (in alto), ripartisce le emissioni di CO₂ (in basso) risparmiate, ovvero non emesse, del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 3);

tabella 7.23

Riduzione dei Consumi idrici	$F_{\text{indoor_eff}}$ [m ³ /anno]	$Eff_{\text{indoor_eff}}$ [m ³ /anno]	$F_{\text{non potabile}}+F_{\text{irr}}$ [m ³ /anno]	$F_{\text{idr_gl}}$ [m ³ /anno]	Perdite [m ³ /anno]
residenziale	-135 860	-72 339	-155 362	-383 946	-100 209
uffici	-8 062	-5 249	-9 569	-22 689	-6 990
commerciale	-10 083	-8 265	-16 063	-34 488	-11 403
ricettivi	-476	-1 711	-2 761	-853	-1 882
scolastici	-16 088	-10 524	-22 501	-49 412	-15 857
ristorante	-1 593	-2 021	-3 131	-6 753	-2 204
Totale	-172 162	-100 109	-209 387	-498 141	-138 545
Totale in %	-86.8	-67.4	-87.5	-82.0	-81.8
Riduzione de Emissioni di CO ₂ correlate	$CO_{2_ind_eff}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	$CO_{2_ind_effl}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	$CO_{2_non potabile+irr}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	$CO_{2_idr_gl}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]	$CO_{2_perdite}$ [tCO ₂ eq*m ³ /anno]
residenziale	-272.3	-204.1	-339.8	-816.2	-244.3
uffici	-16.7	-12.4	-18.7	-47.8	-13.8
commerciale	-29.3	-22	-31.7	-83	-23.8
ricettivi	-4.8	-3.6	-5.8	-14.2	-4.2
scolastici	-40.2	-29.4	-43	-112.6	-32.3
ristorante	-5.4	-4.4	-6.1	-15.9	-4.6
Totale	-368.7	-275.9	-445.1	-1,089.7	-323
Totale in %	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0



7.7.3 Analisi economica degli interventi di Deep Energy-Zero Emission Renovation

L'analisi dei costi di intervento per gli Scenari previsti fa riferimento al Prezzario della Regione Lazio aggiornato al 2022.

Nel caso di voci non presenti sono stati consultati anche altri elenchi regionali e/o comunali, aggiornati e legalmente in corso di validità. In ultimo, per le voci mancanti in ogni prezzario consultato si è fatto ricorso all'analisi dei prezzi aggiunti alla luce della consultazione di preventivi di aziende di fornitura e produzione dei dispositivi tecnologici e impiantistici previsti da progetto.

Nella scelta delle aziende di fornitura sono state predilette ditte locali, o comunque fornitori il più possibile vicini al Quartiere INCIS-Decima; questa scelta deriva dalla volontà di contenere ulteriormente le emissioni di gas serra generate dal trasporto dei materiali e dei prodotti considerati, sebbene non siano contemplate nella presente trattazione, nell'ottica più ampia dell'obiettivo di decarbonizzazione del Distretto Urbano.

Per le soluzioni tecnologiche volte alla riduzione dei consumi idrici sono stati considerati i marchi forniti da un'impresa di impianti e articoli di termoidraulica collocata a 5km di distanza dal centro del Quartiere INCIS-Decima.

I prezzi indicati nella [tabella 7.24](#) nella pagina accanto si considerano come costi unitari a carattere indicativo e non esaustivo delle voci necessarie per la realizzazione di un computo metrico estimativo.

Infine, nella presente stima non sono stati inseriti i costi di manutenzione, da intendersi con interventi necessari con cadenza annuale o con cadenza decennale, a seconda della lavorazione considerata. Per raggiungere una analisi globale del costo dello Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, ed avere un quadro più oggettivo, devono essere sommati alla presente tabella anche i costi relativi allo Scenario 1 e allo Scenario 2.

Tuttavia, in questa sede, avendo deciso di riportare solo i costi in forma unitaria al pezzo e al metro quadro, non si procede con tale somma perché non si ritiene efficace il risultato ottenibile.

tabella 7.24

Soluzione tecnologica e impiantistica	Quantità	U.M.	Prezzo [€]
Fornitura e posa in opera di centralina comando impianto solare	1	cad.	1 239.5
Fornitura e posa in opera di fluido vettore impianto solare	1	litro	6.2
Fornitura e posa in opera di pannello solare fotovoltaico in silicio monocristallino (potenza di picco 1kWp)	1	mq	302.2
Fornitura e posa in opera di inverter <i>grid</i> trifase	1	cad.	9 243.6
Fornitura e montaggio di quadro elettrico di campo composto da centralino da esterno protezione IP65 e selezionatore bipolare	1	cad.	302.8
Fornitura e posa in opera di supporti per moduli fotovoltaici per tetto piano costituiti da profilati in acciaio zincato, completo di bulloneria di fissaggio e piastre di giunzione	1	cad.	4 292.6
Fornitura e posa in opera di cavo per interconnessione di elementi fotovoltaici per la produzione di energia elettrica e conduttore flessibile stagnato secondo norma CEI 20-29 classe 5	1	cad.	391.1
Fornitura e posa in opera di connettore volante per il collegamento dei pannelli fotovoltaici al quadro di campo	1	cad.	72.8
Fornitura e montaggio di quadro elettrico di distribuzione composto da centralino da esterno protezione IP65; selezionatore bipolare e selezionatore tripolare	1	cad.	2 253.4
Fornitura e posa in opera di cavi isolati in gomma HEPR con guaina in PVC con conduttore flessibile, isolato; completo di morsetti e capicorda	1	m	27.6
Fornitura e posa in opera di cassetta di sicurezza per interruttore o pulsante di emergenza in materiale termoplastico completo di sportello con vetro e serratura, da esterno o da incasso	1	cad.	31.0
Fornitura e posa in opera di canale portacavi in lamiera di acciaio zincato completa di: coperchi, mensole, sostegni, piastre di giunzione piastre superiori ed inferiori, elementi per sospensione a soffitto ed ogni altro accessorio	1	m	30.0
Totale			18 192.8

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
[tab. 7.24](#). Tabella dei costi per gli interventi di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Scenario 3) previsti nel Quartiere INCIS-Decima;

7.7.4 Discussione dei risultati ottenuti e considerazioni sulle condizioni del Distretto Urbano a seguito degli interventi di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*

Sebbene, dal punto di vista dei consumi idrici e delle perdite da rete di distribuzione, non siano stati previsti ulteriori interventi aggiuntivi, lo Scenario 3 di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, è, indubbiamente, il più completo.

È in questo Scenario che si agisce sui consumi energetici necessari a soddisfare il fabbisogno idrico del Quartiere ed è grazie a questo tipo di intervento che si riesce a soddisfare l'obiettivo-cardine della presente Ricerca, la Decarbonizzazione del patrimonio edilizio e dei Distretti Urbani, per la porzione che riguarda i consumi energetici legati al fabbisogno idrico.

La totale conversione della fonte di produzione dell'energia elettrica da non rinnovabile a rinnovabile, grazie alla realizzazione di un impianto solare fotovoltaico integrato negli edifici esistenti, unitamente all'aumento dell'elettrificazione delle soluzioni e dei dispositivi tecnologici *smart* volti alla gestione e al monitoraggio da remoto delle risorse idriche nonché dei sistemi di pompaggio e distribuzione della acque reimmesse in circolo, previsti nei precedenti Scenari, porta, a fronte della riduzione dei consumi già ottenuta nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation* e grazie al miglioramento del processo di circolarità della risorsa idrica, ad un azzeramento totale delle emissioni di CO₂ ad esso correlate e quindi ad una riduzione del 100% rispetto alla situazione attuale.

Tuttavia è necessaria una ulteriore considerazione, in merito al rapporto che lega i costi ai benefici degli interventi previsti, in questo caso rivolti soltanto all'installazione dell'impianto solare fotovoltaico. Interventi che, in prima analisi, possono risultare più convenienti rispetto a quelli previsti per lo Scenario 2 di riqualificazione, dal punto di vista economico: va però considerato che se si intervenisse con i consumi idrici ed energetici previsti nel Primo Scenario di *Light Energy-Zero Emission Renovation*, il dimensionamento dell'impianto dovrebbe coprire circa l'80% in più dei consumi rispetto a quanto previsto in questo Scenario, con un conseguente aumento in termini economici, a fronte, per altro, di una sola elettrificazione dei consumi e quindi di una conseguente riduzione delle emissioni di CO₂ correlate ma di nessun beneficio dal punto di vista del processo di circolarità della risorsa idrica, che andrebbe sprecata e riversata, senza alcun "secondo uso", nel sistema fognario distrettuale.

7.8 Discussione dei risultati ottenuti: i tre Scenari di *Light, Medium e Deep Energy-Zero Emission Renovation* a confronto

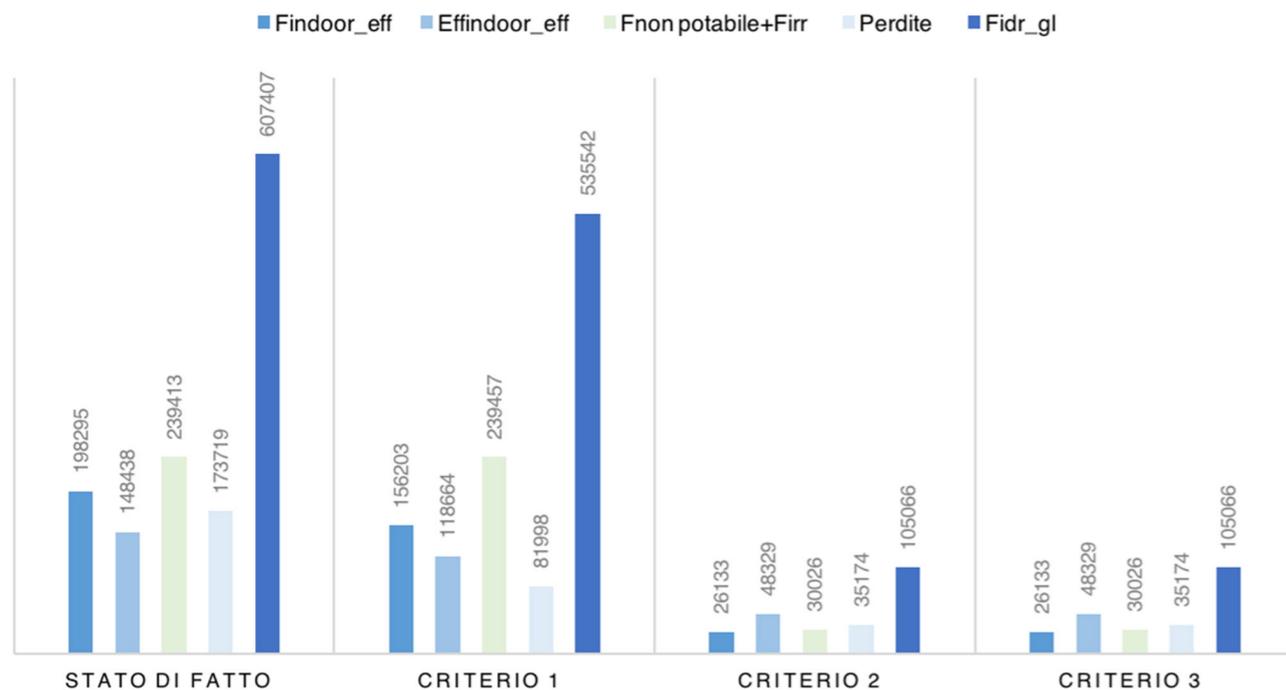
Andando a sintetizzare i risultati ottenuti dalla simulazione degli interventi previsti e alla luce delle considerazioni che hanno seguito i tre Scenari di *Light, Medium e Deep Energy-Zero Emission Renovation*, appare chiaro come solo grazie alla combinazione degli interventi, in linea con il *green city approach*, di riduzione e controllo dei consumi idrici, di *responsible behaviour*, uso sostenibile e gestione consapevole da parte degli utenti finali, di contenimento delle perdite da rete idrica, di miglioramento del processo di circolarità della risorsa idrica, di elettrificazione dei dispositivi tecnologici e impiantistici per una gestione *smart* ed un monitoraggio da remoto della risorsa e di modifica della fonte di produzione dell'energia elettrica, da produrre rigorosamente in loco, si può concorrere, attraverso una *Deep Energy-Zero Emission Renovation* del patrimonio edilizio esistente e dei Distretti Urbani, al raggiungimento dell'obiettivo di Decarbonizzazione del Quartiere INCIS-Decima con una forte ripercussione sul tema centrale della Ricerca di mitigazione delle cause del cambiamento climatico, laddove i parametri ambientali evidenzino un medio rischio per la risorsa idrica, attuale e in proiezione futura.

Nelle pagine successive si riportano i grafici che ricostruiscono i risultati ottenuti nei tre Scenari di riqualificazione a confronto tra loro e con lo stato di fatto, per quanti riguarda i consumi idrici, i consumi energetici e le emissioni di CO₂ in atmosfera da parte del Quartiere.

La ripartizione dei consumi idrici del Distretto Urbano, nel primo grafico nella pagina seguente (7.20), evidenzia i consumi legati al fabbisogno idrico di acqua potabile per usi *indoor* (che derivano dalla somma del fabbisogno utile per le destinazioni d'uso residenziali e non residenziali e che sono rappresentati graficamente dalle prime colonne di ciascun criterio), i consumi legati alla quantità di acqua potabile riversata nel sistema fognario distrettuale (secondo colonne di ciascun criterio), i consumi di acqua per usi non pota-

bili e uso irriguo (terze colonne di ciascun criterio), le perdite da rete di distribuzione idrica (quarte colonne di ciascun criterio) e i consumi idrici globali (quinte colonne di ciascun criterio); consumi che, come già analizzato singolarmente per i primi due Scenari si riducono, dapprima lievemente e poi consistentemente, rispetto alla situazione attuale, per poi rimanere invariati nel Terzo Scenario di riqualificazione.

7.20 CONSUMI IDRICI DEL DISTRETTO URBANO



Didascalie alle immagini.

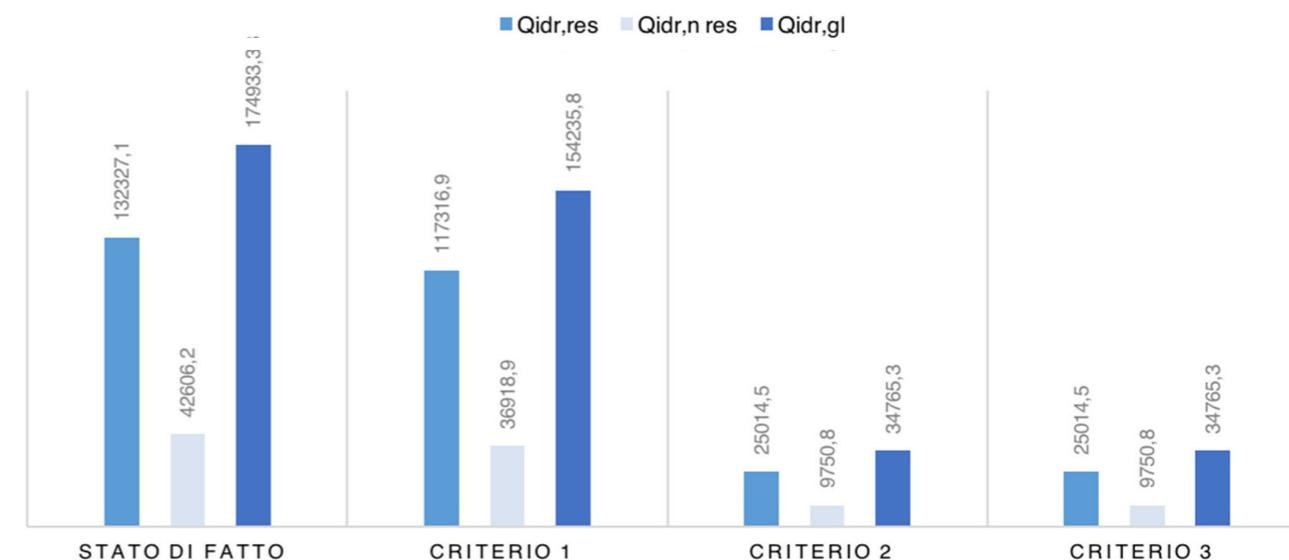
7.20. Grafico che riporta i consumi idrici del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 1), *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 2) e *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 3), a confronto con la situazione attuale (Stato di fatto);

Parallelamente ai consumi idrici, il grafico nella pagina accanto rappresenta la ripartizione dei consumi energetici del Distretto Urbano (7.21), in questo caso ripartiti tra destinazione d'uso residenziale (prime colonne di ciascuno scenario), destinazioni d'uso non residenziali (considerate tutte insieme e rappresentate dalle seconde colonne di ciascuno scenario) e consumi energetici globali (che derivano dalla somma dei consumi per le destinazioni d'uso residenziali e non residenziali e che sono rappresentati graficamente dalle

terze colonne di ciascun criterio); ovviamente, come ribadito più volte, si fa riferimento ai consumi energetici espressamente legati alla copertura del fabbisogno idrico del Quartiere, e non alla loro globalità.

Tali consumi energetici, visto il forte legame e l'alta percentuale che li correla ai consumi idrici, seguono il loro stesso andamento ovvero si riducono rispetto alla situazione attuale, dapprima lievemente e poi consistentemente per i primi due Scenari di riqualificazione, per poi rimanere invariati nel Terzo Scenario.

7.21 CONSUMI ENERGETICI DEL DISTRETTO URBANO



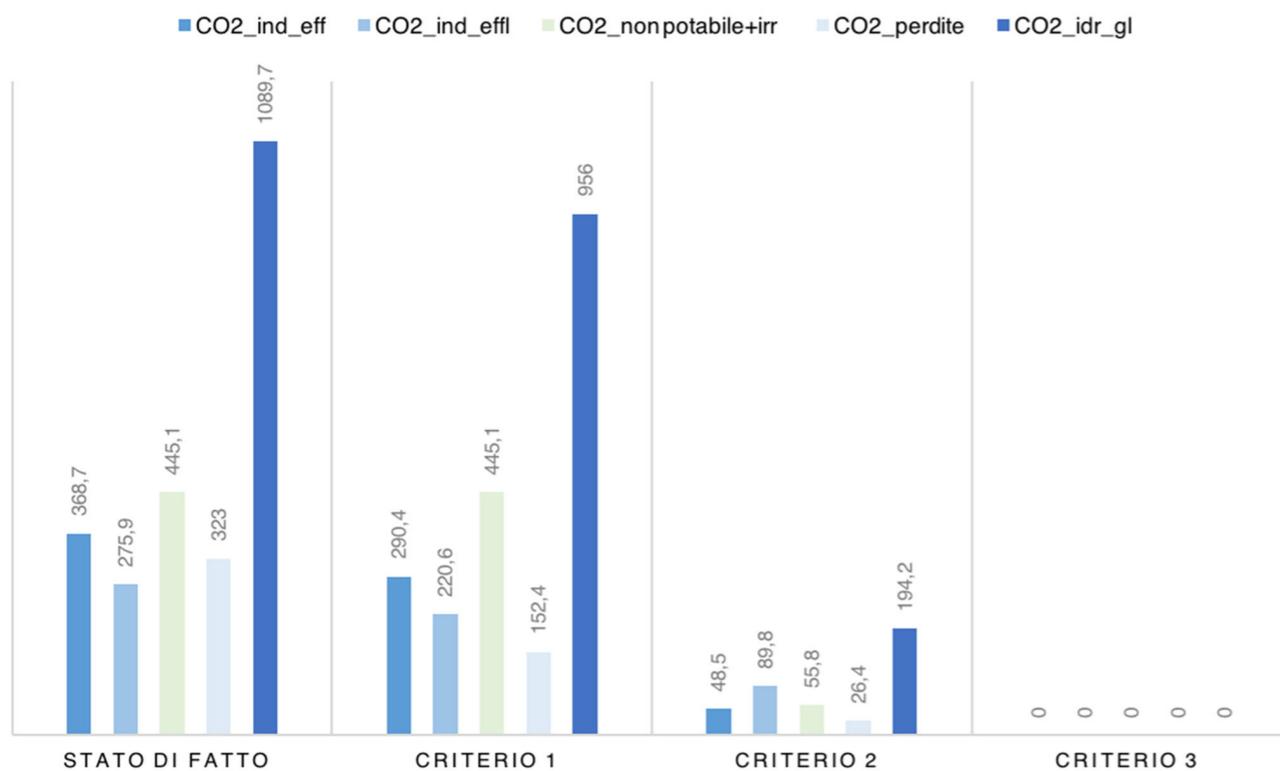
Didascalie alle immagini.

Il terzo grafico, nella pagina seguente, rappresenta le emissioni di CO₂ in atmosfera (7.22), calcolate in funzione dei consumi legati al fabbisogno idrico di acqua potabile per usi *indoor* (somma del fabbisogno utile per le destinazioni d'uso residenziali e non residenziali e rappresentati graficamente dalle prime colonne di ciascun criterio), dei consumi legati alla quantità di acqua potabile riversata nel sistema fognario distrettuale (secondo colonne di ciascun criterio), dei consumi di acqua per usi non potabili e uso irriguo (terze co-

7.21. Grafico che riporta i consumi energetici del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 1), *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 2) e *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 3), a confronto con la situazione attuale (Stato di fatto);

lonne di ciascun criterio), delle perdite da rete di distribuzione idrica (quarte colonne di ciascun criterio) e dei consumi idrici globali (quinte colonne di ciascun criterio); emissioni di CO₂ che, come già analizzato singolarmente ed in parte anticipato in merito al grafico dei consumi idrici, per i primi due Scenari si riducono, dapprima lievemente e poi consistentemente, rispetto alla situazione attuale, per poi arrivare ad essere azzerate completamente nel Terzo Scenario di riqualificazione di *Deep Energy Zero-Emission Renovation*.

7.22 EMISSIONI DI CO2 DEL DISTRETTO URBANO



Va altresì considerato che, a fronte della riduzione dei consumi idrici e dell'azzeramento delle emissioni di CO₂ ad essi correlate raggiunto nell'ultimo Scenario di riqualificazione, volutamente nel presente Capitolo, non si fa mai una analisi percentuale che metta a confronto

la quantità delle emissioni di CO₂ del Quartiere oggetto di approfondimento rispetto a quelle dichiarate dal gestore del servizio idrico. Questa scelta deriva dall'impossibilità di reperire il dato puntuale legato alla quantità effettiva del segmento acquedotto in fase di uso e distribuzione idrica che fosse riconducibile, esattamente, al distretto idrico di cui fa parte il Quartiere INCIS-Decima.

Questo perché il servizio idrico integrato, si ribadisce anche in questa sede come ulteriore spunto di considerazione, rappresenta un servizio le cui performance ambientali in genere dipendono molto dalle condizioni orografiche ed ambientali locali; pertanto il presente studio, sebbene fornisca un ordine di grandezza veritiero e fondato sul quadro emissivo climalterante reale, non può essere paragonato in modo assoluto con il risultato che sarebbe stato raggiunto con la configurazione degli interventi previsti da ciascuno degli Scenari considerando il dato unitario di emissioni di CO₂ in fase di uso e distribuzione fornito dal gestore ACEA ATO 2 Roma.

E non può neppure essere paragonato con eventuali altri studi effettuati in altri contesti territoriali, perché bisogna sempre tenere conto sia del contesto globale in cui lo studio viene effettuato, oltre che dei dati specifici forniti dal gestore del servizio idrico: se il presente studio avesse riguardato porzioni del territorio con parametri ambientali con un impatto di maggiore o minore rischio da parte dei cambiamenti climatici o porzioni di territorio servite in modo distinto, le valutazioni relative al quadro emissivo globale avrebbero portato a situazioni e condizioni estremamente differenti, in funzione dell'orografia del territorio, delle fonti di approvvigionamento idrico e di produzione di energia, della densità abitativa del Quartiere o Distretto Urbano considerato, della distanza delle utenze dagli impianti di distribuzione idrica, della eventuale centralizzazione o distrettualizzazione degli impianti di trattamento, nonché di ulteriori fattori caratteristici di ciascuna porzione di territorio.

Per queste ragioni, quanto ottenuto dalla simulazione dei tre Scenari di Riqualificazione, è da ritenersi valido, dal punto di vista strategico, per quei Paesi in cui l'impatto dei cambiamenti climatici sia di medio rischio sui parametri ambientali di piovosità annua e stagionale, di periodi di siccità, di ricarica delle acque di falda, di umidità contenuta nel suolo e di evapotraspirazione stagionale, ma rispetta comunque un quadro emissivo quantitativo approssimativo nel numero, pur rimanendo un dato reale ed oggettivo nell'ordine di

Didascalie alle immagini.
nella pagina accanto -
7.22. Grafico che riporta le emissioni di CO₂ del Quartiere INCIS-Decima alla luce degli interventi di *Light Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 1), *Medium Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 2) e *Deep Energy Zero-Emission Renovation* (Criterio 3), a confronto con la situazione attuale (Stato di fatto);

grandezza.

Infine va considerato che l'azzeramento delle emissioni di CO₂ correlate ai consumi idrici ed energetici ottenuto nel Terzo Scenario di *Deep Energy Zero-Emission Renovation* e quindi il raggiungimento dell'obiettivo-cardine della Ricerca, di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e del Quartiere INCIS-Decima, grazie al miglioramento del processo di circolarità della risorsa idrica, riguarda soltanto una percentuale pari a circa il 5% dei consumi energetici globali, come rilevato dal confronto dei consumi energetici ottenuti rispetto a quelli definiti dai *benchmark* di riferimento per ciascuna destinazione d'uso.

Una porzione di consumi e di emissioni climalteranti piuttosto piccola se analizzata nella globalità del Distretto, che, proprio perché così piccola, spesso rischia di essere trascurata o sottovalutata nelle analisi dei consumi e delle emissioni globali.

Tale valore, tuttavia, non si discosta poi così tanto dalle singole percentuali relative ai consumi elettrici per il soddisfacimento di altri usi o per l'illuminazione, che sono invece quantificati e definiti in maniera chiara negli standard degli edifici nZEB; inoltre la ripercussione sull'impatto ambientale della riduzione dei consumi e delle emissioni connesse alla risorsa idrica, in termini di tutela, gestione sostenibile e uso consapevole della risorsa, nonché di mitigazione delle cause del cambiamento climatico, risulta estremamente più elevata a parità di peso percentuale rispetto a quella dei consumi elettrici per altri usi, trasporto persone o cose, o illuminazione.

References

- ACEA Acqua (2022b), Bilancio di sostenibilità ACEA ATO 2 2021. Available at: <https://www.gruppo.acea.it/content/dam/acea-corporate/acea-foundation/pdf/it/acqua/ato2/bilanci/bilancio-sostenibilita-acea-ato-2-2021.pdf>
- Acque SpA e MATTM (2019a), Impronta di carbonio del Servizio Idrico Integrato – conclusioni. Available at: <https://carbo.acque.net/index.php/conclusioni>
- Acque SpA e MATTM (2019b), Impronta di carbonio del Servizio Idrico Integrato – metodi di riferimento. Available at: <https://carbo.acque.net/index.php/metodi-di-riferimento>
- Associazione Decima50 (2017), Proposta di un piano unitario per il recupero, la riqualificazione e la tutela del patrimonio verde di Decima, Roma. Available at: <https://50annidecima.wordpress.com/proposta-di-un-piano-unitario-per-il-verde-di-decima/>
- Becciu, G., Paoletti, A. (2010), Fondamenti di costruzioni idrauliche. Utet Scienze tecniche, Milano. ISBN-10 8859805228;
- BEWARE (2022), Assessment of socio-economic impact accounting for the hydrologic effectiveness of the interventions, LIFE17 e BEtter Water-management for Advancing Resilient-communities in Europe Project. Padova. Available at: https://www.lifebeware.eu/wp-content/uploads/2021/08/Annex-14_D4_Deliverable_Handbook-on-the-real-costs-to-sustain-for-SUDS-realization.pdf
- BRE Global (2017), BREEAM International Non Domestic Refurbishment 2015 – Technical Manual SD225 1.4. Available at: https://files.bregroup.com/breeam/technicalmanuals/internationalRFO2015/#resources/output/rfrb_pdf_screen/sd225_rfo_int_2015_scr.pdf
- Conte, G. (2008), Nuvole e sciacquoni – come usare meglio l’acqua in casa e in città. Edizioni Ambiente srl, Milano. ISBN 978-88-89014-76-9;
- Corgnati, S.P., Fabrizio, E., Ariaudo, F., Rollino, L. (2010), Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici), applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani, Report Ricerca di Sistema Elettrico, Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – Enea;
- De Matteis, F., Reale, L. (eds) (2018), Quattro quartieri spazio urbano e spazio umano nella trasformazione dell’abitare pubblico a Roma, DiAP PRINT progetti, Quodlibet, Macerata. ISBN 978-88-229-0106-4;
- De Pasquale, A. (2019), Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia. ENEA laboratorio DUEE-SPS-ESE;
- EA (2008), Greenhouse gas emissions of water supply and demand management options. Science Report – SC070010. Environment Agency, Bristol, UK. ISBN: 978-1-84432-921-2
- EC (2020a), EU Energy System Integration Strategy (Factsheet), ISBN 978-92-76-39782-3 – doi:10.2775/582723, Bruxelles;
- EC (2022e), Tool interattivo online: PVGIS - fotovoltaic geographical information system. Available at: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/
- EEA (2021), Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment, EEA Report n. 12/2021, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-391-7 doi:10.2800/320975

EurEau (2021), Europe's Water in Figures. An overview of the European drinking water and waste water sectors - 2021 edition. Available at: <https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-publications/5824-europe-s-water-in-figures-2021/file>

GBC Italia (2016), LEED v4 for building operations and maintenance. Available at: https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED-v4-EBOM_Italian.pdf

Giampaolletti M., Capparuccini, E., Dionisi, F., Sabatelli, L.P., Severa, D., Sollami, M.D. (2019), Progetto di Riqualificazione del quartiere INCIS Decima – Tesi di Master II livello in Environmental Technological Design dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" – a.a. 2018/2019;

Giampaolletti, M., Romano, G. (2022), "Evoluzione urbana e sociale dell'edilizia popolare: il caso INCIS Decima e UNRRA Casas San Basilio a Roma", *Techne (cluster SH) – Storie di Quartieri pubblici. Progetti e sperimentazioni per valorizzare l'abitare* – in *Materiali di Architettura e di Urbanistica*; pp.115-124; ISBN:9788857585307 Mimesis Edizioni;

Global Water Intelligence e Water without Carbon (2022), *Mapping water's carbon footprint – our net zero future hinges on wastewater*, Media Analytics Ltd., Oxford. Available at: <https://www.globalwaterintel.com/water-without-carbon>

GURI (2006), Norma in materia ambientale. D.L. 3 aprile 2006, n. 152 (GU Serie Generale n.88 del 14-04-2006 - Suppl. Ordinario n. 96), Roma. Available at: <https://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/materiaAmbientale>

ISPRA (2022), *Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico. Rapporto n. 363/2022*. ISBN 978-88-448-1107-5. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma

ISTAT (2022a), *Censimento delle acque per uso civile*. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/279363>

ISTAT (2022b), *Rilevazione dati meteo-climatici ed idrologici*. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/202875>

ISTAT (2022c), *Le statistiche dell'Istat sull'acqua - anni 2019-2021*. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/268242>

ISTAT (2022d), *Giornata mondiale dell'acqua 2022 - le statistiche ISTAT sull'acqua 2019-2021*. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/268255>

ISTAT (2022e), *Censimento permanente popolazione e abitazioni*. Available at: <https://www.istat.it/it/censimenti/popolazione-e-abitazioni>

ITACA (2015a), *PROTOCOLLO ITACA LAZIO 2015, destinazione d'uso Residenziale*. Available at: https://www.regione.lazio.it/sites/default/files/2021-04/Protocollo_Itaca_Residenziale_2015.pdf

ITACA (2015b), *Protocollo Itaca Lazio 2015, destinazione d'uso non Residenziale*. Available at: https://www.regione.lazio.it/sites/default/files/2021-04/Protocollo_Itaca_Non_Residenziale_2015.pdf

Mancini, F., Ceconi, M., Lo Basso, G., de Santoli, L. (in press), *Testing sito web e popolazione database per la definizione di benchmark di consumo delle utenze residenziali*, Report Ricerca di Sistema Elettrico, Accordo di Programma Ministero della Transizione Ecologica – ENEA;

MATTM (2011), *Programma per la Valutazione dell'Impronta Ambientale*. Available at: <https://www.mase.gov.it/pagina/programma-la-valutazione-dell-impronta-ambientale>

Milano, V. (2012), *Acquedotti. Guida alla progettazione*. Hoepli, Milano. ISBN-10 8820351838;

MITE (2022b), *Dipartimento Energia - Direzione Generale Infrastrutture E Sicurezza - La situazione energetica nazionale nel 2021*, Roma. Available at: https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2021.pdf

Raitano, M. (2018), *Decima "Quartiere d'autore"*. Una lettura orientata al progetto, in De Matteis, F., Reale, L. (eds.), *Quattro quartieri. Spazio urbano e spazio umano nella trasformazione dell'abitare pubblico a Roma*; Quodlibet, Macerata; ISBN 978-88-229-0106-4. pp. 200-210

REN21 (2022), *Renewables 2022 Global Status Report*. REN21 Secretariat c/o UN Environment Programme, Paris. ISBN 978-3-948393-04-5

Roma Capitale – Unità Operativa di Statistica del Dipartimento Trasformazione Digitale (2019), *I numeri di Roma Capitale Ambiente Anno 2019*. Available at: https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/Ambiente_2019_2_Numeri_RC.pdf

Roma Capitale – Unità Operativa di Statistica del Dipartimento Trasformazione Digitale (2020), *La Popolazione di Roma. Struttura e dinamica demografica. Anno 2019*. Available at: https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/La_popolazione_a_Roma2019.pdf

Roma Capitale – Unità Operativa di Statistica del Dipartimento Trasformazione Digitale (2022), *La Popolazione di Roma. Anno 2021*. Available at: https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/Popolazione_Roma_2021_AS.pdf

Summerson, S., Atkins, J. and Harries, A. (2021), *BREEAM In-Use Driving sustainability through existing buildings - Briefing Paper*, United Kingdom. Available at: https://tools.breeam.com/filelibrary/BREEAM%20In%20Use/KN5686---BREEAM-In-Use-White-Paper_dft2.pdf

Tranfo, A. (2017), *Decima: un quartiere progettato per l'uomo*. Architetto Luigi Moretti (1965). Guida realizzata per l'associazione Decima50;

UN-Water (2020), *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*, UNESCO, Paris. ISBN 978-92-3-100371-4;

UNI Ente Italiano di Normazione (2012), *UNI/TS 11445:2012 - Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - Progettazione, installazione e manutenzione*;

WAREG (2021), *Water Regulatory Governance across Europe*, WAREG Report 1/2021, WAREG Publications, Milano. Available at: <https://www.wareg.org/document s/water-regulatory-governance-in-europe/>

CAPITOLO 8 *Output della Ricerca*

ABSTRACT (INGLESE)

Following the considerations the previous chapter closed with, it is evident how much this Research has on the one hand arrived at a point of definition of a calculation tool and a series of macro-strategies and design intervention solutions outlined in a timely manner and whose effects are quantifiable, but on the other hand it leaves a series of questions open related to the difficulty of isolating a fixed unit parameter of the amount of CO₂ emitted into the atmosphere from the water distribution phase alone and from the entire integrated water service, as well as the impossibility of finding solutions that can be replicated in any urban context without taking into account the impacts that climate change has on the environmental parameters most closely related to water resources. Open questions that do not only concern this discussion but which reflect a constantly evolving international framework as well as growing attention to water infrastructures, a sector in which, among other things, a real revolution is expected in terms of reporting of environmental, social and governance impacts, by 2025.

Water is a source of life but at the same time undergoes strong and growing pressure: water stress and excessive extraction from natural sources are among the various environmental challenges that cities are called upon to face in the near future and the optimal management of the precious water resource must become an essential objective also in the light of the impacts that climate change has on the environment, but there is still too little awareness of how to pursue it. In order to aim for an optimal management of the water resource, this must be placed in a broader perspective, addressing all types of users and inevitably taking into account the interactions of water with other resources, such as soil and energy.

These are the foundations on which this Chapter is structured which, starting from a systematization and a synthesis of the information acquired and processed throughout the Research process, leads to the outline of the Research products itself: the calculation tool and the guidelines. The latter are at the service of end users and sector experts to operate in the most coherent way possible in Urban Districts located in areas that suffer a medium criticality impact on climatic parameters, in order to improve the circularity process of the water resource and reduce, at the same time, the related climate-altering emissions, with interventions that involve the dimension of water, soil and energy, in a systemic perspective of Decarbonization of the existing building stock and of the Districts.

ABSTRACT

Facendo seguito alle considerazioni con cui si è chiuso il precedente Capitolo, risulta evidente quanto questa Ricerca sia da una parte arrivata ad un punto di definizione di uno strumento di calcolo e di una serie di macro-strategie e soluzioni di intervento progettuali delineate in maniera puntuale e le cui ricadute sono quantificabili, ma dall'altra lasci una serie di questioni aperte legate alla difficoltà di isolare un parametro fisso unitario di quantità di CO₂ emessa in atmosfera dalla sola fase di distribuzione idrica e dell'intero servizio idrico integrato, nonché l'impossibilità di trovare delle soluzioni che possano essere replicate in ogni contesto urbano senza tenere conto degli impatti che i cambiamenti climatici comportano sui parametri ambientali più strettamente correlati alla risorsa idrica. Questioni aperte che non riguardano soltanto la presente Trattazione ma che rispecchiano un quadro internazionale in costante evoluzione oltre che in crescente attenzione nei confronti delle infrastrutture idriche, settore nel quale, tra l'altro, ci si attende una vera e propria rivoluzione in termini di rendicontazione degli impatti ambientali, sociali e di *governance*, entro il 2025. L'acqua è fonte di vita ma al tempo stesso subisce una forte e crescente pressione: lo stress idrico e l'eccessiva estrazione dalle fonti naturali sono tra le varie sfide di carattere ambientale che le città sono chiamate a dover fronteggiare nel prossimo futuro e la gestione ottimale della preziosa risorsa idrica deve diventare un obiettivo imprescindibile anche alla luce degli impatti che il cambiamento climatico ha sull'ambiente, ma c'è ancora troppa poca consapevolezza sul come perseguirlo. Per poter mirare ad una gestione ottimale della risorsa idrica, questa deve essere inserita in una prospettiva più ampia, rivolgendosi a tutti i tipi di utenti e tenendo inevitabilmente conto delle interazioni dell'acqua con altre risorse, quali il suolo e l'energia. Sono queste le basi sulle quali si struttura il presente Capitolo che, a partire da una sistemizzazione e da una sintesi delle informazioni acquisite ed elaborate durante tutto l'iter di Ricerca, porta a delineare i prodotti della Ricerca stessa: il *tool* di calcolo e le linee guida. Queste ultime sono a servizio degli utenti finali e degli esperti del settore per operare nella maniera più coerente possibile nei Distretti Urbani collocati in zone che subiscono un impatto di media criticità sui parametri climatici, al fine di migliorare il processo di circolarità della risorsa idrica e di ridurre, allo stesso tempo, le emissioni climalteranti correlate, con interventi che coinvolgano la dimensione dell'acqua, del suolo e dell'energia, in un'ottica sistemica di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e dei Distretti.

8.1 Il foglio di calcolo come strumento a servizio degli utenti finali e degli esperti del settore

Come illustrato nel Capitolo 7, gli indicatori presentati e calcolati secondo la metodologia descritta nel paragrafo 7.1.2 sono quantificabili, attraverso l'esecuzione di specifici calcoli, che sono sistematizzati nel *tool* di calcolo appositamente predisposto per questo fine e descritto nel dettaglio, dal punto di vista operativo, nel paragrafo 7.2.

In questa sede se ne richiamano, in forma sintetica, le caratteristiche e le funzionalità principali.

Il *tool* consiste in 17 fogli di calcolo in totale, di cui:

- 7 fogli destinati al calcolo del fabbisogno idrico denominati "F. idrico_d.u. (varie)", dove il (varie) è sostituito di volta in volta dalla destinazione d'uso (residenziale, uffici, edifici a destinazione d'uso commerciale, industriale, ricettiva, scolastica e ristoranti);
- 7 fogli destinati al calcolo delle emissioni di CO₂ correlate ai consumi idrici denominati "Emissioni_d.u. (varie)" dove, anche in questo caso, il (varie) è sostituito di volta in volta dalla destinazione d'uso;
- 1 foglio denominato "F. idrico_distretto urbano" che raccoglie e sistematizza i dati ottenuti dai fogli specifici restituendo il quadro del fabbisogno idrico globale e puntuale del Distretto Urbano;
- 1 foglio denominato "F. energetico_distretto urbano" che a partire dai dati ottenuti nel foglio del Distretto Urbano ne definisce il fabbisogno energetico correlato;
- 1 foglio denominato "Emissioni_distretto urbano" in cui viene fatta una valutazione del quadro delle emissioni di CO₂ rilasciate in atmosfera a livello distrettuale.

Tali fogli di calcolo vanno compilati con l'inserimento di alcuni dati di *input*, a partire dai quali vengono automaticamente calcolati gli indicatori di quantità di consumi idrici:

(1) quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso residenziale;

- (2) quantità di acqua potabile per uso *indoor* per edifici a destinazione d'uso non residenziale;
- (3) quantità di acque reflue inviate nel sistema fognario distrettuale;
- (4) quantità di acque meteoriche captate e stoccate;
- (5) quantità di acqua necessaria per l'irrigazione delle aree verdi;
- (6) quantità di acqua dispersa da rete idrica;

dai risultati emersi dai primi sei indicatori si ricavano due ulteriori indicatori di:

- (7) fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano;
- (8) quantità di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno idrico del Distretto Urbano.

Solo una volta determinato il fabbisogno idrico globale del Distretto Urbano ed i consumi energetici ad esso correlati, attraverso l'analisi della quantità di CO₂ emessa nel segmento acquedotto del ciclo integrato delle acque durante la fase di distribuzione e uso a livello distrettuale, è stato possibile ricavare gli indicatori di quantità di emissioni di CO₂:

- (9) quantità di emissioni di CO₂ legate al fabbisogno idrico nel Distretto Urbano;
- (10) quantità di emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico nel Distretto Urbano.

I primi 7 indicatori vengono calcolati nel foglio di calcolo "F. idrico_d.u. (varie)", l'ottavo indicatore viene elaborato nel foglio "F. energetico_distretto urbano", mentre il nono e il decimo vengono definiti rispettivamente nei fogli "Emissioni_d.u. (varie)", ed "Emissioni_distretto urbano".

Parallelamente al calcolo degli indicatori vengono costruiti automaticamente dei grafici (a torta e/o a colonne raggruppate) che permettono un ulteriore controllo dei risultati ottenuti, oltre che una sintesi visiva più immediata rispetto al dato quantitativo numerico.

8.2 Le linee guida a servizio degli esperti per interventi di *Light, Medium e Deep Energy-Zero Emission Renovation* attraverso il miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche nei Distretti Urbani in zone che subiscono un impatto di media criticità in riferimento ai parametri climatici

Le linee guida per interventi di *Light, Medium e Deep Energy-Zero Emission Renovation* attraverso il miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche nei Distretti Urbani che vengono restituite in questa sede riprendono l'iter metodologico della Ricerca che, necessariamente, ha visto nelle prime fasi una analisi e uno studio di soluzioni a livello tecnologico e impiantistico già consolidate per la riduzione dei consumi idrici.

Per questa ragione non ci si aspetta di fornire un vero e proprio avanzamento delle conoscenze nella restituzione di gran parte di tali linee guida ma si auspica che questa sistematizzazione possa tornare utile nel momento in cui un Distretto Urbano decida di intraprendere un percorso volto al miglioramento dei processi di circolarità delle risorse ponendo in particolar modo l'accento sul legame che esiste tra consumi idrici, energetici e emissioni di CO₂ correlate, con il fine ultimo di ridurre l'impronta di carbonio del proprio patrimonio edilizio esistente.

Fatta questa doverosa premessa, le linee guida esposte di seguito si articolano su due piani, distinti ma correlati e destinati da una parte agli utenti finali, dall'altra agli esperti e ai tecnici del settore. Esperti e tecnici del settore che, in questo caso, non sono intesi soltanto come la sfera degli architetti o degli ingegneri che operano nel settore delle costruzioni e nel contesto urbano ma, trasversalmente, coinvolgono anche i tecnici che gestiscono o operano nel settore delle infrastrutture idriche.

Le linee guida nascono dalla definizione fatta nel Capitolo 6 delle macro-strategie di intervento che qui possono essere nuovamente articolate come linee guida solo dopo essere state attuate, ed averne misurato e verificato i benefici realmente raggiungibili in termini operativi, attraverso la simulazione sul *tool* di calcolo.

Macro-strategie di intervento che si articolano nel:

- risparmio idrico e miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche attraverso una gestione sostenibile e il *responsible behaviour* degli utenti finali;
- massimizzazione dell'efficienza energetica dei dispositivi attivi a servizio del ciclo idrico integrato del Distretto Urbano, in funzione dei parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici;
- riduzione delle emissioni di CO₂ legate al ciclo idrico integrato con soluzioni tecnologiche e impiantistiche a scala dell'edificio e dell'intero Distretto Urbano.

E che, a loro volta, si articolano in una serie di ulteriori sotto-strategie di carattere operativo con le relative soluzioni tecnologiche e impiantistiche, tarate alla luce della simulazione fatta nella fase applicativa della presente Ricerca, durante l'applicazione dei Tre Scenari di *Light, Medium e Deep Energy-Zero Emission Renovation* sul caso pilota romano del Quartiere INCIS-Decima, restituita nel Capitolo 7, a partire dal paragrafo 7.4.

La prima macro-strategia racchiude, a sua volta, in sé due gruppi di linee guida: accorgimenti, abitudini e buone pratiche e soluzioni tecnologiche e impiantistiche rivolte agli utenti finali e soluzioni tecnologiche e impiantistiche di ordine e scala più ampia che necessariamente riguardano il coinvolgimento di esperti e tecnici del settore e, dunque, a loro si rivolgono.

La prima parte del primo gruppo di linee guida riguarda gli accorgimenti, le abitudini e le buone pratiche rivolte agli utenti finali, tra le quali si annoverano:

- effettuare pratiche di manutenzione regolare degli impianti idraulici, sia di manutenzione ordinaria, che di manutenzione periodica completa;
- chiudere l'impianto centrale in caso di periodi prolungati di mancato utilizzo;
- diversificare l'uso dell'acqua a seconda della sua qualità potabile o reflua;
- acquistare elettrodomestici a basso consumo e utilizzarli sempre a pieno carico e in modalità "eco";
- chiudere il rubinetto per non far scorrere l'acqua inutilmente;
- ridurre il Riempimento della cassetta WC;
- raccogliere l'acqua fredda non utilizzata mentre si attende l'arrivo

alla temperatura desiderata;

- utilizzare l'acqua raccolta in bacinelle anziché usare l'acqua corrente;
- recuperare e riusare l'acqua di secondo uso;
- optare per il lavaggio con doccia anziché con vasca da bagno;
- evitare di lavare la propria auto usando acqua potabile;
- effettuare una adeguata pacciamatura intorno alle piante.

Tali accorgimenti, abitudini e buone pratiche, non sono altro che una sintesi di quanto riportato nel Capitolo 6 che, a sua volta, deriva da una sistematizzazione di linee guida ministeriali, oltre che di indicazioni da parte di enti di ricerca nazionale e che sono riportate con l'intento di dare un contributo scientifico-divulgativo verso una maggiore sensibilizzazione riguardo ai temi ambientali e un aumento del buon senso e del *responsible behaviour* da parte degli utenti finali.

Pratiche che tuttavia non comportano soltanto una riduzione dei consumi ma, indirettamente, anche una riduzione delle emissioni di CO₂ correlate.

Al pari delle linee guida che restituiscono le buone pratiche da seguire per ridurre il volume del consumo e dello spreco idrico, la seconda parte delle linee guida rivolte agli utenti finali si snoda in interventi, simulati dal punto di vista operativo nello Scenario 1 di *Light Energy-Zero Emission Renovation*, con soluzioni tecnologiche ed impiantistiche utili a ridurre la propria impronta idrica.

Tali soluzioni tecnologiche e impiantistiche prevedono una riduzione del flusso e un controllo della portata e della temperatura dell'acqua, ovvero quegli interventi a impatto ambientale minimo che in alcuni casi sono molto economici dal punto di vista dei costi, oltre che di facile e autonoma installazione. Possono essere riassumibili, a partire da quanto esposto nel Capitolo 6, in:

- installazione di rubinetti monocomando dotati di rompigetto e/o di limitatori o interruttori meccanici di Flusso;
- inserimento di rubinetti termostatici;
- installazione di soffioni a basso consumo e/o interruttori meccanici di flusso per doccia;
- inserimento di rubinetti con temporizzatore o rubinetti elettronici, caldamente consigliati nelle destinazioni d'uso non residenziali;
- installazione di cassette WC a doppio pulsante o, in alternativa,

inserimento di dispositivi con funzionamento a contrappeso;

- realizzazione di un impianto di *Composting Toilet* o *toilet* a compostaggio;
- inserimento di sistemi e dispositivi smart volti al rilevamento delle perdite e al monitoraggio dei consumi a livello domestico;

Rimanendo sempre nell'ambito delle linee guida che rispondono alla prima macro-strategia, ma passando agli interventi simulati nello Scenario 2 di *Medium Energy-Zero Emission Renovation*, vengono di seguito delineate le linee guida rivolte agli esperti e ai tecnici del settore, volte a migliorare il processo di circolarità delle risorse idriche al livello multi-scalare che va dall'edificio al Distretto Urbano sul quale si interviene, mirando ad accostare alle soluzioni tecnologiche e impiantistiche volte alla raccolta e ad un uso circolare della risorsa idrica, una limitazione del consumo di acqua potabile.

Linee guida che, a livello dell'edificio, consistono nel:

- installazione di un impianto di recupero delle acque meteoriche;
- installazione di un impianto di recupero e riutilizzo delle acque grigie;
- installazione di un impianto di recupero e riutilizzo delle acque di condensa provenienti dagli impianti di climatizzazione estiva;
- installazione di un impianto per il recupero e il riutilizzo delle acque nere;
- installazione di un impianto di micro-irrigazione nelle aree verdi;
- aumento dell'elettrificazione degli impianti di circolarità della risorsa idrica per via dell'inserimento di sistemi di filtrazione dell'acqua, pompaggio e reimmissione in rete che richiedono un maggiore apporto energetico.

Mentre a livello distrettuale, a partire dalla raccolta delle acque meteoriche a livello urbano, arrivano alle tecniche di drenaggio urbano sostenibile e alle *green blue infrastructures*, ovvero:

- realizzazione di trincee infiltranti o fasce o dreni filtranti;
- realizzazione di box alberati filtranti, meglio ancora se progettati con l'impiego di specie arboree o arbustive una diminuzione del fabbisogno irriguo stagionale o annuo;
- realizzazione di canali vegetati o di aree di bio-ritenzione vegetata;
- realizzazione di bacini di detenzione;
- realizzazione di bacini di convogliamento delle acque meteoriche

e di impianti di fitodepurazione;

- riqualificazione delle coperture esistenti attraverso la realizzazione di coperture vegetali sui tetti e giardini pensili o brown roof, volti ad aumentarne la permeabilità;
- aumento delle pavimentazioni permeabili e delle superfici drenanti.

Linee operative di intervento, anche in questo caso già note, che hanno il preciso scopo di riequilibrare il bilancio idrologico, stoccare, filtrare e mettere nuovamente in circolo le acque reflue, ridurre il carico degli inquinanti dei corpi idrici nonché di permettere alle città di comportarsi come *sponge-cities*, di sfruttare i servizi ecosistemici che derivano dalle *nature based solutions* e di ridurre le emissioni di gas climalteranti in atmosfera.

Il quadro di linee guida proposte in merito alla prima macro-strategia è estremamente versatile e, specialmente nella prima parte rivolta al *responsible behaviour* degli utenti e alle soluzioni tecnologiche e impiantistiche volte a ridurre la propria impronta idrica, mantenendo un impatto minimo ambientali con interventi di tipo *Light*, potrebbe (o meglio, dovrebbe) essere adottato in tutte le zone, indipendentemente dall'impatto di media, bassa o alta criticità in riferimento ai parametri climatici legati alla risorsa idrica.

Diverso e, per certi aspetti, più delicato è il discorso che riguarda le linee guida destinate alla seconda macro-strategia di massimizzazione dell'efficienza energetica dei dispositivi attivi a servizio del ciclo idrico integrato del Distretto Urbano, in funzione dei parametri ambientali che subiscono l'impatto dei cambiamenti climatici e alla terza macro-strategia di riduzione delle emissioni di CO₂ legate al ciclo idrico integrato con soluzioni tecnologiche e impiantistiche a scala dell'edificio e dell'intero Distretto Urbano: tali linee guida sono estremamente variabili e risentono sia dell'impatto di media, bassa o alta criticità in riferimento ai parametri climatici legati alla risorsa idrica che del tipo di infrastruttura idrica da cui il Distretto è servito.

Per questa ragione se la prima parte delle linee guida può essere seguita a tutto tondo (ad eccezione delle tecniche di drenaggio urbano sostenibile che richiedono comunque una selezione della tecnica più adatta in funzione delle analisi ambientali svolte sul sito specifico), indipendentemente dal contesto in cui si opera, e sebbene l'inefficienza e l'obsolescenza dei dispositivi impiantistici ancora

in uso per il sistema di distribuzione idrica sia un problema largamente condiviso nel panorama internazionale e nazionale, le linee guida che derivano dalle altre due macro-strategie che si rivolgono ai tecnici e agli esperti del settore costruzioni e del settore idrico, fanno specifico riferimento a quelle zone che subiscono un impatto di media criticità in riferimento ai parametri climatici legati alla risorsa idrica.

Alla base di tali linee guida, che rigorosamente rispondono allo Scenario di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, ci sono soluzioni volte all'efficientamento del servizio idrico mediante azioni diverse e sinergiche che possono portare vantaggi sul fronte del risparmio idrico, del risparmio energetico e della produzione di energia, guardando all'intero ciclo dell'acqua da una prospettiva sistemica in cui tutta l'acqua sia acqua utile e il recupero delle risorse sia massimizzato e, parallelamente all'utile, sia massimizzata anche l'efficienza energetica degli impianti a servizio del ciclo idrico integrato.

Linee di intervento di *Deep Energy-Zero Emission Renovation* che possono essere riassunte nel:

- efficientamento energetico degli impianti di captazione, adduzione e potabilizzazione con produzione in loco;
- efficientamento energetico degli impianti di distribuzione attraverso la distrettualizzazione dell'impianto;
- efficientamento energetico degli impianti di trattamento e depurazione delle acque reflue e riutilizzo dell'acqua effluente dall'impianto di trattamento delle acque reflue;
- produzione di energie rinnovabili in loco nelle reti di distribuzione idrica;
- recupero energetico e termico nei sistemi di drenaggio urbano;
- implementazione dei sistemi di telecontrollo e intervento da remoto tramite l'installazione di dispositivi *smart metering* volti al monitoraggio dei parametri di pressione, portata e consumi idraulici ed energetici;
- inserimento di sistemi di monitoraggio, rilevamento e riduzione delle perdite;
- installazione di strumenti in grado di ottimizzare le pressioni di esercizio nelle reti di distribuzione;
- ottimizzazione della performance della rete idrica tramite *Water Management System*;
- uso esclusivo di energie da fonte rinnovabile;

e che prevedono alla base la scelta adeguata del tipo di fonte rinnovabile da inserire in funzione dei parametri e delle analisi ambientali, della posizione geografica dei vari Distretti Urbani e dello studio della reportistica nazionale sulle fonti rinnovabili più diffuse e produttive in loco.

Solo attraverso l'applicazione delle linee guida volte al risparmio idrico, alla riduzione dei consumi e al miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche attraverso una gestione sostenibile combinate con quelle volte ai processi di massimizzazione dell'efficienza energetica e dell'efficienza idrica si può arrivare ad ottenere un azzeramento completo, o quasi, delle emissioni di carbonio legate alle risorse idriche e, di conseguenza, concorrere all'obiettivo-cardine di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente, dei Distretti Urbani e delle infrastrutture idriche nel segmento di pertinenza.

PARTE IV

Conclusioni

Conclusioni

Quanto emerso da tutto l'iter di Ricerca svolto nel corso del triennio appena trascorso e presentato all'interno della Tesi di Dottorato, restituisce un piccolo contributo, che può definirsi quasi di nicchia, in risposta alle attese di raggiungimento dell'obiettivo-cardine di Decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente e dei Distretti Urbani nella loro dimensione multi-scalare, con *target* di riduzione delle emissioni di CO₂ del 50% al 2030 ed azzeramento al 2050.

Questo non perché si ritiene che il punto raggiunto possa non essere un punto sufficientemente esaustivo o avanzato, ma in forza della consapevolezza che nessuna, o quasi, delle componenti antropiche piuttosto che risorse naturali o energetiche, da sola, possa dare un contributo univoco tanto consistente da riuscire a soddisfare l'obiettivo prefissato dell'azzeramento delle emissioni di CO₂ a livello del Distretto Urbano al 2050; difatti è ormai noto, nei rami tecnici del settore delle costruzioni ed in particolare nel ramo della Progettazione Tecnologica Ambientale, che solo grazie ad una combinazione sistemica e sinergica tra strategie *blue*, *green* e *grey* e l'applicazione di sistemi tecnologici ambientali passivi e sistemi impiantistici attivi, che questo aspetto, in termini quantitativi, può ritenersi pienamente soddisfatto.

Inoltre, il *tool* di calcolo realizzato a scopo divulgativo-scientifico come *output* della presente Ricerca, attraverso il quale si riesce a quantificare, dal punto di vista operativo, la CO₂ emessa in fase di uso e distribuzione idrica all'interno del Distretto Urbano, correlando il consumo idrico anche al consumo energetico che ne deriva e, dunque, alla quantità di CO₂ correlata emessa in atmosfera, rimane comunque uno strumento da testare ulteriormente su più contesti urbani, diversi tra loro, perché un unico caso pilota, sebbene rappresenti un inizio nella raccolta dei dati a supporto della presente Ricerca in termini di riduzione delle emissioni di carbonio, non può, in maniera assolutistica, costituire un *unicum* senza ulteriori verifiche e applicazioni sul campo per valutarne l'effettiva validità scientifica.

Per altro non si può agire sul miglioramento del processo di circolarità delle risorse idriche senza prima conoscere quali siano, alla luce della situazione attuale e degli sviluppi futuri previsti e prevedibili, gli impatti dei cambiamenti climatici sui parametri ambientali legati alla risorsa stessa quali, tra quelli esaminati in questa sede, la piovosità annua e stagionale, la frequenza dei periodi di siccità, il tasso di evapotraspirazione stagionale e l'umidità del suolo, nonché il livello di ricarica delle

acque di falda; perché dall'analisi di ciascuno di questi parametri emergono indizi fondamentali per stabilire le strategie più efficaci per arrivare ad una massimizzazione dell'efficienza idrica ed energetica correlata, al fine di gestire adeguatamente la domanda idrica ed evitare gli sprechi della preziosa risorsa blu, limitandone le eccessive emissioni climalteranti ingiustificate.

Per di più, come ribadito e dimostrato più volte nel corso della Trattazione, operare sulle risorse idriche a livello del Distretto Urbano comporta anche un necessario e imprescindibile coinvolgimento del gestore del servizio idrico di pertinenza e quindi, a sua volta, ogni simulazione sul *tool* di calcolo necessita di indicatori quantitativi di *input* estremamente precisi per poter ricavare un quadro effettivamente rispondente alla situazione emissiva reale. Indicatori che non vengono calcolati e/o divulgati con frequenza dai gestori idrici, anzi, sono piuttosto rari da reperire e, per altro, di volta in volta possono subire variazioni anche considerevoli, in funzione dell'orografia del territorio, delle fonti di approvvigionamento idrico e di produzione di energia proprie del servizio idrico integrato locale, oltre che della densità abitativa del Quartiere o Distretto Urbano considerato, della distanza delle utenze dagli impianti di distribuzione idrica, della eventuale centralizzazione o distrettualizzazione degli impianti di trattamento, e di ulteriori fattori caratteristici di ciascuna porzione di territorio e anche del periodo durante il quale questi vengono rilevati.

E dunque, è solo a partire dalla definizione degli indicatori unitari, che ciascun gestore del servizio idrico locale deve identificare per ognuno dei propri segmenti e delle fasi del ciclo idrico integrato, e divulgare secondo un linguaggio comune a livello europeo che ne garantisca l'omogeneità e la confrontabilità, che si riescono ad individuare e a calcolare le emissioni di CO₂ effettivamente rilasciate in atmosfera da ciascun Distretto Urbano o Quartiere, quantità necessarie per inserire il quadro emissivo raggiunto, non soltanto nell'insieme delle emissioni globali del Distretto Urbano ma anche in quello relativo all'infrastruttura idrica stessa.

Tuttavia, anche arrivando, attraverso l'applicazione delle strategie e delle soluzioni passive e attive, tecnologiche e impiantistiche, definite nello Scenario di *Deep Energy-Zero Emission Renovation*, ad azzerare completamente le emissioni di CO₂ correlate ai consumi idrici ed energetici ad essi legate nei Distretti Urbani, di fatto, inserendo questo dato nel quadro emissivo globale del Distretto Urbano, in termini quantitativi si ottiene soltanto una piccola percentuale di riduzione, pari a circa il 5%, corrispondente alla quantità di emissioni di CO₂ non rilasciata in atmosfera in funzione della domanda idrica, in fase di uso e distribuzione distrettuale.

Percentuale che comunque, per quanto piccola, ad oggi viene tralasciata quando invece è importante che venga quantificata e considerata nel quadro emissivo globale, anche e soprattutto in relazione ai consumi energetici (consumi energetici che sono stati analizzati allo stato di fatto e nei vari Scenari di riqualificazione anche gra-

zie alla collaborazione e all'ausilio del prof. Francesco Mancini, docente afferente al settore scientifico-disciplinare ING-IND11), laddove il paradigma *Net Zero Energy District* e *Net Zero Carbon* o *Carbon-Neutral District* devono interrelarsi tra loro sistemizzando le componenti *green, blue* e *grey* e i sistemi responsabili delle emissioni di gas climalteranti.

Nonostante questo, è stato altresì dimostrato in questa sede come la sinergia tra le azioni volte prioritariamente al risparmio e al miglioramento dei processi di circolarità della risorsa idrica, in Italia ancora davvero molto poco diffuse nonostante l'avanzamento delle conoscenze dal punto di vista tecnico e accademico sia già piuttosto avanzato, e quelle volte alla produzione energetica da fonte rinnovabile in loco, in combinazione tra loro, celino un enorme potenziale in termini di resilienza e mitigazione delle cause del cambiamento climatico, con importanti ricadute sull'aspetto della diminuzione dei consumi idrici potabili, della conseguente diminuzione dell'estrazione delle acque di falda, in sempre più rapido e crescente esaurimento, nonché della valorizzazione delle potenzialità ambientali del contesto urbano sul quale si interviene e di riduzione delle emissioni di gas climalteranti.

Prospettive future di Ricerca

Facendo seguito alle Conclusioni e ai Limiti emersi nel precedente paragrafo, le prospettive future di Ricerca prevedono l'ulteriore approfondimento dello stretto rapporto che lega consumi idrici, consumi energetici ed emissioni di CO₂ correlate, al fine di valutare questo legame, non solo nei vari Scenari di riqualificazione che sono stati già delineati all'interno della presente Tesi, ma andando ad calarlo in contesti urbani, nazionali e internazionali, geograficamente collocati in zone che manifestino un rischio di impatto dei cambiamenti climatici molto alto e molto basso in funzione dei parametri ambientali correlati alla risorsa idrica.

Questo perché, dopo aver analizzato le potenzialità degli interventi simulati nel Quartiere romano, e quindi in una zona dove l'impatto dei cambiamenti climatici presenta un medio rischio, si vuole anche andare ad indagarne i risvolti, in termini di processo di circolarità delle risorse idriche, di usi energetici e di produzione energetica da fonti rinnovabili, raggiungibili in zone più critiche dal punto di vista idrico.

Inoltre, vista la flessibilità geografica e temporale, propria di parte degli indicatori determinati nel metodo di calcolo delineato, si attende, nel prossimo futuro, la rivoluzione che investirà il settore idrico europeo, andando ad imporre una tassonomia comune che riguarderà, tra le altre, la restituzione dei dati legati ai consumi e alle emissioni di CO₂ dell'intero servizio idrico integrato, con l'auspicio che tale rivoluzione porti anche ad una trasmissione e ad una divulgazione dei dati da parte dei gestori in forma univoca e confrontabile per poter parametrizzare gli indicatori, attualmente molto variabili, ai fini di un miglioramento delle prestazioni del *tool* di calcolo realizzato come *output* della presente Trattazione.

Tool di calcolo che ci si attende di mantenere all'interno del Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura, e di divulgare all'interno di Seminari e *Workshop* all'interno dei Corsi mirati alla Progettazione Tecnologica Ambientale per fornire a studenti, laureandi e dottorandi di nuovi cicli un impianto metodologico da seguire per il calcolo dei consumi idrici, energetici correlati e delle emissioni di CO₂ rilasciate in atmosfera dai Distretti Urbani e dai Quartieri, prevalentemente di Edilizia Residenziale Pubblica del panorama romano, oggetto di studio vista la forte vocazione dei Corsi, oltre che dell'attenzione comunitaria, verso la Riqualificazione del patrimonio edilizio esistente.

PARTE V

References

References

- Àbaton Architecture Studio (2013), Àbaton projects - Estate in Extremadura, Spain. Available at: <https://abatones/en/projects/estate-in-extremadura/>
- ACEA Acqua (2022b), Bilancio di sostenibilità ACEA ATO 2 2021. Available at: <https://www.gruppo.acea.it/content/dam/acea-corporate/acea-foundation/pdf/it/acqua/ato2/bilanci/bilancio-sostenibilita-acea-ato-2-2021.pdf>
- Acque SpA e MATTM (2019a), Impronta di carbonio del Servizio Idrico Integrato – conclusioni. Available at: <https://carbo.acque.net/index.php/conclusioni>
- Acque SpA e MATTM (2019b), Impronta di carbonio del Servizio Idrico Integrato – metodi di riferimento. Available at: <https://carbo.acque.net/index.php/metodi-di-riferimento>
- Agencé de la transition écologique e République française (2011a), Resource centre for greenhouse gas accounting – calculation methods: GHG inventories for territories, France;
- Agencé de la transition écologique e République française (2011b), Resource centre for greenhouse gas accounting – calculation methods: specific regulatory exercises, France;
- Agencé Magnum (2017), Carquefou 140 logements collectifs Passivhaus. Répondre à un contexte fortement paysagé et des exigences environnementales d'éco-quartier. Available at: <http://www.agencemagnum.com/projets/tempo-et-parc-de-flore-140-logements-passivhaus/>
- Androusoyopoulos, A., et al. (2020), Mapping the deep renovation possibilities of European Buildings in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 410 (2020) 012056, doi:10.1088/1755-1315/410/1/012056;
- Antonini, E., Tucci, F. (2017), Progettare un futuro desiderabile per le città, in Antonini, E., Tucci, F. (eds.), Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy, la costruzione di un manifesto della Green Economy per l'architettura e la città del futuro, ISBN 978-88-6627-216-8, Edizioni Ambiente, Milano;
- ARERA (2017), Delibera 917/2017/R/idr - Regolazione della qualità tecnica del servizio integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI) e Allegato A. Available at: <https://www.arera.it/allegati/docs/17/917-17.pdf>
- ARERA (2021), Delibera 917/2017/R/idr - Regolazione della qualità tecnica del servizio integrato ovvero di ciascuno dei singoli servizi che lo compongono (RQTI) e Allegato A - Versione integrata con le modifiche apportate con le deliberazioni 609/2021/R/IDR e 639/2021/R/IDR. Available at: <https://www.arera.it/allegati/docs/17/917-17rqi.pdf>
- ARUP (2016), The Circular Economy in the Built Environment, London. Available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>
- ARUP (2020a), Five-minute guide to zero net energy in buildings, London. Available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/promotional-materials/section/five-minute-guide-to-net-zero-energy-in-buildings>
- ARUP (2020b), Net Zero Carbon buildings: three steps to take now, London. Available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/net-zero-carbonbuildings-three-steps-to-take-now>
- ARUP (2022), How the water sector can embrace net zero, London. Available at: <https://www.arup.com/perspectives/clear-thinking-how-the-water-sector-can-embrace-net-zero>

ARUP and Ellen Macarthur Foundation (2020c), From principles to practices: realising the value of circular economy in real estate, London;

ARUP, The Rockefeller Foundation and the Resilience Shift (2019a), The City Water Resilience Approach, London;

ARUP, The Rockefeller Foundation and the Resilience Shift (2019b), The City Water Resilience Approach - Water Resilience Literature Review, London;

Associazione Decima50 (2017), Proposta di un piano unitario per il recupero, la riqualificazione e la tutela del patrimonio verde di Decima, Roma. Available at: <https://50annidecima.wordpress.com/proposta-di-un-piano-unitario-per-il-verde-di-decima/>

Baiani S. (2016), "L'esistente come risorsa. Re-duce Re-use Re-cycle", in Baiani, S., Clemente, C. (eds.), B-Side Inerti urbani, Il progetto tecnologico per la riqualificazione di spazi dimenticati, 23-32. Nuova Cultura, Roma

Bardi, U., Alvarez Pereira, C. (2022), Limits and Beyond: 50 years on from The Limits to Growth, what did we learn and what's next? A report to the Club of Rome. Exapt Press. ISBN: 978-19-1454-903-8;

Bardon, L. (2018), District of La Fleuriaye. Available at: <https://www.construction21.org/city/fr/district-of-la-fleuriaye.html>

Becciu, G., Paoletti, A. (2010), Fondamenti di costruzioni idrauliche. Utet Scienze tecniche, Milano. ISBN-10 8859805228;

Berrill, P. et al. (2016), Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe, Environmental Research Letters 11(1), p. 014012 doi: 10.1088/17489326/11/1/014012

BEWARE (2022), Assessment of socio-economic impact accounting for the hydrologic effectiveness of the interventions, LIFE17 e BEtter Water-management for Advancing Resilient-communities in Europe Project. Padova. Available at: https://www.lifebeware.eu/wp-content/uploads/2021/08/Annex-14_D4_Deliverable_Handbook-on-the-real-costs-to-sustain-for-SUDS-realization.pdf

Bionova e One Click LCA (2018), "The Embodied Carbon Review Embodied carbon reduction in 100+ regulations & rating systems globally", Bionova Ltd. Available at: https://www.oneclicklca.com/wpcontent/uploads/2018/12/Embodied_Carbon_Review_2018.pdf

BRE Global (2017), BREEAM International Non Domestic Refurbishment 2015 - Technical Manual SD225 1.4. Available at: https://files.bregroup.com/breeam/technicalmanuals/internationalRFO2015/#resources/output/rfrb_pdf_screen/sd225_rfo_int_2015_scr.pdf

C40 Cities (2017a), How Cities are building the Future we want: city progress towards meeting Net Zero Carbon Buildings Declaration commitments, London;

C40 Cities (2018), Net Zero Carbon Buildings Declaration - Planned Actions to Deliver Commitments, London;

C40 Cities (2020), The multiple benefits of Deep Retrofits: a toolkit for cities, C40 Cities Climate Leadership Group, London;

C40 Cities (2022), Net Zero Carbon Buildings Declaration - Annual City Progress Report, London;

C40 Cities (2022), Water Safe Cities technical report. London;

Callejas Moncaleano, D.C., Pande, S. and Rietveld, L. (2021), Water Use Efficiency: A Review of Contextual and Behavioural Factors. Water 3:685650. doi: 10.3389/frwa.2021.685650

Camera dei Deputati Servizio Studi XVIII Legislatura (2022), Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Roma;

Campioli, A., Torricelli, M.C., Mannino, I. (2017), Approccio Lyfe Cycle per la sostenibilità nel settore delle costruzioni e nelle trasformazioni del territorio, in Antonini, E., Tucci, F. (eds.), Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy, la costruzione di un manifesto della Green Economy per l'architettura e la città del futuro, ISBN 978-88-6627-216-8, Edizioni Ambiente, Milano;

Center for Neighborhood Technology (2010), The Value of Green Infrastructure - A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits, Washington;

China Development Bank Capital's Green and Smart Urban Development Guidelines (2015), Hammarby Sjöstad an Urban Development Case Study of Hammarby Sjöstad in Sweden, Stockholm. Available at: https://hammarbysjostad20.se/wp-content/uploads/2019/06/Hammarby-Sjostad_report_eng.pdf

Circle Economy (2019), City-as-a-service - how circular services models will practically shape the city of the future. Circle Economy, Amsterdam;

Circle Economy (2022), The Circularity Gap Report 2022. Circle Economy, Amsterdam;

Circular Economy Network e Enea (2021), 3° Rapporto sull'Economia Circolare in Italia - Focus sull'economia circolare nella transizione alla neutralità climatica, Roma;

COM (2007), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio - affrontare il problema della carenza idrica e della siccità nell'Unione Europea - COM(2007) 414 definitivo;

COM (2012), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee - COM(2012) 673 final, Bruxelles;

COM (2014a), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti - COM(2014) 398 final/2, Bruxelles;

COM (2014b), Comunicazione della Commissione relativa all'iniziativa dei cittadini europei "Acqua potabile e servizi igienico-sanitari: un diritto umano universale! L'acqua è un bene comune, non una merce!" - COM(2014) 177 final, Bruxelles;

COM (2018a), proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (rifusione) e allegati da 1 a 6 - COM(2017) 753 final, Bruxelles;

COM (2018b), Relazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio sull'attuazione della strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici - COM(2018) 738 final, Bruxelles;

COM (2019a), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Il Green Deal Europeo - COM(2019) 640 final, Bruxelles;

COM (2019b), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Un'ondata di ristrutturazione per l'Europa: invertire gli edifici, creare posti di lavoro e migliorare la vita - COM(2020) 662 final e Allegato, Bruxelles

COM (2019c), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo, al Comitato delle Regioni e alla banca europea per gli investimenti - Pacchetto "Unione dell'Energia", Una strategia quadro per un'Unione dell'energia resiliente, corredata da una politica lungimirante in materia di cambiamenti climatici - COM(2015) 80 final e tabella di marcia allegata, Bruxelles;

COM (2019d), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Un percorso verso un pianeta più sano per tutti, Piano d'azione dell'UE: "Verso l'inquinamento zero per l'aria, l'acqua e il suolo" - COM(2021) 400 final e Allegati 1 e 2, Bruxelles;

COM (2020a), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Il Bilancio dell'UE come motore del Piano per la Ripresa Europea - COM(2020) 442 final, Bruxelles;

COM (2020b), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Il momento dell'Europa: riparare i danni e preparare il futuro per la prossima generazione - COM(2020) 456 final, Bruxelles;

COM (2020c), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Un traguardo climatico 2030 più ambizioso per l'Europa, investire in un futuro a impatto climatico zero nell'interesse dei cittadini - COM(2020) 562 final, Bruxelles;

COM (2020d), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e

Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Energia per un’economia climaticamente neutra: strategia dell’UE per l’integrazione del sistema energetico – COM(2020) 299 final, Bruxelles;

COM (2020e), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Un nuovo piano d’azione per l’economia circolare per un’Europa più pulita e competitiva COM(2020) 98 final e Allegato, Bruxelles;

COM (2020f), Piano d’azione per l’economia circolare – per un’Europa più pulita e più competitiva, ISBN 978-92-76-19088-2 –doi:10.2779/798147, Ufficio delle pubblicazioni dell’Unione Europea, Luxemburg;

COM (2020g), Proposal for a Decision of the European Parliament and of the Council on a General Union Environment Action Programme to 2030 – COM(2020) 652 final 2020/0300 (COD), Bruxelles; EC(2020b)

COM (2021a) Proposta di Decisione di esecuzione del Consiglio relativa all’approvazione della valutazione del piano per la ripresa e la resilienza dell’Italia – COM(2021) 344 final, Bruxelles;

COM (2021b), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici – COM(2021) 82 final, Bruxelles;

COM (2021c), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni – “Pronti per il 55%”: realizzare l’obiettivo climatico dell’UE per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica – COM(2021) 550 final, Bruxelles;

COM (2021d), Documento di lavoro dei servizi della Commissione – Analisi del piano per la ripresa e la resilienza dell’Italia che accompagna il documento Proposta di Decisione di Esecuzione del Consiglio relativa all’approvazione della valutazione del piano per la ripresa e la resilienza dell’Italia – SWD(2021) 165 final, Bruxelles;

COM (2021e), Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell’edilizia (rifusione) – COM(2021) 802 final 2021/0426 (COD) e Allegati dall’1 al 9, Bruxelles;

COM (2022a), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni sul quadro di monitoraggio per l’8° programma di azione per l’ambiente: misurare i progressi compiuti verso la realizzazione degli obiettivi prioritari del programma per il 2030 e il 2050 – COM(2022) 357 final, Bruxelles;

COM (2022b), Relazione della Commissione al Parlamento europeo e al Consiglio sull’attuazione del dispositivo per la ripresa e la resilienza – COM(2022) 75 final, Bruxelles;

COM (2022c), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, Directive 2006/118/EC on the protection of groundwater against pollution and deterioration and Directive 2008/105/EC on environmental quality standards in the field of water policy and Annexes 1 to 6 – COM(2022) 540 final, Bruxelles;

COM (2022d), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast) and Annexes 1 to 8 – COM(2022) 541 final, Bruxelles;

Consiglio dell’Unione Europea (2021), Decisione di Esecuzione del Consiglio relativa all’approvazione della valutazione del piano per la ripresa e la resilienza dell’Italia – 10106/21 ECOFIN 645 CADREFIN 340 UEM 180 FIN 521 – Fascicolo istituzionale 2021/0168 (NLE), Bruxelles;

Conte, G. (2008), Nuvole e sciacquoni – come usare meglio l’acqua in casa e in città. Edizioni Ambiente srl, Milano. ISBN 978-88-89014-76-9;

Corgnati, S.P., Fabrizio, E., Ariaudo, F., Rollino, L. (2010), Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici), applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani, Report Ricerca di Sistema Elettrico, Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – Enea;

Crosson, C. (2016), Achieving Net Zero Water in Severe Drought Prone Areas: A Case Study of Catchment, Storage,

and Infiltration Optimization. Procedia Engineering. 145. 782-789. 10.1016/j.proeng.2016.04.102;

Crosson, C. (2018), Innovating the Urban Water System: Achieving a Net Zero Water Future Beyond Current Regulation. Technology Architecture+ Design 2, no. 1 (2018): 68-81, <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1420966>

De Groote, M., Lefever, M., Reinaud, J. for Building Performance Institute Europe e Industrial Innovation for Competitiveness i24c (2016), Scaling Up Deep Energy Renovation – Unleashing the Potential through Innovation & Industrialisation, ISBN 978-94-9126-319-4, Building Performance Institute Europe, Bruxelles;

De Matteis, F., Reale, L. (2018), Quattro quartieri spazio urbano e spazio umano nella trasformazione dell’abitare pubblico a Roma, DiAP PRINT progetti, Quodlibet, Macerata. ISBN 978-88-229-0106-4;

De Pasquale, A. (2019), Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia. ENEA laboratorio DUEE-SPS-ESE;

Demir, Ö., Yapıcıoğlu, P. (2019), Investigation of GHG emission sources and reducing GHG emissions in a municipal wastewater treatment plant, in GHG Greenhouse Gases Science and Technology vol.9(5) 948-964. <https://doi.org/10.1002/ghg.1912>

EA (2008), Greenhouse gas emissions of water supply and demand management options. Science Report – SC070010. Environment Agency, Bristol, UK. ISBN: 978-1-84432-921-2

EC (2013), Building a green infrastructure for Europe, Luxemburg. ISBN 978-92-79-33428-3 doi: 10.2779/54125;

EC (2014), Directorate-General for Environment, The EU Water Framework Directive. Publications Office <https://data.europa.eu/doi/10.2779/75229>, Bruxelles;

EC (2016), Commission staff working document – REFIT evaluation of the Drinking Water Directive 98/83/EC – SWD(2016) 428 final, Bruxelles;

EC (2019), Directorate-General for Energy, Clean energy for all Europeans, Publications Office - <https://data.europa.eu/doi/10.2833/9937>, Bruxelles;

EC (2020a), EU Energy System Integration Strategy (Factsheet), ISBN 978-92-76-39782-3 – doi:10.2775/582723, Bruxelles;

EC (2020b), Proposed Mission: 100 Climate-neutral Cities by 2030 – by and for the Citizens. Interim Report of the Mission Board for climate-neutral and smart cities, Publications Office of the European Union, Luxembourg;

EC (2020c), Renovation Wave (factsheet), ISBN 978-92-76-22975-9 – doi:10.2833/535670, Bruxelles;

EC (2021a), 2050: a healthy planet for all (factsheet), ISBN: 978-92-76-37478-7 – doi:10.2779/919609, Publications Office of the European Union, Luxembourg;

EC (2021b), From ambition to action – acting together for the planet (factsheet), ISBN 978-92-77-42826-8 - doi:10.2775/901157, Bruxelles;

EC (2021c), Making our homes and buildings fit for a greener future (Factsheet), ISBN 978-92-76-39728-1 – doi:10.2775/100333, Bruxelles;

EC (2022a), Commission implementing decision of 19.1.2022 establishing a watch list of substances and compounds of concern for water intended for human consumption as provided for in Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council and Annex – C(2022) 142 final, Bruxelles;

EC (2022b), Commission staff working document – evaluation of the Council Directive 91/271/CEE of 21 May 1991, concerning urban waste-water treatment – SWD(2019) 700 final, Bruxelles;

EC (2022c), Commission staff working document – impact assessment accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast) – SWD(2022) 541 final, Bruxelles;

EC (2022d), Communication to the Commission – Greening the Commission – C(2022) 2230 final, Strasbourg;

EC (2022e), Tool interattivo online: PVGIS - fotovoltaic geographical information system. Available at: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/

- Ecologic Institute for International and European Environmental Policy (2007), EU Water Saving potential. Report Part I and II – ENV.D.2./ETU/2007/0001r, Berlin. Available at: https://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/water_saving_1.pdf
- EEA (1998), Life Cycle Assessment (LCA) – a guide to approaches, experiences and information sources, report no. 6/1998, Copenhagen. ISBN 9209267-079-0;
- EEA (2019), Adaptation Challenges and Opportunities for the European Energy System – Building a climate resilient low-carbon energy system, EEA Report n. 01/2019, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-065-7 doi:10.2800/227321
- EEA (2020a), Climate change mitigation: Cutting greenhouse gas emissions through circular economy actions in the building sector, briefing n. 06/2020, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-247-7 – doi: 10.2800/675663;
- EEA (2020b), Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change, Copenhagen. ISBN: 978-92-9480-270-5 – doi: 10.2800/324620;
- EEA (2021), Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment, EEA Report n. 12/2021, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-391-7 doi:10.2800/320975
- EEA (2022), Beyond water quality – sewage treatment in a circular economy, EEA Report n. 05/2022, Copenhagen. ISBN 978-92-9480-478-5 doi:10.2800/897113
- EERE (2022a), Net Zero Water Building Strategies. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Washington DC. Available at: <https://www.energy.gov/eere/femp/net-zero-water-building-strategies>
- EERE (2022b), Scenario 1: The Ideal Net Zero Water Building. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Washington DC. Available at: <https://www.energy.gov/eere/femp/scenario-1-ideal-net-zero-water-building>
- EERE (2022c), Scenario 2: The Mainstream Net Zero Water Building. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Washington DC. Available at: <https://www.energy.gov/eere/femp/scenario-2-mainstream-net-zero-water-building>
- Ellen MacArthur Foundation (2017a), Cities in the Circular economy: an initial exploration, Chicago. Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/cities-in-the-circular-economy-an-initial-exploration>
- Ellen MacArthur Foundation (2017b), Urban Biocycles. Available at www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/UrbanBiocycles_EllenMacArthurFoundation_21-06-2017.pdf
- Ellen MacArthur Foundation in collaboration with SUN (Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit) and the McKinsey Center for Business and Environment (2015), Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe, Chicago. Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>
- Englehardt, J.D., Wu, T., Frederick Bloetscher, F., Deng, D., du Pisani, P., Eilert, S., Elmir, S., Guo, T., Jacangelo, J., LeChevallier, M., Leverenz, H., Mancha, E., Plater-Zyberk, E., Sheikh, B., Steinle-Darling, E. and Tchobanoglous, G. (2016), Net-zero water management: achieving energy-positive municipal water supply. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 2016,2, 250-260. <https://doi.org/10.1039/C5EW00204D>;
- Englehardt, J.D., Wu, T., Tchobanoglous, G. (2013), Urban net-zero water treatment and mineralization: Experiments, modeling and design. *Water research*. 47. 4680-4691. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.026>.
- Ertug Arcin, A. and Hoekstra, A.Y. (2012), Carbon and Water Footprints: Concepts, Methodologies and Policy Responses. United Nations World Water Assessment Programme. ISBN 978-92-3-001095-9 - UNESCO, France;
- Ertug Arcin, A. and Hoekstra A.Y. (2014), Water footprint scenarios for 2050: A global analysis, in *Environment International* 64 (2014) 71–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.019>
- EurEau (2021), Europe’s Water in Figures. An overview of the European drinking water and waste water sectors - 2021 edition. Available at: <https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-publications/5824-europe-s-water-in-figures-2021/file>
- European Parliament (2012), Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC;
- European Regional Development Fund, Baltic Urban Lab and Interreg Central Baltic (2019), Hammarby Sjöstad - one of the world’s most successful urban renewal districts. Available at: <https://www.balticurbanlab.eu/goodpractices/hammarby-sj%C3%B6stad-one-world%E2%80%99s-most-successful-urban-renewal-districts>
- Eurostat (2018), Population and population change statistics. Luxembourg. Available at: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Population_and_population_change_statistics#EU-28_population_continues_to_grow
- Eurostat Statistics Explained (2021), Glossary: Renewable energy sources. Online publication, ISSN 2443-8219. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Renewable_energy_sources
- Eurostat Statistics Explained (2022), Renewable energy statistics. Online publication, ISSN 2443-8219. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics
- Fabbri, M., De Groote, M., Rapf, O. for Building Performance Institute Europe (2016), Building Renovation Passports – Customised roadmaps towards deep renovation and better homes, ISBN 978-94-9114-317-5, Building Performance Institute Europe, Bruxelles;
- FAO AQUASTAT (n.d.), AQUASTAT – FAO’s Global Information System on Water and Agriculture. Available at: <https://www.fao.org/aquastat/en/databases/>
- Fricko, O., et al. (2016), Energy sector water use implications of a 2 °C climate policy, *Environmental Research Letters* 11(3), 034011 doi:10.1088/1748-9326/11/3/034011
- Gaffney, A., Huang, V., Maravilla, K., Soubotin, N. (2007), Hammarby Sjöstad Stockholm, Sweden: a case study. CP249, Fall;
- Garofalo, E., Mancusi, L., Morandi, S., Volonterio, M. (2017), Energia ed efficienza energetica del servizio idrico integrato. Area “Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori energetici”. Ricerca Sistema Energetico (RSE), Milano;
- GBC Italia (2016), LEED v4 for building operations and maintenance. Available at: https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED-v4-EBOM_Italian.pdf
- Ghimire, S.R., Barkdoll, B.D. (2007), Issues in Energy Consumption by Municipal Drinking Water Distribution Systems. Restoring Our Natural Habitat - Proceedings of the 2007 World Environmental and Water Resources Congress. 1-10. 10.1061/40927(243)471;
- Giampaolletti M., Capparuccini, E., Dionisi, F., Sabatelli, L.P., Severa, D., Sollami, M.D. (2019), Progetto di Riquilificazione del quartiere INCIS Decima – Tesi di Master II livello in Environmental Technological Design dell’Università degli Studi di Roma “La Sapienza” – a.a. 2018/2019;
- Giampaolletti, M., Romano, G. (2022), “Evoluzione urbana e sociale dell’edilizia popolare: il caso INCIS Decima e UNRRA Casas San Basilio a Roma”, *Techne (cluster SH) – Storie di Quartieri pubblici. Progetti e sperimentazioni per valorizzare l’abitare* – in *Materiali di Architettura e di Urbanistica*; pp.115-124; ISBN:9788857585307 Mimesis Edizioni;
- Glasgow Chamber of Commerce and Circular Glasgow in partnership with The Business of Cities (2021), *The Circular Economy & Cities – Implications and Imperatives*, Glasgow. Available at: <https://www.circularglasgow.com/wp-content/uploads/2021/04/The-Circular-Economy-and-Cities-Report.pdf>
- Global Buildings Performance Network - Schnapp, S., Sitjà, R., Laustsen, J. (2013), What is a Deep Renovation Definition? – Technical Report, Global Building Performance Network, Paris;
- Global Water Intelligence e Water without Carbon (2022), Mapping water’s carbon footprint – our net zero future hinges on wastewater, Media Analytics Ltd., Oxford. Available at:

without-carbon

Green City Network (2021), La carta delle città verso la neutralità climatica, Roma;

Grey, D. and C.W. Sadoff, 2007: Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545–571, doi:10.2166/wp.2007.021.

Griffiths-Sattenspiel, B. and Wilson, W. (2009), The Carbon Footprint of Water, A River Network Report, Colorado;

Griffiths-Sattenspiel, B. (2010), Water-Energy toolkit: understanding the Carbon footprint of your water use, A River Network Report and Water & Energy Program, Colorado;

GUCE (1991), Direttiva del Consiglio del 21 maggio 1001 concernente il trattamento delle acque reflue urbane (91/271/CEE) – L.135/40 del 30.5.1991;

GUCE (1998a), Direttiva 98/15/CE della Commissione del 27 febbraio 1998 recante modifica alla direttiva

91/271/CEE del Consiglio per quanto riguarda alcuni requisiti dell'allegato I – L. 67/29 del 7.3.1998;

GUCE (1998b), Direttiva 98/83/CE del Consiglio del 3 novembre 1998 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano – L. 330/32 del 5.12.98 e successivamente modificata da Regolamento (CE) n 1882/2003 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 settembre 2003 (L.284 del 31.10.2002), Regolamento (CE) n 596/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 giugno 2009 (L. 188 del 18.7.2009) e Direttiva (UE) 2015/1787 della Commissione del 6 ottobre 2015 (L. 260 del 7.10.2015);

GURI (1997), articolo 2.2 dell'allegato 2, D.M. LL.PP. 99/97 recante "Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature" (G.U. n. 99 del 8.01.1997).

Available at: https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1997-04-18&atto.codiceRedazionale=097G0136&elenco30giorni=false

GURI (2006), Norma in materia ambientale. D.L. 3 aprile 2006, n. 152 (GU Serie Generale n.88 del 14-04-2006 - Suppl. Ordinario n. 96), Roma. Available at: <https://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/materiaAmbientale>
GURI (2012), DPCM 20 luglio 2012 Individuazione delle funzioni dell'Autorità per l'energia elettrica ed il gas attinenti alla regolazione e al controllo dei servizi idrici, ai sensi dell'articolo 21, comma 19 del decreto-legge del 6 dicembre 2011, n. 201, convertito, con modificazioni, dalla legge 22 dicembre 2011, n. 214. (12A10321) (GU Serie Generale n.231 del 03-10-2012)

GURI (2022), Spediz. abb. post. 45% - art. 2, comma 20/b Legge 23-12-1996, n. 662 - Filiale di Roma, Anno 163 – numero 183. Ufficio pubblicazione leggi e decreti, Roma. Available at: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2022/08/06/183/sg/pdf>

GUUE (1994), Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici – Dichiarazioni - L 033 del 07.02.1994 pag. 0013 – 0028;

GUUE (2008), Direttiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 Dicembre 2008, relativa agli standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive del Consiglio 82/176/CEE, 85/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE e 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio – L. 348 del 24.12.2008 e successivamente modificata da Direttiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 agosto 2013 – L. 226 del 24.8.2013;

GUUE (2010), Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia – L. 153/13 del 18.6.2010;

GUUE (2011), Regolamento (UE) N. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio – L. 88/5 del 4.4.2011;

GUUE (2014), Decisione di esecuzione della Commissione del 26 giugno 2014 concernente i moduli per la comunicazione delle informazioni relative ai programmi nazionali di applicazione della direttiva 91/271/CEE del Consiglio – L. 197/77 del 4.7.2014;

GUUE (2016), Accordo di Parigi – L 282/4 del 19.10.2016;

GUUE (2018a), Decisione UE 2018/229 della Commissione del 12 febbraio 2018 che istituisce, a norma della direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, i valori delle classificazioni dei sistemi di monitoraggio degli Stati membri risultanti dall'esercizio di intercalibrazione e che abroga la decisione 2013/480/CE della Commissione – L. 47/1 del 20.2.2018;

GUUE (2018b), Direttiva UE 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica – L 156/75 del 19.6.2018;

GUUE (2018c), Direttiva UE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2019 che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica – L 328/210 del 21.12.2018;

GUUE (2020), Direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2020 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (rifusione) – L. 435/1 del 23.12.2020;

GUUE (2021), Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 giugno 2021 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 ("Normativa europea sul Clima" – L 243/1 del 9.7.2021);

GUUE (2022), Decisione (UE) del Parlamento europeo e del Consiglio del 6 aprile 2022 relativa a un programma di azioni dell'Unione per l'ambiente fino al 2030 – L 114/22 del 12.4.2022;

Hernandez, P., Kenny, P. (2010), From net energy to zero energy buildings: defining lifecycle zero energy buildings (LC-ZEB) in Energy and Buildings 42(6) 815-821, doi:10.1016/j.enbuild.2009.12.001;

Hirvonen, J., Saari, A., Jokisalo, J., Kosonen, R. (2022), Socio-economic impacts of large-scale deep energy retrofits in apartment buildings, in Journal of Cleaner Production, 368(133187), ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.clepro/2022.133187>

Hoekstra, A.Y. (eds.) (2003), Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, 12–13 December 2002. Value of Water Research Report Series No. 12. Delft, the Netherlands, UNESCO-IHE;

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A. K. (2007), Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, Vol. 21, No. 1, pp. 35–48;

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A., Aldaya, M. and Mekonnen, M. (2011), The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard, London, Earthscan. Available at: www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf

Hoekstra A.Y. (2017), Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field, in *Water Resource Manage.* DOI: 10.1007/s11269-017-1618-5

Hutchinson R. Architecture (2020), Project of a desert house designed for water. Available at: <https://robhutcharch.com/casa-temascaltepec>

I4C (2021a), Italy Climate Report 2021 – la performance dell'Italia sui temi del Clima e dell'Energia, Roma. Available at: <https://italyforclimate.org/wp-content/uploads/Italy-Climate-Report-2021-Italy-for-Climate.pdf>

I4C (2021b), La roadmap per la neutralità climatica dell'Italia – edizione 2021, Roma. Available at: <https://italyforclimate.org/wp-content/uploads/I4C-Roadmap-2030-per-la-neutralita%CC%80-climatica-dellItalia-2021.pdf>

I4C (2021c), Una legge per la protezione del Clima in Italia – position paper di Italy for Climate, Roma. Available at: <https://italyforclimate.org/wp-content/uploads/legge-clima-position-paper-dicembre-2021.pdf>

IEA (2018), World Energy Outlook 2018, International Energy Agency, Paris. Available at: <https://www.iea.org/weo2018/>

IPCC (2014), Urban areas. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.

Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

- Change pp. 535-612. Available at: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-Chap8_FINAL.pdf
- IPCC (2018a), IPCC Special Report Global Warming of 1.5°C, Switzerland;
- IPCC (2018b), Annex I: Glossary, In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_AnnexI_Glossary.pdf
- IPCC (2019a), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. ISBN 978-4-88788-232-4
- IPCC (2022a), Summary for Policymakers, in: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001;
- IPCC (2022b), 2022: Europe. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1817–1927, doi:10.1017/9781009325844.015;
- IPCC (2022c), 2022: Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi:10.1017/9781009325844.006.;
- IPCC (2022d), 2022: Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 907–1040, doi:10.1017/9781009325844.008
- IRENA (2015), Renewable energy in the water, energy & food nexus, Abu Dhabi, UAE. Available at: http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Water_Energy_Food_Nexus_2015.pdf
- IRP - Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. (2020). Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. ISBN 978-92-807-3771-4 – doi: 10.5281/zenodo.3542680. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya;
- IRP for UNEP (2020), Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya;
- ISPRA (2020), Indicatori di efficienza e decarbonizzazione nei principali paesi europei – edizione 320/2020 – ISBN 978-88-448-1006-1, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma
- ISPRA (2022), Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico. Rapporto n. 363/2022. ISBN 978-88-448-1107-5. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma
- ISTAT (2022a), Censimento delle acque per uso civile. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/279363>
- ISTAT (2022b), Rilevazione dati meteo-climatici ed idrologici. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/202875>
- ISTAT (2022c), Le statistiche dell'Istat sull'acqua - anni 2019-2021. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/268242>
- ISTAT (2022d), Giornata mondiale dell'acqua 2022 - le statistiche ISTAT sull'acqua 2019-2021. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/268255>
- ISTAT (2022e), Censimento permanente popolazione e abitazioni. Available at: <https://www.istat.it/it/censimenti/popolazione-e-abitazioni>
- ITACA (2015a), PROTOCOLLO ITACA LAZIO 2015, destinazione d'uso Residenziale. Available at: https://www.regione.lazio.it/sites/default/files/2021-04/Protocollo_Itaca_Residenziale_2015.pdf
- ITACA (2015b), Protocollo Itaca Lazio 2015, destinazione d'uso non Residenziale. Available at: https://www.regione.lazio.it/sites/default/files/2021-04/Protocollo_Itaca_Non_Residenziale_2015.pdf
- Kehrein, P., et al. (2020), A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants — market supply potentials, technologies and bottlenecks, Environmental Science: Water Research & Technology 6, pp. 877-910, <https://doi.org/10.1039/c9ew00905a>
- Legambiente (2022), Scocchera, E. e Minutolo, A. (eds.) Acque Sotterranee – Il necessario è invisibile agli occhi, Ufficio scientifico Legambiente, Roma;
- Ligtvoet W., et al. (2018), The Geography of Future Water Challenges: PBL Netherlands. Available at: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-the-geography-of-future-water-challenges-2920_2.pdf
- Liu, F., Tait, S., Schellart, A., Mayfield M, Boxall J. (2020), Reducing carbon emissions by integrating urban water systems and renewable energy sources at a community scale, in Renewable and Sustainable Energy Reviews 123 (2020) 109767. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109767>
- Loire-Atlantique Développement – SELA (2022), La Fleuriaye, nature d'advance Carquefou. Available at: <http://www.quartierlafleuriaye.fr/decouvrir/nature-davance/>
- Lorenzen, M., Scher, M. - Salesforce (2020), More than a Megawatt: Embedding Social & Environmental Impact in the Renewable Energy Procurement Process, San Francisco;
- Losasso, M., Davoli, P., Leone, M.F. (2017), Ambiente costruito e Mitigazione climatica, in Antonini, E., Tucci, F. (eds.), Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy, la costruzione di un manifesto della Green Economy per l'architettura e la città del futuro, ISBN 978-88-6627-216-8, Edizioni Ambiente, Milano;
- Mairie de Carquefou (2022), ZAC (Zone d'Aménagement Concerté) di Fleuriaye II. Available at: <https://www.carquefou.fr/zac-de-la-fleuriaye-ii/>
- Mancini, F., Cecconi, M., Lo Basso, G., de Santoli, L. (in press), Testing sito web e popolazione database per la definizione di benchmark di consumo delle utenze residenziali, Report Ricerca di Sistema Elettrico, Accordo di Programma Ministero della Transizione Ecologica – ENEA;
- Mancini, F., Lo Basso, G. (2020), How Climate Change affects the building energy consumptions due to cooling, heating and electricity demands of Italian Residential Sector, in Energies 13(410), 1-24, DOI: 10.3390/en13020410
- Marra Campanale, R. (2019), I conti ambientali per chiudere il cerchio, in Obiettivo sostenibilità – l'Italia e l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, Ecoscienza n. 3/2019
- Masi, F., Rizzo, A., Bresciani, R. (2018), Sustainable Rainwater Management in the City: Opportunities and Solutions for the Anthropogenic Environmental Impacts Reduction and Urban Resilience Increases in Smart Metropolis. Dlugi Targ 39/40, 80-830 Gdansk, 109-119; 978-83-65496-02-07
- Material Economics (2020), "The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation", Stockholm. Available at: <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy>
- MATTM (2011), Programma per la Valutazione dell'Impronta Ambientale. Available at: <https://www.mase.gov.it/pagina/programma-la-valutazione-dell-impronta-ambientale>
- McMahon J.E., Price S.K., (2011), Water and Energy Interactions, Lawrence Berkley National Laboratory, Berkeley, CA. Available at: <https://escholarship.org/content/qt5pr6r5h6/qt5pr6r5h6.pdf?t=mqv33o>
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. Behrens III W.W. (1972), The limits to growth, a report for the club of Rome's project on the predicament of mankind, Universe Books, New York. ISBN 0-87663-165-0;
- MEF e Italia Domani (2021), Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Available at: <https://www.mef.gov.it/focus/Il-Piano-Nazionale-di-Ripresa-e-Resilienza-PNRR/>
- Milano, V. (2012), Acquedotti. Guida alla progettazione. Hoepli, Milano. ISBN-10 8820351838;

- Millennium Ecosystem Assessment, (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC - ISBN 1-59726-040-1;
- Mininni, G., Del Giacco, L., Bologna, P., Petta, L. – membri del gruppo di lavoro “indirizzi per una migliore gestione della risorsa idrica” per gli Stati Generali della Green Economy (2017), *Indirizzi per una migliore gestione della risorsa idrica - Documento di Approfondimento*, Roma. Available at: https://www.statigenerali.org/wp-content/uploads/2017/11/sgge_2017_documento_gdl_gestione_risorsa_idrica.pdf
- Mirò Rivera Architects (2018), *Publication of the details of the Hill Country House, located in Austin, Texas*. Available at: <https://www.mirorivera.com/hill-country-house>
- MiSE, MATTM, MIT (2020), *Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima*, Roma;
- MiSE (2021), *Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – testo integrale*, Roma;
- MITE (2021), *Dir. Gen. Economia Circolare - CAM – Criteri Ambientali Minimi*, Roma. Available at: <https://gpp.mite.gov.it/Home/Cam>
- MITE (2022a), *Ho rispetto per l’acqua, sensibilizzare a un consumo responsabile della risorsa idrica*. Available at: <https://www.horispettoperlacqua.it/il-progetto/>
- MITE (2022b), *Dipartimento Energia - Direzione Generale Infrastrutture E Sicurezza - La situazione energetica nazionale nel 2021*, Roma. Available at: https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2021.pdf
- Nantes Métropole (2017), *le grand débat: la Transition Énergétique c’est nous. Rapport Final par la Commission du débat*, Nantes;
- Naserisafavi, N., Yaghoubi, E., Sharma, A.K. (2022), *Alternative water supply systems to achieve the net zero water use goal in high-density mixed-use buildings*, *Sustainable Cities and Society*, Volume 76, 103414. ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103414>.
- North America Weather Modification Council (2018), *Cloud seeding, the environment and the climate*, Austin, Texas. Available at: http://www.nawmc.org/publications/Environment%20r%2011%20press_final.pdf
- OJEU (2020), *Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse – L. 177/32 del 5.6.2020*;
- Olson, P., Svane, Ö., Gullström, C. (2021), *Mind the gap! Backcasting local actors’ climate transition in Hammarby Sjöstad*, Stockholm. *Futures* 128 (2021) 102703. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102703>
- ONU (2015), *Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*, NYC, USA;
- Pandis Iverot, S., Brandt, N. (2011), *The development of a sustainable urban district in Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden? Environmental Development Sustainability*, DOI 10.1007/s10668-011-9304-x
- Petta, L. (2022), *Acqua: siccità, i 20 consigli ENEA per il risparmio idrico (ed energetico)*. ENEA, Roma. Available at: <https://www.enea.it/it/Stampa/comunicati/acqua-siccita-i-20-consigli-enea-per-risparmiare-acqua-ed-energia/#nota2>
- Pitcock, J. et al. (2015), *Climate, energy, and water: managing trade-offs, seizing opportunities*, Cambridge University Press, Cambridge (UK);
- Pluciennik-Koropczuk E., Myszograj S., Mąkowski M. (2022), *Reducing CO2 Emissions from Wastewater Treatment Plants by Utilising Renewable Energy Sources—Case Study*. *Energies*; 15(22):8446. <https://doi.org/10.3390/en15228446>
- Pouyfaucou, A.B. and L. García-Rodríguez (2018), *Solar thermal-powered desalination: a viable solution for a potential market*. *Desalination*, 435, 60–69, doi:10.1016/j.desal.2017.12.025;
- Probert, J. Koenig-Lewis, N., Stacey, K., Zhao, A., Xuan, Y. (2014), *Sustainable water consumption: the role of consumer behaviour in (re)shaping water utility industry business models*;
- Quaranta, E., Dorati, C. e Pisticchi, A. (2021), *Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios*. *Sci Rep* 11, 12163, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88141-7>
- Raitano, M. (2018), *Decima “Quartiere d’autore”. Una lettura orientata al progetto*, in De Matteis, F., Reale, L. (eds.), *Quattro quartieri. Spazio urbano e spazio umano nella trasformazione dell’abitare pubblico a Roma*; DiAP PRINT progetti, Quodlibet, Macerata. ISBN 978-88-229-0106-4. pp. 200-210
- Ramboll Environ (2020), *Blue-green Infrastructures as tools for the management of urban development and the effects of climate change*, Madrid;
- Ramboll’s Liveable Cities Lab (2020), *Strengthening Blue-Green Infrastructure in our Cities - Enhancing Blue-Green infrastructure & social performance in high density urban environments*, Copenhagen;
- REF Ricerche (2022a), *Soluzioni basate sulla natura nel servizio idrico: la risposta ad un clima che cambia*. Laboratorio SPL Collana Ambiente, Acqua n°228 dicembre 2022, REF Ricerche, Milano. ISSN 2531-3215
- REF Ricerche (2022b), *Climate-Smart Water Utilities: la roadmap per la decarbonizzazione del settore idrico*, Laboratorio SPL Collana Ambiente LabTech N°212 maggio 2022. REF ricerche, Milano. ISSN 2531-3215
- REN21 (2022), *Renewables 2022 Global Status Report*. REN21 Secretariat c/o UN Environment Programme, Paris. ISBN 978-3-948393-04-5
- Réseau durable, réflexions sur l’énergie en réseau (2015), *Villes & territoires intelligents - La Fleuriaye: éco-quartier emblématique de Carquefou*.
- Roma Capitale – Unità Operativa di Statistica del Dipartimento Trasformazione Digitale (2019), *I numeri di Roma Capitale Ambiente Anno 2019*. Available at: https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/Ambiente_2019_2_Numeri_RC.pdf
- Roma Capitale – Unità Operativa di Statistica del Dipartimento Trasformazione Digitale (2020), *La Popolazione di Roma. Struttura e dinamica demografica. Anno 2019*. Available at: https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/La_popolazione_a_Roma2019.pdf
- Roma Capitale – Unità Operativa di Statistica del Dipartimento Trasformazione Digitale (2022), *La Popolazione di Roma. Anno 2021*. Available at: https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/Popolazione_Roma_2021_AS.pdf
- Romano, R., Andreucci, M.B., Giancola, E. (2022), *Positive Energy District e azioni di Deep Renovation per andare oltre gli obiettivi UE 2025 in Ri-innovare l’abitazione, housing renovation – Techne Journal, Journal of Technology for Architecture and Environment n.24 (2022)*, SITdA e Firenze University Press, Firenze;
- Ronchi, E. (2018), *Prefazione in Tucci, F., Costruire e Abitare Green, Approcci Strategie e Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale*, ISBN 978-88-94869-03-3, Altralinea Edizioni, Firenze;
- Ronchi, E., Tucci, F. (2020), *Pandemia e alcune sfide green del nostro tempo*, dossier del Green City Network e della Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile. Available at: https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wpcontent/uploads/dlm_uploads/Dossier_Pandemia-e-sfide-green-del-nostro-tempo-web.pdf
- Ronchi, E., et al. per gli Stati Generali della Green Economy, *Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile e Ecomondo (2021)*, *Relazione sullo stato generale della Green Economy – edizione 2021*, Roma;
- Ronchi, E., Tucci, F., et al. per il Green City Network, *Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile e Gestore Servizi Energetici (2022)*, *Indagine sull’impegno delle città verso la neutralità climatica – Rapporto di sintesi dei risultati dell’indagine*, Roma. Available at: https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/limpegno-delle-citta-verso-la-neutralita-climatica-2022.pdf
- Scott, C.A., M. Kurian, J.L. Wescoat, Jr. (2015), *The water-energy-food nexus: Adaptive capacity to complex global challenges*. In M. Kurian and R. Ardakanian (eds.), *Governing the Nexus: Water, Soil and Waste Resources Considering Global Change*, Springer, Berlin, pp. 15-38;
- Seattle Public Utilities and King County (2020), *Green Stormwater Infrastructure - Overview and Accomplishment Report, Nature-based solutions for managing polluted runoff*, Seattle;
- Smol, M. et al. (2020), *Circular economy model framework in the European water and wastewater sector*, *Journal of Material Cycles and Waste Management* 22, pp. 682-697, <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00960-z>

Stockholms stad, Stockholm Vatten, GlashusEtt, Fortum and Hammarby Sjöstad (2007), Hammarby Sjöstad – a unique environmental project in Stockholm. Stockholm, Sweden;

Strohbach, M.W., Arnold, E., Haase, D. (2012), The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach, in *Landscape and Urban Planning*, Volume 104, Issue 2, Pages 220-229, ISSN 0169-2046, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.013>

Stuchtey, M. (2015), Rethinking the water cycle, McKinsey & Company. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/rethinking-the-water-cycle>

Summerson, S., Atkins, J. and Harries, A. (2021), BREEAM In-Use Driving sustainability through existing buildings - Briefing Paper, United Kingdom. Available at: https://tools.breeam.com/filelibrary/BREEAM%20In%20Use/KN5686---BREEAM-In-Use-White-Paper_dft2.pdf

Svane, Ö. (2008), Situations of Opportunity – Hammarby Sjöstad and Stockholm City's process of environmental management. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 15(2), 76–88;

Technical Committee ISO/TC 207, Environmental management, Subcommittee SC 7, Greenhouse gas management and related activities (2018a), INTERNATIONAL STANDARD ISO 14064-1: Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals, Second edition 2018-12, Switzerland;

Technical Committee ISO/TC 207, Environmental management, Subcommittee SC 7, Greenhouse gas management and related activities (2018b), INTERNATIONAL STANDARD ISO 14067:2018: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification, Second edition 2018-12, Switzerland;

Testa, C. (2021), Rain Harvest Home at one with nature. In *The Plan magazine* - vol. 129/2021. Available at: <https://www.theplan.it/eng/magazine/2021/the-plan-129-04-2021/rain-harvest-home>

The Circonomist & NextGen EU (2021), Circular economy trailblazers reveal path towards sustainable water use and new markets. Available at: <https://nextgen.water.eu/circular-economy-trailblazers-reveal-path-towards-sustainable-water-use-and-new-market>

Tranfo, A. (2017), Decima: un quartiere progettato per l'uomo. Architetto Luigi Moretti (1965). Guida realizzata per l'associazione Decima50;

Tucci, F. (2018), *Costruire e Abitare Green, Approcci Strategie e Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale*, ISBN 978-88-94869-03-3, Altralinea Edizioni, Firenze;

Tucci, F., Baiani, S., D'Olimpio, D., Altamura, P., Turchetti, G. (2020a), Resilience, adaptation and mitigation under a green building approach in Sposito, C., *Resilience between mitigation and adaptation. Project. Essays and Researches*, Palermo University Press. ISBN: 978-88-5509-094-0;

Tucci, F., Cecafosso, V., Caruso, A., Turchetti, G. (2020b), *Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città green - assi strategici, indirizzi, azioni, d'intervento per la resilienza dell'ambiente costruito*; FrancoAngeli Editore, Milano. ISBN 978-88-351-0952-5;

Tucci, F., et al. per gli Stati Generali della Green Economy, Green City Network e Sapienza Università di Roma (2021a), *Rapporto "Verso la neutralità climatica delle Green City: approcci, indirizzi, strategie e azioni"*, Sapienza Università di Roma, Roma;

Tucci, F., Baiani, S., Altamura, P., Cecafosso, V. (2021b), *District Circular Transition e progetto tecnologico verso un modello di Circular City*, in *Techne Journal, Journal of Technology for Architecture and Environment* n.24 (2022) 22(2021), 227-239. Firenze University Press, Firenze. ISSN 2239-2243; doi: 10.36253/techne-10612;

Tucci, F., Giampaolletti, M. (2021c), *EUROPA Città Green*, in Dotti, M. (a cura di) *L'Eco-futuro magazine: Abitare sostenibile oltre la tana. Rivista bimestrale*, anno 3 – numero 6, pp. 36-38; *Econnection: la comunicazione che innova*, Roma;

UN-Water (2020), *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*, UNESCO, Paris. ISBN 978-92-3-100371-4;

UN-WWAP (2009), *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. ISBN: 978-1-84407-840-0;

UN-WWAP and UNESCO (2012), *The Dynamics of Global Water Futures Driving Forces 2011–2050 - Report on the findings of Phase One of the UNESCO-WWAP Water Scenarios Project to 2050*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. ISBN 978-92-3-001035-5;

UN-WWAP and UN-Water (2018), *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. UNESCO, Paris. ISBN 978-92-3-100264-9;

UNEP (2021), *2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*, Nairobi. Available at: https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf

UNEP (2022a), *Adaptation Gap Report 2022: Too Little, Too Slow – Climate adaptation failure puts world at risk*, Nairobi. Available at: <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>

UNEP (2022b), *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. Nairobi. Available at: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>

UNEP DTU Partnership, UN Environment-DHI Center on Water and Environment and CTCN Climate Technology Centre & Network (2017), *Climate Change Adaptation Technologies for Water: Fog Harvesting, a practitioner's guide to adaptation technologies for increased water sector resilience*. Available at: https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/resources/fog_harvesting.pdf

UNI Ente Italiano di Normazione (2012), UNI/TS 11445:2012 - Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - Progettazione, installazione e manutenzione;

Urban Green-blue grids for resilient cities (2018), Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden. Available at: <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/hammarby-sjostad-stockholm-sweden/>

Utilitatis Fondazione in collaborazione con Istat e Cassa Depositi e Prestiti (2022), *I dati del servizio idrico integrato in Italia, Blue Book 2022*, Pubblimedia srl, Roma. Available at: https://www.utilitatis.org/wp-content/uploads/2022/03/BBexecutive_2022.pdf

WAREG (2019), *Five Year Report 2014-2019*. WAREG Secretariat, Milan;

WAREG (2021), *Water Regulatory Governance across Europe*, WAREG Report 1/2021, WAREG Publications, Milano. Available at: <https://www.wareg.org/documents/water-regulatory-governance-in-europe/>

WAREG (2021), *Water Regulatory Governance across Europe*, WAREG Report 1/2021, WAREG Publications, Milano. Available at: <https://www.wareg.org/documents/water-regulatory-governance-in-europe/>

WE (2020a), *EU Water Alliance – Opportunity and necessity for Europe to build a water-smart society and circular economy*, Bruxelles. Available at: <https://watereurope.eu/eu-water-alliance-launches-its-manifesto/>

WE (2020b), *Water Europe Contributions to the European Green Deal and Horizon Europe – Water Europe Vision Implementation 2020-2027 and Annexes*, Bruxelles;

WE (2021), *For a green, circular & smart urban wastewater treatment directive*, Bruxelles;

WEF (2015), *The Global Risk Report 2015 – 10th edition – insight report*, Geneve/Cologny. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf

WEF (2019), *The Net-Zero Challenge: Global Climate Action at a Crossroads*, briefing paper (Part 1), Geneve/Cologny Switzerland;

WEF (2020), *The Net-Zero Challenge: Fast-Forward to Decisive Climate Action*, insight report. Geneve/Cologny Switzerland;

WEF (2021a), *Circular Cities: A circular water economy for cleaner, greener, healthier, more prosperous cities - The Imagine If Water Series. Briefing Paper*. Geneve/Cologny. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Imagine_IF_Water-Series_2021.pdf

WEF (2021b), *Net Zero Carbon Cities: An Integrated Approach*, Geneve/Cologny Switzerland. Available at: <http://>

www3.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Carbon_Cities_An_Integrated_Approach_2021.pdf
WEF (2021c), Net-Zero Challenge: the supply chain opportunity, insight report. Geneve/Cologny Switzerland;
WEF (2022a), COP27: Why it matters and 5 key areas for action. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2022/10/cop27-why-it-matters-and-5-key-areas-for-action/>
WEF (2022b), The Global Risks Report 2022 – 17th edition – insight report, Geneve/Cologny. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf
WEF in collaboration with JLL (2021), Green Building Principles: The Action Plan for Net-Zero Carbon Buildings, insight report. Geneve/Cologny Switzerland;
WEF in collaboration with Arup and AlphaBeta (2022), BiodiverCities by 2030: Trasforming Cities' Relationship with nature - insight report. Geneve/Cologny Switzerland;
Wilder, M.O., et al. (2016), Desalination and water security in the US–Mexico border region: assessing the social, environmental and political impacts. *Water Int.*, 41(5), 756–775, doi:10.1080/02508060.2016.1166416;
WINT (2022), The Carbon Emissions Impact of Water: A WINT White paper. New York . Available at: <https://wint.ai/the-carbon-footprint-of-water/>
Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. and Kellagher, R. (2015), *The SuDS Manual*, C753, CIRIA, London, UK. ISBN 978-0-86017-760-9
WWC (2018), *Start with water – putting water on local action agendas to support global change*, Marseille;
WWF Italia (2014), *L'impronta idrica dell'Italia*. Ufficio Editoria WWF Italia, Roma;
Zhivov, A., Lohse, R. (2020), What Is Deep Energy Retrofit? In: *Deep Energy Retrofit*. Springer, Cham, ISBN 978-3-030-30679-3 https://doi.org/10.1007/978-3-030-30679-3_2
Zhivov, A., Lohse, R. (2021), Major Renovation and Deep Energy Retrofit. In: *Deep Energy Retrofit — A Guide for Decision Makers*, SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer, Cham, ISBN 978-3-030-66211-0 https://doi.org/10.1007/978-3-030-66211-0_5

PARTE VI

Apparati di supporto

Pubblicazioni di rilevanza scientifica

Libri

- Tucci, F., Giampaoletti, M., Amadei, F., Nava, F., Pani, M.M., Romano, G., Tulelli, V. (2023), *Verso la neutralità climatica di architetture e città green. Sperimentazioni e casi di studio*, Franco Angeli, Milano [cofanetto in due volumi] (*in press*)

Contributi in volume con ISBN

- Mancini, F., Romano, G., Rosso, M. (2022), “*Technical issues, comfort, and energy efficiency*” in Salvo, S. (eds.) “*The School of Mathematics at Rome’s university campus*, Gio Ponti 1935, Sapienza Università Editore, Roma, pp. 265-294;
- Giampaoletti, M., Romano, G. (2022), “Evoluzione urbana e sociale dell’edilizia popolare: il caso INCIS Decima e UNRRA Casas San Basilio a Roma”, *Techne (cluster SH) – Storie di Quartieri pubblici. Progetti e sperimentazioni per valorizzare l’abitare* – in *Materiali di Architettura e di Urbanistica*; pp.115-124, Mimesis Edizioni;
- Baiani, S., De Capua, A., Conteduca, M., Errante, L., D’Olimpio, D., Leto, F., Palco, V., Altamura, P., De Nardis, S., Romano, G., Ruggiero, J., Mussari, E., Panetta, R., Sabatini, F. (2021), “Una strategia partecipata e adattiva per riattivare Tor Bella Monaca”, in Arbizzani, E., Baratta, A., Cangelli, E., Daglio, L., Ottone, F., Radogna, D., “Architettura e Tecnologia per l’abitare: Upcycling degli edifici ERP di Tor Bella Monaca a Roma”, *Collana STUDI E PROGETTI*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 185-192;
- Baiani, S., Altamura, P., Lucchi, E., Romano, G. (2022), *Integration of solar technologies in historical buildings: construction of an evolutionary framework of good practices*, in *Med Green Forum 6 – Mediterranean Architecture & Green-Digital Transition*;
- Baiani, S., Altamura, P., Lucchi, E., Romano, G. (2022), *Solar Architecture in Rome: The refurbishment of historic buildings with active solar technologies*, in *Med Green Forum 6 – Mediterranean Architecture & Green-Digital Transition*;
- Amadei, F., Romano, G., Giampaoletti, M. (2022), *Green and healthy solutions in post-pandemic housing* in *Med Green Forum 6 – Mediterranean Architecture & Green-Digital Transition*;

- Romano, G., Mancini, F. (2021), *Refurbishment and electrification in the hotel sector: four hotels in the historic centre of Rome*, E3S Web of Conferences, vol. 312, 02013 (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131202013>;
- Romano, G., Lallo, F.C., Mancini, F. (2021), *Halving of consumption and energy efficiency of the "Mario Pagano" National boarding school in Campobasso*, E3S Web of Conferences, vol. 312, 02010 (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131202010>;
- Romano, G., Pennacchia, E., Agostinelli, S. (2020), *Historical analysis and refurbishment proposal of the "Red Schools" in Viterbo*, E3S Web of Conferences, vol. 197, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019702003>;
- Romano, G., Pennacchia, E., Agostinelli, S. (2020), *Refurbishment of a house in a historical building: energy saving, electrification and flexibility*, E3S Web of Conferences, vol. 197, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019702010>;

Articoli in riviste scientifiche con ISSN

- Romano, G., Mancini, F. (2022), *Transformation of a historical building into a Nearly Zero Energy Building (nZEB)*, Journal of Physics: Conference Series 2385 (2022) 012008, IOP Publishing, <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2385/1/012008>;
- Romano G., Martellucci, G., Mancini, F., Battisti, A. (2022), *Energy and Environmental Refurbishment of the Hygiene Institute within the Sapienza University of Rome campus*, Journal of Physics: Conference Series 2385 (2022) 012011, <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2385/1/012011>;
- Pini, F., Romano G., Aureli C. (2019), *Energy Refurbishment of the General Physiology Institute at Sapienza University Campus*, Journal of Physics Conference Series, vol. 1351:012080, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1351/1/012080>;

Pubblicazioni su portale

- Romano, G. (2018), *ZEMCH (Zero Energy Mass Custom Home) Sustainable Design Workshop*. Melbourne, AU. K2IA Team;
- Bochicchio, L., Maricchiolo, L., Roma, C., Romano, G. (2018), *City of the Future/ Stad Van De Toekomst - Revealing the potential of territories as action sites. The Hague (Netherlands) - activating the Latent Potential of the City*;
- Romano, G. (2017) Edificio adibito a struttura alberghiera nel Comune di Roma - municipio IV. Progetto di Impianti Tecnici, Acustica e Illuminotecnica.

Attività scientifica, didattica e di Ricerca

Partecipazione in qualità di relatore a convegni e seminari

- Relatore nel Convegno "La città universitaria di Roma diventa patrimonio architettonico – ricerche sulla Scuola di Matematica di Gio Ponti al confronto con casi studio italiani e stranieri" 23/09/2022
Presentazione del lavoro svolto dalla task 5 (impianti tecnici) nell'ambito della ricerca finanziata dalla *Getty Foundation - Keeping it Modern* - La Scuola di Matematica alla città universitaria di Roma, Gio Ponti, 1935
Titolo presentazione: Lo studio dell'allestimento impiantistico e le prestazioni energetiche dell'edificio di Maria Rosso e Giada Romano
Sede del convegno: Aula III – Edificio della Scuola di Matematica "Guido Castelnuovo", piazzale Aldo Moro 5, Città Universitaria di Roma
Organizzato da: Università di Roma "La Sapienza", prof.ssa Simona Salvo e *Getty Foundation*
Relatori: Maria Rosso e Giada Romano
- Relatore nel 77° Congresso Nazionale ATI 2022 "La Sfida Del Nuovo Modello Energetico Nazionale Tra Decarbonizzazione, Comunità Energetiche e Diversificazione delle Fonti" 12-14/09/2022
Modalità *blended* - telematica su piattaforma Webinar e Bari
Organizzato da: ATI e Politecnico di Bari e Dipartimento di Ingegneria dell'innovazione, Università del Salento
Relatore: Giada Romano
Presentazione di due *papers* come atti del congresso:
1) *Energy and Environmental Refurbishment of the Hygiene Institute within the Sapienza University of Rome campus*, di Giada Romano, Giorgio Martellucci, Francesco Mancini e Alessandra Battisti;
2) *Transformation of a historical building into a Nearly Zero Energy Building (nZEB)*, di Giada Romano e Francesco Mancini;
- Relatore nel 76° Congresso Nazionale ATI 2021 "Transizione ecologica e digitale, il ruolo dell'energia" 16/09/2021
Modalità telematica su piattaforma *Webinar*
Organizzato da: ATI e Università di Roma – La Sapienza, Facoltà di Ingegneria Civile ed Industriale
Relatore: Giada Romano
Presentazione di 2 *papers* nel settore "efficienza energetica negli edifici":

- 1) *Halving of consumption and energy efficiency of the "Mario Pagano" National boarding school in Campobasso* di Giada Romano*, Francesco Cesare Lallo, and Francesco Mancini;
- 2) *Refurbishment and electrification in the hotel sector: four hotels in the historic centre of Rome* di Giada Romano*, and Francesco Mancini;

- Relatore nel 75° Congresso Nazionale ATI 2020 "#cleanenergyforall – ricerca innovazione e sviluppo per l'industria e per il territorio"
15-16/09/2020
Modalità telematica su piattaforma Webinar
Organizzato da: ATI e Università di Roma – La Sapienza, Facoltà di Ingegneria Civile ed Industriale
Relatore: Giada Romano
Presentazione di 2 papers nel settore "efficienza energetica nell'edilizia e nell'industria":
"Historical analysis and refurbishment proposal of the "Red schools" in Viterbo" di Giada Romano*, Elisa Pennacchia, and Sofia Agostinelli;
"Refurbishment of a house in a historical building: energy saving, electrification and flexibility" di Giada Romano*, Elisa Pennacchia, and Sofia Agostinelli.

Attività scientifica e di Ricerca

- Responsabile del Progetto per avvio alla ricerca (Tipo 2) "Il ruolo delle risorse idriche nel conseguimento dell'obiettivo di riduzione a zero delle emissioni di CO₂ al 2050 nei Distretti Urbani"
Responsabile: arch. Giada Romano
Membri UR Roma Sapienza: prof.ssa arch. Serena Baiani (Tutor di Riferimento), arch. Giada Romano (Responsabile del progetto)
Periodo: 11 ottobre 2022 – 11 ottobre 2023;
- Responsabile del Progetto per avvio alla ricerca (Tipo 1) "Deep Energy-Zero Emissions Renovation attraverso il miglioramento dei processi di circolarità delle risorse nei Distretti Urbani"
Responsabile: arch. Giada Romano
Membri UR Roma Sapienza: prof.ssa arch. Serena Baiani (Tutor di Riferimento), arch. Giada Romano (Responsabile del progetto)
Periodo: 16 novembre 2021 – 16 novembre 2022;
- Membro del gruppo di supporto e coordinamento tecnico scientifico per il "Progetto di Fattibilità del Piano Integrato Santa Maria della Pietà" progetto finanziato dall'Unione europea nei fondi destinati al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) M5C2 – Investimento 2.2 per i "Piani Integrati" della città metropolitana di Roma Capitale
Responsabili scientifici Roma Sapienza: prof. arch. Eliana Cangelli, prof. arch. Lucina Caravaggi, prof. arch. Alfonso Giancotti – Coordinamento del gruppo di progettazione: prof. arch. Alfonso Giancotti
Membri del gruppo di progettazione "Tecnologia e ambiente": prof. arch. Serena Baiani, arch. PhD Michele Conteduca, arch. Giada Romano

Ruolo: Dottoranda
Periodo: febbraio 2022 – marzo 2022

- Membro del gruppo di ricerca universitario per il Progetto "PRIN TECH-START – key enabling TECHNOLOGIES and Smart environment in the Age of green economy, convergent innovations in the open space/building system for climate mitigation"
Responsabile UR Roma Sapienza: prof. arch. Fabrizio Tucci
Membri UR Roma Sapienza: prof.ssa arch. Serena Baiani, prof.ssa arch. Alessandra Battisti, prof. arch. Domenico D'Olimpio, prof.ssa arch. Renata Valente; arch. PhD Paola Altamura, arch. PhD Valeria Cefafosso, arch. PhD Manuela Crespi, arch. PhD Gaia Turchetti; Ahmed Abouaina, Marco Giampaolletti, Baptiste Haour, Federica Nava, Maria Michaela Pani, Giada Romano, Violetta Tulelli
Ruolo: Dottoranda
Periodo: 18 maggio 2020 - in corso;
- Membro del gruppo di ricerca universitario per il Progetto Internazionale Getty Foundation "Keeping it Modern' School of Mathematics at Sapienza University in Rome, Gio Ponti 1935"
Responsabile Task 5 (energy efficiency): prof. ing. Francesco Mancini
Membri Task 5: arch. Maria Rosso, arch. Giada Romano
Ruolo: Dottoranda
Periodo: 1 novembre 2019 – 31 gennaio 2022.

Collaborazione a corsi di insegnamento universitari

- Collaborazione alla didattica all'interno del Corso di Tecnologia dell'Architettura II (Codice Corso: 1026605; SSD: ICAR-12 CFU: 6; Ambito disciplinare Discipline tecnologiche per l'Architettura e la Produzione Edilizia; ore aula: 75), rivolto agli studenti del III anno attraverso seminari formativi caratterizzanti e attività di supporto alla didattica
Organizzato da: CdL Scienze dell'Architettura (Classe di Laurea L-17) del Dipartimento di Storia, Design e Restauro dell'Architettura dell'Università "La Sapienza" di Roma.
Titolare di Cattedra: prof.ssa arch. S. Baiani; Tutor: arch. G. Romano
Periodo: marzo 2021 – in corso;
- Collaborazione alla didattica all'interno del Corso di Laboratorio Integrato in Progettazione Tecnologica Ambientale (Codice Corso: 10588642 – SSD: ICAR-12 CFU: 6; Ambito disciplinare Discipline tecnologiche per l'Architettura e la Produzione Edilizia; ore aula: 75) rivolto agli studenti del I anno
Attraverso seminari formativi caratterizzanti e attività di supporto alla didattica
Organizzato da: CdL Magistrale Architettura e Rigenerazione Urbana (Classe di Laurea LM-4), del Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura dell'Università "La Sapienza" di Roma.
Titolare di Cattedra: prof.ssa arch. S. Baiani; Tutor: prof.ssa arch. P. Altamura; arch. G. Romano
Periodo: marzo 2021 – in corso;

- Collaborazione alla didattica all'interno del ciclo di lezioni del Corso di Laboratorio di Progettazione Ambientale
rivolto agli studenti del II anno
attraverso seminari tematici e attività di supporto alla didattica
Organizzato da: Scuola di Specializzazione in Beni Naturalistici e Territoriali, del Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura dell'Università "La Sapienza" di Roma.
Titolari di Cattedra: prof. arch. F. Tucci e prof.ssa arch. S. Baiani; Tutors: arch. A. De Caro; arch. G. Romano
Periodo: maggio 2020 – in corso;
- Collaborazione alla didattica all'interno del ciclo di lezioni del Corso di Tecnologie di Protezione e Ripristino Ambientale
rivolto agli studenti del I anno
attraverso seminari tematici e attività di supporto alla didattica
Organizzato da: Scuola di Specializzazione in Beni Naturalistici e Territoriali, del Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura dell'Università "La Sapienza" di Roma.
Titolari di Cattedra: prof. arch. F. Tucci e prof.ssa arch. S. Baiani; Tutors: arch. A. De Caro; arch. G. Romano
Periodo: maggio 2020 – in corso.