



Architettura e Innovazione/Built Environment Technologies and Healthy Architectures

Verso la neutralità climatica di architetture e città *green*

Approcci, indirizzi, strategie, azioni

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafosso, Paola Altamura, Gaia Turchetti

FrancoAngeli 

Architettura e Innovazione

Built Environment Technologies and Healthy Architectures

Direction/Direzione:

Michele Di Sivo (Università di Chieti-Pescara)

Scientific-editorial coordination/Coordinamento scientifico-editoriale:

Filippo Angelucci (Università di Chieti-Pescara)

Scientific committee/Comitato scientifico:

Roberto Bologna (Università di Firenze), **Rui Braz Afonso** (Università di Porto), **Araldo Cecchini** (Università di Sassari), **Margherita Chang Ting Fa** (Università di Udine), **Michele Di Sivo** (Università di Chieti-Pescara), **Emilio Faroldi** (Politecnico di Milano), **Iliaria Garofolo** (Università di Trieste), **Daniela Ladiana** (Università di Chieti-Pescara), **Mario Losasso** (Università Federico II di Napoli), **Maria Teresa Lucarelli** (Università di Reggio Calabria), **Fausto Novi** (Università di Genova), **Gabriella Peretti** (Politecnico di Torino), **Massimo Perriccioli** (Università di Camerino), **Tjerk Reijenga** (BEAR-id Shanghai), **Thomas Spiegelhalter** (Florida University of Miami), **Fabrizio Tucci** (Università Sapienza di Roma).

Editorial committee/Comitato editoriale:

Filippo Angelucci, **Valeria Cecafo**, **Marialodovica Delendi**, **Paola Gallo**, **Francesca Giglio**, **Silvia Grion**, **Mattia Federico Leone**, **Chiara Piccardo**, **Roberto Ruggiero**, **Valentina Talu**, **Francesca Thiebat**, **Maria Pilar Vettori**

The *Built Environment Technologies and Healthy Architectures* series investigates the theoretical, methodological, and operational issues related to the effects of technological innovation into the design and management of quality of the built environment, in its various scales of intervention. The series aims to focus the inter and trans-disciplinary connections required to build up the living space as habitat in which interact proactively ecological, social, technical and economic components. Through a holistic and multi-scalar vision of living space, as a complex organism that can respond in a co-evolutionary manner to the individual and community needs, the built environment technologies are reinterpreted as relational and interfacing systems able to improve the liveability, vitality, and inclusiveness of the human habitat and to support health and bio-psycho-socio-physical abilities of its inhabitants.

La serie *Built Environment Technologies and Healthy Architectures* indaga le questioni teoriche, metodologiche e operative riguardanti le ricadute dei processi di innovazione tecnologica nella progettazione e gestione della qualità dell'ambiente costruito, alle sue varie scale di intervento, al fine di approfondirne le connessioni inter e transdisciplinari necessarie per configurare lo spazio abitativo come habitat in cui interagiscono proattivamente componenti ecologiche, sociali, tecniche ed economiche. Attraverso la concezione olistica e multiscale dello spazio dell'abitare come organismo complesso in grado di rispondere in modo coevolutivo alle esigenze di individui e comunità, le tecnologie per l'ambiente co-struito sono reinterpretate come sistemi di connessione e interfaccia in grado di migliorare la vivibilità, vitalità e inclusività dell'habitat umano e di favorire il mantenimento delle condizioni di salute e delle abilità bio-psycho-socio-fisiche dei suoi abitanti.

Books published in this series are peer-reviewed

I volumi pubblicati in questa serie sono soggetti a peer review



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

<https://www.francoangeli.it/autori/21>

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio 'Informatemi' per ricevere via e.mail le segnalazioni delle novità.

Verso la neutralità climatica di architetture e città *green*

Approcci, indirizzi, strategie, azioni

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafozzo, Paola Altamura, Gaia Turchetti

FrancoAngeli 

Il presente libro è il prodotto di ricerche e sperimentazioni svolte in continuità nell'ambito della Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, in particolare:

Ricerca PRIN (Progetto di Rilevante Interesse Nazionale) *'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'* (2019-2023), con specifico riferimento al contributo della U.O. Sapienza Università di Roma, Responsabile Scientifico: Prof. F. Tucci. Gruppo di Lavoro: V. Cecafosso, P. Altamura, G. Turchetti, M. Giampaoletti. Collaboratori: F. Nava, M. M. Pani, G. Romano, V. Tulelli, C. Dalsasso, L. Giannini, I. Fabiani, G. Trifoglio, S. Urbinati, M. Vadalà.

Ricerca di Ateneo *'Resilient Design: indirizzi progettuali e strategie tecnico-attuative per il controllo della qualità microclimatica ed energetica dell'ambiente urbano in Italia'* (2017-2021), Responsabile Scientifico: Prof. F. Tucci. Gruppo di lavoro: V. Cecafosso, A. Caruso, G. Turchetti, M. Giampaoletti. Collaboratori: M. Fiorini, A. Malatesta, M. Paglia, G. Sciarretti, V. Tulelli, G. Vespa.

Ricerca Conto Terzi *'Attività di ricerca orientata al potenziamento dell'impiego dei fattori bioclimatici naturali e ibridi, e l'ottimizzazione delle loro ricadute sugli aspetti di comfort ed energetici, quale supporto allo sviluppo del progetto di infrastrutture e spazi pubblici nelle città'* (2017-2022). Committente: Italferr Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane. Responsabile Scientifico: Prof. F. Tucci. Gruppo di lavoro: V. Cecafosso, A. Caruso, G. Turchetti, M. Giampaoletti. Collaboratori: Arch. M. Fiorini, Arch. A. Malatesta, Arch. M. Paglia, Arch. G. Sciarretti, Arch. V. Tulelli, Arch. G. Vespa.

Gli elaborati grafici presentati nel capitolo 4 sono stati redatti, sotto l'indirizzo scientifico e la supervisione del Prof. F. Tucci e il coordinamento operativo dell'arch. V. Cecafosso e dell'arch. M. Giampaoletti, dall'arch. Lidia Maria Giannini (primo caso di studio del quartiere IACP di San Basilio) e dall'arch. Giulia Trifoglio (secondo caso di studio del quartiere IACP di San Basilio).

Il volume è stato stampato con il contributo di fondi di cui è responsabile scientifico il prof. Fabrizio Tucci, presso il Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura della Sapienza Università di Roma.

Impaginato e cura grafica: Marco Giampaoletti e Gaia Turchetti

Immagine di copertina: Marco Giampaoletti (a cura di), Simulazioni fluidodinamiche condotte dal team di ricerca diretto dal prof. Fabrizio Tucci nell'ambito delle sperimentazioni sviluppate durante il PRIN.

Isbn 9788835150459

Copyright © 2023 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Publicato con licenza Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate 4.0 Internazionale (CC-BY-NC-ND 4.0)

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Prefazione	pag. 9
<i>Fabrizio Tucci</i>	
1. Inquadramento e approccio: quadro di riferimento delle problematiche e delle sfide di neutralità climatica nel futuro delle <i>green city</i>	» 19
<i>Fabrizio Tucci, Gaia Turchetti</i>	
1.1 Verso la neutralità climatica: dati e rischi	» 19
1.1.1 Alcuni dati a livello mondiale	» 23
1.1.2 La situazione europea nel quadro delle politiche mondiali	» 26
1.1.3 Le città nell'orizzonte della transizione	» 35
1.2 I nuovi scenari del cambiamento e le nuove sfide da affrontare a livello urbano	» 46
1.3 Verso la definizione di assi strategici di mitigazione a livello urbano	» 57
Riferimenti bibliografici	» 62
2. Opportunità, indirizzi, strategie di mitigazione climatica attraverso la riduzione delle emissioni nelle città al 2030, verso la neutralità climatica al 2050	» 77
<i>Fabrizio Tucci, Paola Altamura</i>	
2.1 Opportunità di mitigazione del cambiamento climatico al 2030 e di neutralità carbonica al 2050: il ruolo delle <i>green city</i>	» 77

2.2 La missione '100 Climate-neutral cities by 2030 - by and for the citizens' della Commissione Europea	pag. 82
2.3 Gli indirizzi di riduzione dei GHG nelle città in Italia	» 84
2.4 Indirizzi per il raggiungimento della neutralità climatica delle città: tre focus per declinare le strategie sul piano dell'ambiente costruito	» 88
2.4.1 La <i>deep energy renovation</i> degli edifici esistenti	» 89
2.4.2 Gli <i>standard Net-zero energy e positive energy</i> a livello di <i>building e district</i>	» 91
2.4.3 L'attivazione dello <i>smart environment</i> in ambito urbano	» 93
2.5 Quadro degli assi strategici per la riduzione delle emissioni climalteranti nelle città	» 94
2.5.1 L'asse della <i>energy transition</i>	» 96
2.5.2 L'asse della <i>bio-climate responsiveness</i>	» 99
2.5.3 L'asse della <i>functional mixité and proximity</i>	» 100
2.5.4 L'asse della <i>resources circularity and self-sufficiency</i>	» 102
2.5.5 L'asse della <i>sustainable mobility</i>	» 107
2.5.6 L'asse dello <i>urban greening, green CO₂ subtraction, gray CO₂ subtraction and storage</i>	» 109
Riferimenti bibliografici	» 110
3. Azioni strategiche per Zero Emission, positive energy e carbon-neutrality nelle città al 2030/2050	» 115
<i>Fabrizio Tucci, Valeria Cecafo</i>	
3.1. Azioni strategiche di <i>energy transition</i>	» 117
3.2. Azioni strategiche di <i>bio-climate responsiveness</i>	» 126
3.3. Azioni strategiche di <i>functional mixité and proximity</i>	» 136

3.4. Azioni strategiche di <i>resources circularity and self-sufficiency</i>	pag. 140
3.4.1 <i>Resources circularity</i> e suolo	» 143
3.4.2. <i>Resources circularity</i> e prodotti alimentari	» 145
3.4.3. <i>Resources circularity</i> , acqua ed energia	» 146
3.4.4. <i>Resources circularity</i> , rigenerazione e riconversione degli edifici e dei distretti	» 148
3.4.5. <i>Resources circularity</i> e materiali da costruzione	» 150
3.4.6. <i>Resources circularity</i> e gestione dei rifiuti e degli scarti	» 152
3.5. Azioni strategiche di <i>sustainable mobility</i>	» 154
3.6. Azioni strategiche di <i>green and gray CO₂ subtraction and storage solutions</i>	» 160
Riferimenti bibliografici	» 166
4. Il progetto della mitigazione climatica verso la neutralità carbonica: sperimentazioni applicate ad architetture e distretti urbani	» 175
<i>Fabrizio Tucci, Valeria Cecafofso, Marco Giampaolletti, Lidia Maria Giannini</i>	
4.1. Considerazioni di inquadramento	» 175
4.2. Quadro conoscitivo dell'area di intervento	» 178
4.3. Obiettivi della sperimentazione	» 197
4.4. Metodologia adottata	» 206
4.5. Quadro delle emissioni CO ₂ <i>ante operam</i>	» 214
4.6. Strategie, azioni di intervento e risultati di mitigazione climatica	» 215
4.7. Conclusioni	» 232
Riferimenti bibliografici	» 235

Prefazione

di Fabrizio Tucci

Il presente volume affronta in modo sistematico la questione della sfida del raggiungimento di una piena neutralità climatica sul piano degli approcci, degli indirizzi, delle strategie e delle azioni che è possibile e necessario attuare in modo interscalare e pluridisciplinare nell'architettura delle nostre città, strutturandosi in una prima parte dedicata alla ricostruzione – la più accurata che abbiamo potuto operare – del quadro di riferimento sulla reportistica e la letteratura scientifica internazionali che trattano delle problematiche e delle sfide di mitigazione e di neutralità climatica nel futuro delle *green city*; in una seconda parte volta a delineare le principali opportunità, indirizzi e strategie di mitigazione climatica attraverso le differenti ma sempre interagenti modalità di riduzione delle emissioni nelle città al 2030 e verso la neutralità climatica al 2050; una terza parte tesa a declinare le possibili concrete azioni per conseguire gli obiettivi di *zero emission*, *positive energy* e *carbon-neutrality* nelle architetture e nelle città nei prossimi tre decenni; e una quarta parte dedicata all'illustrazione di alcune sperimentazioni applicate ad un quartiere della capitale informate e indirizzate dal quadro di obiettivi, strategie e azioni trattati nel libro.

Siamo appena entrati nel terzo anno del terzo decennio del terzo millennio, e dobbiamo riflettere sugli obiettivi che ci eravamo posti per il traguardo del 2020, sui risultati finora raggiunti e soprattutto su quelli non ottenuti, nella consapevolezza che già fra pochi anni,

al 2030, il mondo sarà profondamente diverso: i principali contributi intellettuali e scientifici del nostro tempo convergono nel sottolineare quanto i quattro fattori che oggi incidono maggiormente sul pianeta – la *tecnologia* (con, in particolare, il progredire esponenziale di quella digitale), il *mercato globalizzato* (con le ricadute sociali su scala planetaria e di portata epocale, a partire dal tema della disuguaglianza), la *questione ambientale* (nei suoi principali ambiti di cambiamento climatico, perdita di biodiversità, scarsità di risorse e diminuzione della ‘qualità ambientale’, incidente sul futuro stesso di fauna e flora) e la *salute* (con *in primis* la questione pandemica e i suoi impatti a scala planetaria sul vivere e sull’abitare dell’uomo) – stiano pressando tutte contemporaneamente, con inevitabili implicazioni sul territorio, sulle città, sulle architetture, sui prodotti e sui servizi che saranno progettati, sviluppati e utilizzati in futuro.

Un tentativo di risposta per questo orizzonte temporale è suggerito dai 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile 2030 formulati delle Nazioni Unite, che tracciano una strada per raggiungere un futuro migliore e più sostenibile per tutti. Ma l’aver posto questi obiettivi basterà ad accelerare l’innovazione del vivere, abitare, produrre, lavorare, costruire, pensare nel senso più profondamente sostenibile? Vi è ormai la profonda consapevolezza che il futuro dei territori, dei paesaggi, delle città, delle architetture, dei prodotti del fare umano, dipenderà quasi totalmente dalle decisioni che prenderemo oggi, da quanto sapremo essere ‘preparati’, ‘visionari’ e ‘anticipatori’ (i tre termini che rimandano alle parole-chiave ricorrenti sul piano internazionale *preparedness, vision, anticipation*), e da come declineremo il tema della sostenibilità, della mitigazione, dell’adattamento (nelle loro accezioni più ampie) rispetto agli obiettivi posti.

Spingendoci oltre il 2030 e immaginando il 2050, dovremo certamente confrontarci con un aumento della popolazione che sfiorerà i dieci miliardi di individui, concentrati per il 75% nei centri abitati e nelle aree urbanizzate (Nazioni Unite, 2019), il che farà delle città del futuro, e degli scenari che le sottenderanno, i veri elementi

cruciali su cui si giocherà la sostenibilità ambientale, sociale ed economica dell'intero pianeta. Nel guardare al futuro, può essere utile ricordare le quattro visioni di futuro proposte da Norman Henchey nel 1978, concettualizzate nei campi del 'possibile' (qualsiasi futuro che si possa immaginare), del 'plausibile' (futuro che ha un senso secondo gli elementi conoscitivi a disposizione nel presente), del 'probabile' (molto probabile che accada rispetto ai dati attendibili, simulabili e calcolabili) e del 'preferibile' (il meglio che può accadere secondo auspici teorici e immaginativi in mancanza di elementi e dati su cui basare la programmazione e la progettazione), che sono state restituite nel 'cono dei futuri' reinterpretato da Joseph Voros un quarto di secolo dopo. Man mano che ci si allontana dal presente, il futuro 'possibile', aperto a una pluralità di scenari, tende al 'preferibile' con l'accentuazione del diminuire delle certezze sul tipo di tecnologie e metodi di produzione che saranno disponibili, sul modo di abitare nelle città future, sulla struttura sociale che le caratterizzerà, sugli usi degli utenti che vi prevarranno, ecc.

Nell'affrontare l'incertezza e la complessità delle questioni sottese dal concetto di futuro 'preferibile', corrono in decisivo aiuto i caratteri del *green building approach* e del *green city approach*, e, in considerazione della natura e degli sviluppi delle ricerche, sperimentazioni, progetti e interventi già in atto oggi nel mondo – sempre più improntati dalla forte multi-scalarità, infra-disciplinarietà e inter-settorialità che quegli approcci caratterizzano – possiamo affermare che una visione del futuro 'preferibile' e sostenibile dell'Abitare, con uno sguardo ai due orizzonti temporali del 2030 e del 2050, si giocherà sul lavoro sempre più sinergico teso a fornire risposte alle dieci principali questioni:

- transizione ecologica e incremento della qualità ambientale;
- transizione alla *green economy* ed efficacia e circolarità nell'uso delle risorse;
- mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, verso una totale decarbonizzazione;

- bioclimatica, efficienza energetica e rinnovabilità delle fonti, verso il modello di *positive energy cities*;
- progressiva riduzione del consumo di suolo, verso il modello di 'consumo di suolo zero';
- dialettica tra globalizzazione e glocalizzazione;
- transizione digitale, tecnologie abilitanti e opportunità legate a sistemi di *Data Science* e a Industria 4.0;
- interazione dei più avanzati e diversificati *expertise* con *communities* sempre più *smart*, in un'ottica di condivisione e inclusione;
- sfide 'policrisi' aperte dal tempo della pandemia e dalla minaccia di future forme pandemiche;
- innovazione dei modi e degli spazi dell'abitare, lavorare, studiare, produrre, consumare e socializzare, nell'interfaccia sinergico e trasversale 'con' e 'tra' tutte le precedenti macro-questioni.

Filo conduttore e riammagliatore delle tante questioni in gioco è il quadro di strategie e azioni per il conseguimento di una *piena e totale neutralità climatica*, quale macro-questione – o se vogliamo 'meta-questione' – che si pone sopra le altre in quanto condizione stessa per avere un futuro.

Partendo dagli impalcati teorici del *green building* e *green city approach*, intesi come sistematica applicazione dei principi della *green economy* alla città e all'architettura, e tenendo in considerazione le sfide, le opportunità e i focus emergenti nella trattatistica e reportistica internazionali, il presente volume si concentra sui sei 'assi strategici' attraverso i quali è possibile agire per porre concretamente in atto la prevenzione e la riduzione dell'apporto di emissioni climalteranti da parte delle architetture e delle città. L'ambizioso target di abbattimento del 55% delle emissioni di gas a effetto serra entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, e soprattutto quello del raggiungimento di zero emissioni nette di GHG nel 2050 nell'UE-27, obiettivi sanciti oggi per legge, attraverso l'adozione della prima *European Climate Law* (28 giugno 2021), sono ancora lontani. Tuttavia l'intervento

sistemico sull'ambiente costruito in ambito urbano guidato dai sei 'assi strategici' può supportare organicamente il raggiungimento dei *target* di neutralità climatica, andando a contribuire al contempo al disaccoppiamento tra la crescita economica e il consumo di risorse che l'Europa si pone come proprio ineludibile obiettivo. I sei 'assi strategici' – che come vedrete caratterizzano la struttura stessa della trattazione del libro – sono i seguenti (usando i termini-chiave più ricorrenti a livello internazionale):

1. *energy transition*;
2. *bio-climate responsiveness*;
3. *functional mixitè and proximity*;
4. *resources circularity and self-sufficiency*;
5. *sustainable mobility*;
6. *urban greening, green CO₂ subtraction; gray CO₂ subtraction and storage*.

Riguardo all'asse della *energy transition*, va detto che il concetto di transizione *green*, già richiamato, vede negli aspetti energetici la principale sfida strategica per la riduzione delle emissioni climalteranti, poichè la quota prevalente (circa il 70%) di emissioni di GHG deriva a livello globale proprio dalla combustione di carburanti da fonte fossile per produzione energetica. Fino ad oggi gli sforzi del settore delle costruzioni si sono orientati primariamente sulla produzione di energia da fonti rinnovabili, e contemporaneamente sull'efficientamento energetico degli involucri edilizi per ridurre i fabbisogni energetici in fase d'uso. Il passaggio dalle fonti fossili a quelle rinnovabili deve infatti essere necessariamente affiancato da strategie di riduzione dei fabbisogni energetici, affinché si possa efficacemente ridurre le emissioni climalteranti del settore energetico, come emerge da larga parte della reportistica a livello comunitario. La transizione energetica verso un sistema intelligente e diffuso di produzione e distribuzione dell'energia, basato prevalentemente sulla generazione locale da fonti rinnovabili, è da intendersi

come determinante ai fini del raggiungimento della riduzione delle emissioni fissata dalla Legge Europea sul Clima. In rapporto alla dimensione urbana, la transizione energetica passa tuttavia anche attraverso l'attuazione di processi di *Deep Energy Renovation* del patrimonio costruito esistente, che valorizzino le risorse materiche ed energetiche in esso incorporati e, tramite la riqualificazione profonda degli spazi, dell'involucro e degli impianti, lo conduca verso un livello di emissioni pari a zero.

L'asse della *bio-climate responsiveness* rappresenta un secondo contributo chiave ai fini della decarbonizzazione, in quanto offre l'introduzione di strategie bioclimatiche declinate, all'interno dei distretti urbani, a tre livelli: al livello degli spazi aperti e intermedi tra gli edifici; alla scala dell'organismo edilizio nel suo insieme; al livello dell'involucro edilizio. La progettazione in chiave bioclimatica, ottimizzando il rapporto tra il costruito e i fattori micro-climatici e garantendo l'elevazione della qualità del comfort ambientale, permette di sfruttare in modo passivo gli apporti esterni, in particolare della ventilazione e del soleggiamento, per ridurre i fabbisogni energetici e contemporaneamente migliorare le condizioni abitative, abbattendo le emissioni climalteranti. Tali strategie bioclimatiche, che si applicano sia negli interventi di retrofit del patrimonio architettonico esistente – con l'aggiunta o la trasformazione di spazi e/o dispositivi specifici – sia nella nuova costruzione, se adottate in modo massivo, non contribuiscono soltanto ad abbattere i consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento, limitato così le correlate emissioni di GHG, ma forniscono un importante apporto alla riduzione del *global warming* associato al cambiamento climatico.

L'asse strategico *functional mixité and proximity* vede nel ricorso ad un modello evoluto e dinamico di mix funzionale, inteso anche strumento per innescare il mix sociale e inter-generazionale, una possibilità di ottimizzare l'uso delle risorse materiali (spazi, flussi di risorse

materiche) e immateriali (energia) nell'ambito delle città. Nell'ottica della densificazione, la concentrazione di più funzioni alla scala del quartiere e, soprattutto, del distretto, contribuisce così in molteplici modi alla riduzione dei consumi di risorse e delle emissioni climalteranti dovute ai trasporti, grazie agli spostamenti evitati, ma anche grazie alla ridefinizione degli assetti costruiti in termini di uso e modalità/tempi d'occupazione ed uso degli spazi e degli impianti degli edifici. Del resto la mescolanza di funzioni all'interno di un settore dello spazio urbano, e segnatamente alla scala del *district*, garantendo la presenza di molteplici attività combinate con l'abitare, favorisce anche localmente la creazione di servizi e di posti di lavoro, e nel concretizzare una città in cui tutto è raggiungibile a breve distanza, oltre a limitare gli spostamenti e le connesse emissioni climalteranti, può aiutare a migliorare il benessere degli abitanti.

L'asse della *resources circularity and self-sufficiency* ci ricorda che l'obiettivo di rendere l'economia europea efficiente sotto il profilo delle risorse e circolare è strettamente connesso con quello della decarbonizzazione. In tal senso, l'implementazione del principio di circolarità, e di tutte le strategie che ne derivano, rappresenta un approccio ineludibile per poter affrontare da un lato la riduzione degli impatti ambientali legati all'estrazione e alla lavorazione delle materie prime, dall'altro quelli connessi alla gestione dei prodotti e materiali a fine vita.

Il settore delle costruzioni è responsabile di quasi il 50% in peso del consumo di materiali a livello dell'UE, consuma il 40% dell'energia e produce il 35% delle emissioni di gas serra (senza contare le emissioni incorporate). L'adozione di un approccio *Life Cycle* nella gestione delle risorse materiali impiegate nella realizzazione degli interventi edilizi risulta quindi oggi una priorità non più procrastinabile, al fine di implementare concretamente i principi di economia circolare e di contribuire ad evitare che l'impatto in termini di emissioni di GHG dovuto alle nuove costruzioni ma an-

che agli interventi di riqualificazione degli edifici esistenti cresca drammaticamente nei prossimi anni.

L'asse strategico *sustainable mobility* ha un peso cruciale per il raggiungimento della neutralità carbonica, se si pensa che in Europa il trasporto su strada è responsabile del 20% delle emissioni di CO₂ complessive. Il *Green Deal* europeo fissa l'obiettivo della riduzione delle emissioni dovute ai trasporti del 90% entro il 2050. Tuttavia, a livello comunitario si registra che, mentre le emissioni dovute ad altri settori economici sono tendenzialmente diminuite negli ultimi decenni, quelle dovute ai trasporti sono invece cresciute. Occorre quindi attuare una strategia di decarbonizzazione ambiziosa per il settore dei trasporti, considerando che comunque è probabile che le emissioni dovute alla mobilità continueranno a rappresentare una quota crescente di quelle prodotte in Europa, e pertanto resteranno una sfida cruciale per il raggiungimento della neutralità climatica. Nell'ambito urbano, le strategie da implementare per decarbonizzare il settore dei trasporti riguardano lo sviluppo di politiche e investimenti su trasporti pubblici, a basse emissioni e non motorizzati, dando priorità a mezzi pubblici, mobilità dolce (biciclette), micro-mobilità elettrica nonché alla condivisione dei veicoli e alla diffusione dei veicoli elettrici. Il passaggio chiave, anche nel settore della mobilità, dovrà essere quello della sostituzione dei combustibili fossili con altri carburanti, inclusi i bio-carburanti e l'idrogeno.

L'ultimo asse strategico, quello dello *urban greening, green CO₂ subtraction, gray CO₂ subtraction and storage* comprende in primo luogo le strategie di *urban greening* che valorizzano la componente vegetazionale all'interno del tessuto urbano, contribuendo a rafforzarla nel suo ruolo di *Green Ecosystem Service*, con la duplice finalità di contribuire alla decarbonizzazione e all'aumento della resilienza degli insediamenti urbani. Grazie alla sua capacità di sottrazione di CO₂ tramite i processi di fotosintesi, il verde, alle varie scale e nelle

sue diverse componenti, contribuisce infatti in modo determinante a caratterizzare la *green city*, favorendo la decarbonizzazione e al contempo generando benefici per la qualità della vita e la salute degli abitanti delle città, grazie ad impatti rilevanti e trasversali sulla qualità dell'aria, sul capitale naturale, sui rischi idrogeologici e sulle isole di calore (Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2020). Gli spazi verdi urbani hanno infatti un importante potenziale di *carbon sequestration*, differenziato in base alle specie vegetali e alle caratteristiche della loro distribuzione negli spazi aperti, che può essere sfruttato per rimuovere la CO₂ dall'atmosfera, soprattutto se essi vengono messi a sistema e densificati, sfruttando anche le superfici esterne degli involucri edilizi per ospitare la vegetazione. Le strategie *green* per la sottrazione della CO₂ in ambito urbano possono essere integrate con l'implementazione delle strategie cosiddette *grey*, che aiutino ad aumentare la capacità di sottrazione e stoccaggio del carbonio dall'atmosfera. Queste ultime 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 oppure lo 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.

Assi strategici, approcci e visioni, quelli in gioco per il conseguimento di una reale neutralità climatica, da pensare non più come fattori a s stanti, ma piuttosto come parti attive di un progetto strategico in costante evoluzione e aggiornamento, che le veda co-partecipanti nella definizione di scenari in cui i processi di trasformazione della nostra società siano da esse indirizzati, nutriti, caratterizzati, per continuare a immaginare e costruire un futuro più desiderabile delle nostre città.

Abstract

Integrating an evaluation of mitigation and climate neutrality issues and challenges into policies, strategies and planning at the urban level is today no longer an option but rather a necessity, in order to ensure a better efficiency of the transformation process, towards the reduction of greenhouse gas emissions and future greenhouse gas emission absorption targets, and towards resilience enhancement.

This chapter critically analyses policies and approaches, at international and national levels, aimed at pursuing a transition process, that is a smart, clean and inclusive, circular and efficient growth, for the definition of strategic mitigation axes at the urban level.

Particular attention is paid to the city not only as a major emitter and, in parallel, as an area among the most vulnerable to climate change, but as a fertile ground of opportunity in terms of regenerating the infrastructure and urban fabric, a driver of ambitious adaptation and mitigation measures.

1. Inquadramento e approccio: quadro di riferimento delle problematiche e delle sfide di neutralità climatica nel futuro delle *green city*

Fabrizio Tucci, Gaia Turchetti

1.1. Verso la neutralità climatica: dati e rischi

Con il concetto di 'neutralità climatica' si vuole rappresentare uno stato in cui le attività umane non producono alcun effetto netto sul sistema climatico. Raggiungere tale stato richiede la prevenzione e riduzione mirata delle emissioni di gas serra (GHG) in tutti i settori fino a un livello di emissioni nette pari a zero entro un limite temporale fissato per il contenimento del riscaldamento globale entro la soglia di 1,5 °C (IPCC, 2018b; ICLEI 2020b). Il primo indicatore è quello relativo alle emissioni globali di diossido di carbonio, poiché circa il 70% delle emissioni antropogeniche di GHG è riconducibile a emissione di CO₂ da combustione fossile (UNEP, 2018). Pertanto al termine di neutralità climatica si affianca quello di 'neutralità carbonica', ovvero il bilanciamento tra le emissioni residue e le attività di rimozione delle emissioni specifiche di anidride carbonica dall'atmosfera, definito 'CO₂ Net-Zero emissions' (IPCC, 2018b), concetto che viene esteso generalmente anche ad altri gas serra (GHG) misurati in termini di equivalenza di anidride carbonica.

Nel 2015 le 196 parti firmatarie dell'accordo di Parigi hanno individuato come obiettivo unitario il mantenimento dell'aumento della temperatura media mondiale ben al di sotto di 2 °C rispetto ai livelli preindustriali e il proseguimento degli sforzi volti a limitare tale aumento a 1,5 °C (IPCC, 2018a) rispetto ai suddetti livelli, obiettivo,

quest'ultimo, sancito ufficialmente durante la COP26, la conferenza sul clima organizzata dalle Nazioni Unite nell'ambito della Conferenza quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC, 2021) conclusasi a Glasgow il 12 novembre 2021 e ribadito durante la COP27, tenutasi a Sharm el-Sheikh nel mese di novembre 2022. Nella recente Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici si riconosce che per mantenere l'obiettivo di 1,5 °C è necessaria una riduzione delle emissioni del 43% al 2030 rispetto al 2019 (UN, 2022).

Mezzo grado in meno, come sottolineato dall'IPCC anche in relazione alle serie statistiche degli ultimi 50 anni, può fare un'enorme differenza in termini di intensità e frequenza di alcuni eventi climatici estremi, considerando in maniera sempre più incisiva l'interdipendenza tra clima, ecosistemi, biodiversità e società umane. (IPCC, 2022a; 2022b; 2018a). Per questo importante passaggio molto hanno influito i dati raccolti e analizzati a livello internazionale che hanno permesso di evidenziare il divario crescente tra gli obiettivi fissati e il loro concreto raggiungimento, sottolineando la necessità di considerare le implicazioni dei diversi metodi di aggregazione delle emissioni GHG, sia per la crescita delle temperature che per altri aspetti del sistema climatico (Levasseur et al., 2016; Ocko et al., 2017). In tale direzione un importante passaggio ha riguardato l'aggiornamento del 'Paris Rulebook' su temi come la trasparenza nelle modalità per il reporting delle emissioni di gas serra ed il monitoraggio degli impegni assunti, i 'meccanismi di mercato' (Articolo 6 dell'Accordo di Parigi) e le tempistiche comuni per gli NDCs (National Determined Contributions) previsti dall'articolo 4, paragrafo 2 dell'Accordo di Parigi.

Le opinioni sull'adozione delle decisioni finali delle ultime due COP, in relazione al raggiungimento degli obiettivi prefissati al 2050, sono però divergenti. Secondo un'analisi dell'ISPI il risultato della COP26 è interpretato come deludente da alcuni osservatori e da altri come il migliore compromesso raggiungibile. (Lombardini, 2021). L'adesione di 28 nuovi membri e partner alla 'Powering Past

Coal Alliance' con l'obiettivo di abbandonare completamente il carbone per la produzione di elettricità o l'iniziativa guidata da Usa e Ue per la riduzione del 30% delle emissioni di metano entro il 2030, rappresentano input positivi in questo processo, ma l'inserimento di termini come 'riduzione' anziché 'eliminazione' graduale delle centrali a carbone e dei sussidi alle fonti fossili o lo slittamento della data ultima per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità per Cina e India, fissata rispettivamente per il 2060 e 2070, fanno vacillare le valutazioni su obiettivi e previsioni globali.

A ciò si aggiungono problematiche e difficoltà connesse alla situazione post-pandemica e bellica che stiamo vivendo. Un quadro che ha complicato l'adempimento del compito demandato alla COP27, ovvero essere una di COP di attuazione. A seguito, infatti, della definizione del regolamento dell'Accordo di Parigi e della individuazione degli obiettivi di emissione definitivamente stabiliti a Glasgow nel 2021, l'ultima Conferenza avrebbe dovuto portare dalla teoria alla pratica gli obiettivi fissati nel precedente anno.

Nelle decisioni finali della COP27, sotto il nome di 'Piano di attuazione di Sharm El-Sheikh', un tema saliente ha riguardato la questione delle perdite e danni causati dall'esacerbarsi del cambiamento climatico. È stato infatti raggiunto un accordo per istituire un fondo dedicato per perdite e danni, insieme a un comitato di transizione incaricato di elaborare i dettagli e identificare opportunità e lacune in modo che possa essere reso operativo durante la COP28 nel 2023 (Climate Action Network, 2022).

Ciò per rispondere almeno in parte alle conseguenze devastanti generate da eventi climatici estremi sempre più frequenti, che mettono in ginocchio territori già pesantemente colpiti dalla crisi poli sistemica che stiamo attraversando. Significativo anche l'invito a riflettere sulle nuove indicazioni dell'IPCC sulla necessità che il picco delle emissioni globali avvenga prima del 2025 per limitare il riscaldamento a 1,5 °C, connesso all'incentivazione di 'energia a basse emissioni' (UN, 2022).

Concetto chiave in questa transizione è e sarà una gestione ‘giusta ed equa’ del processo. Nonostante gli enormi vantaggi di un futuro più sostenibile, se implementate in modo inappropriato, i processi di transizione creeranno non solo opportunità ma anche sfide, tra cui l’esacerbazione delle disuguaglianze esistenti. Devono essere messe in atto, quindi, fin dall’inizio misure che, tra le altre, garantiscano posti di lavoro di qualità e mezzi di sussistenza alternativi per le popolazioni più colpite, nonché risposte economiche e sociali più ampie, tra cui sicurezza sociale, riqualificazione, diversificazione economica e innovazione. Ciò potrà essere raggiunto solo con una giusta ed equa informazione e partecipazione di tutti i soggetti interessati, fornendo loro le informazioni, il potere e la voce per modellare i processi decisionali. (Boehm et al., 2022).



Fig.1: Valutazione complessiva delle Azioni per il Clima (Climate Action Tracker, aggiornamento globale. Fonte: Climate Action Tracker (2021).

1.1.1. Alcuni dati a livello mondiale

In base alle modellazioni dell'IPCC (IPCC, 2018c; IPCC, 2022a e b), per essere coerenti con il sentiero tracciato, senza il superamento o con un superamento limitato dell'obiettivo di 1,5 °C, l'uso globale di carbone, petrolio e il gas nel 2050 dovrebbe diminuire con valori mediani rispettivamente di circa il 95%, 60% e 45% rispetto al 2019, mentre per limitare il riscaldamento globale al di sotto dei 2 °C, le emissioni di CO₂ dovrebbero diminuire di circa il 25% rispetto al livello del 2010 entro il 2030 e raggiungere lo zero netto intorno al 2070.

Nel rapporto UNFCCC del 2022, che sintetizza le informazioni raccolte negli ultimi 166 NDC disponibili prodotto da tutte le parti dell'accordo di Parigi (compresi gli NDC nuovi o aggiornati), emerge, invece, una stima del livello totale globale di emissioni di gas a effetto serra (escludendo i dati del LULUCF), pari a circa 53,4 (51,8–55,0) Gt CO₂eq nel 2025 e 52,4 (49,1–55,7) Gt CO₂eq nel 2030, così valutata:

- nel 2025, il 53,7% in più rispetto al 1990 (34,7 Gt CO₂eq), 12,6% in più rispetto al 2010 (47,4 Gt CO₂ eq) e 1,6% in più rispetto al 2019 (52,6 Gt CO₂eq);
- nel 2030, il 50,8% in più rispetto al 1990, il 10,6% in più rispetto al 2010 e lo 0,3% in meno rispetto al 2019, nonchè l'1,9% in meno rispetto al livello stimato per il 2025, indicando la possibilità di un picco delle emissioni globali prima del 2030.

Emerge quindi un gap tra indicazioni prestazionali auspicabili e previsioni attese. Solo 2 dei 18 maggiori emettitori (il Regno Unito e l'Unione Europea) hanno presentato un NDC aggiornato nel 2020 contenente un forte aumento dei loro obiettivi di riduzione dei gas serra, con un dato in calo del -1,5%. Di contro, emerge che un numero allarmante di NDC, inclusi anche quelli predisposti da principali emettitori mondiali come Australia, Brasile, Indonesia, Messi-

co, Nuova Zelanda, Russia, Singapore, Svizzera e Vietnam (Climate Action Tracker, 2021; IPCC 2021 a e b), non presenta ancora obiettivi sufficientemente efficaci per avviare una decarbonizzazione dell'economia coerente con il limite di temperatura di 1,5 °C, non mostrando aggiornamenti significativi o addirittura prefigurando traguardi inferiori rispetto ai precedenti fissati al 2015 o non rispecchiando quelle che sono le reali problematiche/potenzialità sul campo.

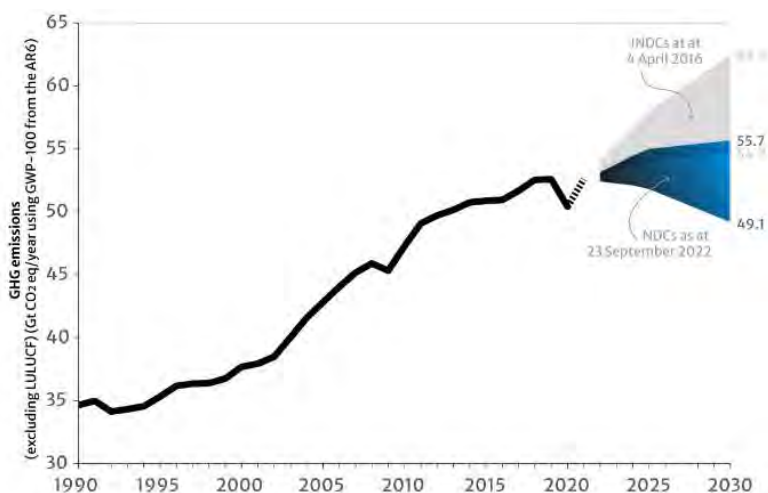


Fig.2: Intervallo previsto e progressione dei livelli di emissione in base ai contributi determinati a livello nazionale. Fonte: UN Climate Change (unfccc.int/ndc-synthesis-report-2022).

Sebbene vi siano alcuni segnali di progresso, le possibilità per limitare il riscaldamento a 1,5 °C sono quindi ridotte. Questo scenario porta pertanto a pronosticare un riscaldamento globale variabile da 2,7 a 2,2/1,8 °C per la fine del secolo, la cui oscillazione cambierebbe in relazione all'attivazione o meno degli impegni presi ed al raggiungimento degli impegni non firmati ma auspicabili nel medio periodo (IPCC 2022a e b; Climate Action Tracker 2021; UNEP 2021 e 2022; Burck, et al., 2021):

- 2,7 °C se tutti gli impegni 'unconditional' per il 2030 (ovvero quegli obiettivi considerati volontari e attuabili senza supporto esterno) saranno pienamente attuati;

- 2,6-2,4 °C se verranno attuati anche tutti gli impegni *'conditional'* (ovvero *'ad alta ambizione'* subordinati al sostegno finanziario o a politiche di sostegno legate al clima perseguite dai paesi aderenti).
- 2,2-1,8 °C se poi anche gli impegni a zero emissioni nette verranno pienamente attuati.

Se anche, poi, lo scenario di riscaldamento si attestasse sui 1,5 gradi centigradi, gli impatti previsti sarebbero comunque significativi: fino al 15% della popolazione mondiale potrebbe essere esposta a forti ondate di calore almeno una volta ogni 5 anni e fino a 69 milioni di persone sarebbero soggette a inondazioni. Se lo si attestasse invece sui 2 °C è poi possibile aspettarsi che gli episodi di caldo estremo siano più di 2,5 volte più frequenti e il livello del mare aumenti di oltre mezzo metro. (ICLEI 2018a; IPCC, 2018a; Dosio et al., 2018; Levin, 2018; OECD, 2015).

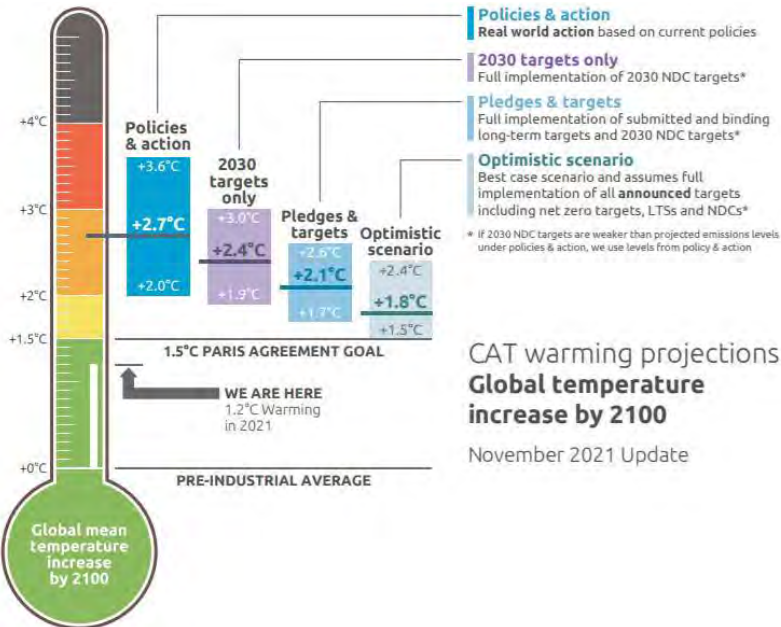


Fig.3: Climate Action Tracker | Warming Projections Global Update - Novembre 2021. Fonte: Climate Action Tracker (2021).

Molti sono quindi gli inviti ad accelerare lo sviluppo, e la diffusione delle strategie e l'adozione di politiche per la transizione verso sistemi energetici a basse emissioni, verso un lavoro molto più significativo in termini di riduzione dei gas serra. Tenendo presente l'incertezza intrinseca di stime a lungo termine, se le emissioni non verranno ridotte entro il 2030, dovranno inevitabilmente essere sostanzialmente ridotte in seguito per compensare il lento avvio del percorso verso l'azzeramento delle emissioni nette (UNFCCC, 2021).

È quindi necessario definire una strategia mondiale più aggressiva per impegnarsi verso obiettivi nazionali più incisivi e concordare regole per il *carbon trading*, accelerando gli investimenti per una transizione verso un'economia globale a basse emissioni di carbonio. Questi impegni sottolineano il ruolo importante che non solo i governi nazionali ma soprattutto i governi subnazionali, le città e gli attori non statali giocano per la lotta ai cambiamenti climatici. (UN-Habitat, 2020a). La mancata azione porterebbe inevitabilmente a impatti fisici (sanitari e sociali) catastrofici e gravi danni economici che richiederebbero risposte politiche estremamente più costose (WEF, 2021a).

1.1.2. La situazione europea nel quadro delle politiche mondiali

Nel contesto internazionale, secondo il rapporto 'Net-zero Europe. Decarbonization pathways and socioeconomic implications' elaborato dalla Società McKinsey (D'Aprile et al., 2020), il piano messo in atto dalla Commissione europea, il *Green Deal*, rappresenta uno dei più ambiziosi per contrastare il cambiamento climatico, '[...] per una governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima affidabile, inclusiva, efficace sotto il profilo dei costi, trasparente e prevedibile [...]' (UE, 2018 – Regolamento 1999). Dall'adesione agli emendamenti di Doha, apportanti al Protocollo di Kyoto in occasione della conferenza ONU sui cambiamenti climatici nel dicembre

2012, alla firma dell'accordo globale adottato alla conferenza di Parigi sul clima (COP21) nel dicembre 2015, al Green New Deal e relativi aggiornamenti e 'proposte attuative', l'UE si è posta in prima fila nella lotta ai cambiamenti climatici, fissando, anche con specifici contributi determinati a livello nazionale NDCs (Nationally Determined Contribution trasmessi e aggiornati all'UNFCCC), l'obiettivo -aggiornato e rafforzato- di ridurre con livelli sempre più bassi le emissioni di gas a effetto serra entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 e integrando l'azione per il clima nelle politiche e nei programmi finanziati nell'ambito del QFP (Quadro finanziario pluriennale) e della Next Generation EU (IPCC, 2018a; ICLEI, 2020b). Ciò nell'ambito dei traguardi, già individuati dalla comunicazione della Commissione Europea 'Energia pulita per tutti gli europei' (COM, 2016), di trasformazione del sistema energetico europeo agendo su cinque dimensioni:

- sicurezza energetica;
- mercato interno dell'energia;
- efficienza energetica;
- decarbonizzazione;
- ricerca, innovazione e competitività.

Sebbene le emissioni nel territorio europeo rappresentano solo circa il 7% del totale emissioni di gas serra (GHG), il raggiungimento della neutralità climatica dell'UE sarebbe un grande sfida per l'impatto sul clima globale, il cui successo potrebbe servire come *best practice* per altre regioni, incoraggiare altri paesi a intraprendere azioni più audaci e avviare il circolo virtuoso della crescita, adozione e riduzione dei costi di tecnologie low-carbon.

Tutti gli studi di settore che negli ultimi anni hanno aiutato a monitorare i risultati raggiunti – e non – ma anche a predisporre scenari futuri, hanno spinto l'Europa, a differenza di altri continenti, a rivedere le proprie previsioni e di conseguenza strategie e azioni incentivando un'accelerazione del processo di cambiamento

grazie anche alle ambizioni del *Green Deal* europeo. Con l'obiettivo di fare dell'Europa il primo continente al mondo a impatto climatico zero entro il 2050, è stato predisposto un piano di investimenti per un'Europa sostenibile finalizzato a mobilitare alcune migliaia di miliardi di euro, cercando di fornire in parallelo gli strumenti per guidare l'ottimizzazione del processo di spesa con incentivi per sbloccare e riorientare gli investimenti pubblici e privati e soprattutto a sostegno delle autorità pubbliche e dei promotori in fase di pianificazione, elaborazione e attuazione dei progetti sostenibili.

Il *Green Deal* europeo ha dato l'avvio ad una serie di iniziative utili a definire e stratificare, con un approccio olistico, strategie e azioni su Clima, Energia, Agricoltura, Industria, Ambiente e oceani, Trasporti, Finanziamenti e sviluppo regionale, Ricerca e innovazione. Dalla proposta per una 'Legge europea sul clima', entrata in vigore il 29 luglio 2021 (UE, 2021a - Regolamento 1119) – che trasforma l'impegno politico del *Green Deal* in obbligo vincolante –, alla 'Strategia nazionale per l'economia circolare' (Mite, 2022), alla 'Strategia sulla biodiversità per il 2030' (COM, 2020d), alla 'Farm to Fork strategy' (COM, 2020e), nonchè alla 'Renovation wave' (COM, 2020c) – ovvero un'ondata di rinnovamento per il comparto edilizio volta a combattere la povertà energetica e l'inefficienza del patrimonio edilizio, partendo da quello pubblico e dalle infrastrutture sociali, verso strategie di decarbonizzazione dei sistemi di riscaldamento e del raffrescamento – si richiede all'Unione europea una profonda revisione delle politiche energetiche e climatiche – e non solo – imponendo, con il nuovo pacchetto di proposte 'Fit for 55' anche detto 'Green Package' (adottato dalla Commissione il 14 luglio 2021 (COM, 2021a), la diminuzione delle emissioni al 55% invece del 40%.

Dodici sono le iniziative contenute nel pacchetto 'Fit for 55' volte principalmente a modificare le direttive sull'efficienza energetica e sulle rinnovabili, nonchè revisionare il sistema di scambio delle emissioni (*Emission Trading System*) anche per il settore dei trasporti

terrestri e edilizio. Uno sforzo considerevole che deve e dovrà essere supportato da strumenti volti a garantire una transizione verso la neutralità climatica che non avvenga in modo uguale, ma equo. Come si sottolinea, infatti, nella Risoluzione legislativa del Parlamento europeo del 24 giugno 2021 sulla proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (UE) 2018/1999 (Legge europea sul clima), c'è la necessità di una maggiore ambizione e un'intensificazione dell'azione per il clima da parte dell'Unione e degli Stati membri, ponendosi obiettivi stabili di trasformazione per 'raggiungere in modo giusto, equilibrato dal punto di vista sociale, equo e in modo efficiente in termini di costi l'obiettivo a lungo termine relativo alla temperatura di cui all'accordo di Parigi', e 'dissociare' la crescita economica dall'uso delle risorse e dalle emissioni climalteranti. (UE, 2021a, punto 4). Il 'meccanismo per una transizione giusta' è uno degli strumenti chiave per affrontare le ripercussioni socioeconomiche di questa trasformazione, concentrandosi su luoghi, settori e soggetti coinvolti a vario titolo nel processo e puntando su tre pilastri: un nuovo Fondo per una transizione giusta; il regime per una transizione giusta nell'ambito di InvestEU; un nuovo strumento di prestito per il settore pubblico.

Già in occasione della COP 26 particolarmente accesa è stata proprio la negoziazione sul tema dell'equità della transizione e sulla stima di perdite e danni ('Loss and Damage' punto 6 del Glasgow Climate Pact) subiti in conseguenza dei cambiamenti climatici. Ciò ha portato, come accennato prima, nell'anno successivo alla stesura di un accordo per istituire un fondo dedicato per perdite e danni, riconoscendo chiaramente che il cambiamento climatico ha già causato e causerà sempre più perdite e danni, con un accentuarsi di condizioni meteorologiche estreme e eventi a lenta insorgenza che rappresenteranno una minaccia sociale, economica e ambientale sempre maggiore.

In risposta a ciò l'Unione Europea sta puntando molto sulla partecipazione al processo di transizione, invitando persone, comunità e organizzazioni a partecipare all'azione per il clima e alla costruzione di un'Europa più verde. Significative in questo frangente sono le iniziative promosse nell'ambito del 'Patto europeo per il clima', che offre alle persone di ogni estrazione sociale uno spazio per comunicare e per sviluppare e attuare collettivamente soluzioni per il clima, e il 'New European Bauhaus' quale piattaforma di sperimentazione che mette in contatto operatori scienza e della tecnologia, dell'arte e della cultura per trovare soluzioni innovative alle sfide verdi e digitali.

Nel tentativo che queste azioni europee non rimangano limitate nella sfera di azione collegata ai consumi ed emissioni dell'UE (che rappresentano circa l'8% delle emissioni globali) (Crippa et al., 2022; Lombardini, 2021), la Commissione europea, nel luglio 2021, ha proposto un 'Meccanismo di adeguamento del carbonio alla frontiera' (CBAM – Carbon Border Adjustment Mechanism), ossia una tassa sul carbonio che verrà applicata alle importazioni di alcuni beni provenienti da fuori dei confini dell'Unione Europea.

In linea con gli obiettivi definiti dall'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile volti a 'integrare le misure di cambiamento climatico nelle politiche, strategie e pianificazione nazionali' (sotto-obiettivo 13.2 dell'Agenda 2030) (UN, 2015a), lo sforzo di ridurre progressivamente le emissioni di gas a effetto serra entro il 2050, sottolineato nella 'Visione Strategica a lungo termine' (COM, 2018a) adottata dal Consiglio dell'Unione Europea 5 marzo 2020, fa del continente, quindi, il più importante campo di sperimentazione per uno sviluppo non solo economico ma sociale, culturale e – ovviamente – ambientale che sia competitivo e collaborativo.

I dati che delineano la situazione europea attuale, presentano, negli ultimi anni, una tendenza verso percorso costante nella diminuzione delle emissioni climalteranti, con riduzioni nell'UE-28 del 23% al di sotto dei livelli del 1990 – per un totale di 4392 milioni di

tonnellate (Mt) di biossido di carbonio equivalente (CO₂eq) nel 2018 e del 26% nel 2019 (24% nell'UE-27 solo nel 2019) –, sebbene siano ancora lontani dai target fissati per il 2030 e 2050. (Crippa et al., 2022; EEA, 2020a; EEA, 2020b). La situazione attuale, però, segnata dalla condizione pandemica e bellica, ha fatto registrare una oscillazione del dato delle emissioni totali di CO₂ fossile, con un aumento del 6,5% (0,17 Gt) nel 2021 rispetto al 2020. Questo aumento è tuttavia solo la metà della riduzione avvenuta tra il 2019 e il 2020 (-10,8%), di conseguenza le emissioni dell'UE27 sono diminuite del 5 % tra il 2021 e il 2019 (Crippa et al., 2019, 2022; UNEP 2022).

Ciò è dipeso, da un lato, dalla 'natura eccezionale' della situazione pandemica che il mondo intero ha dovuto sostenere e che ha imposto misure straordinarie a sostegno della ripresa e della resilienza delle economie degli Stati membri (EC, 2020a; EEA 2020b; EEA, 2019; WMO, 2020a); dall'altro lato, dall'influenza della guerra sul ritmo della transizione energetica. Sebbene, infatti, come stimato nel World Energy Outlook 2022 (IEA, 2022a), l'influenza della guerra può essere stimata come bassa rispetto ai principali drivers

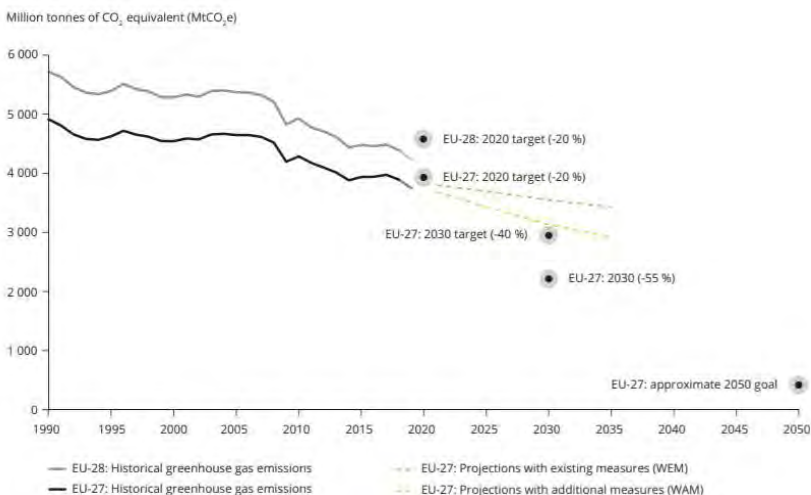


Fig.4: Gli obiettivi di emissione di gas a effetto serra, le tendenze e le proiezioni MMR degli Stati membri dell'UE (UE-28 e dopo il 2019 UE-27). Fonte: EEA (2020a).

di cambiamento a lungo termine, la lotta ai prezzi elevati dell'energia e dei generi alimentari potrebbe spostare la decarbonizzazione in fondo all'elenco delle priorità, ponendo l'accento sull'accessibilità alle risorse energetiche quale una delle principali preoccupazioni a breve termine. Il ritmo generale, tuttavia, con cui i traguardi europei sono stati raggiunti resta indubbiamente troppo basso e non sufficiente a raggiungere l'obiettivo 2030 di una riduzione del 40%, per non parlare di livelli di riduzione più ambiziosi fissati per il 2050.

Cinque i settori che sul territorio dell'UE sono fonte della maggior parte delle emissioni dei gas serra e sui quali potenziare le azioni (D'Aprile et al., 2020):

- il settore dei trasporti con emissioni pari al 28%;
- il settore dell'industria con il 26%;
- il settore dell'energia con il 23%;
- il settore dell'agricoltura con il restante 13%;
- il settore dell'edilizia con il 13%.

Secondo il rapporto della Società McKinsey, però, il traguardo definito dall'UE sarebbe tecnicamente raggiungibile e comporterebbe ampi vantaggi economici (tra cui la crescita del PIL, la riduzione del costo della vita e la creazione di posti di lavoro), ma servono sforzi significativi in tutte e 5 i campi analizzati, iniziando dal settore energetico che sarà quello in cui il processo di decarbonizzazione avverrà in modo più rapido in base alle previsioni, seguito dal settore dei trasporti, che si avvicinerà alla neutralità climatica entro il 2045, mentre per il settore edilizio il processo di rigenerazione edilizia sarà più lento.

In tutti i settori, la più grande fonte di GHG, pari all'80% delle emissioni totali, è la combustione di combustibili fossili. Per lo specifico settore edilizio, le percentuali prese a riferimento possono essere suddivise, come indica l'IPCC su dati del 2011, su percentuale di emissioni totali di gas serra di origine antropica diretta pari al 6% del totale e una percentuale di apporto indiretto del 12-13% (IPCC, 2014).

In ambito civile, al fine di tragguardare la decarbonizzazione completa prevista per il 2050 dalla 'Long Term Strategy' (COM, 2018a; COM, 2018b; EC, 2012) e dalla 'Renovation wave' (COM, 2020c) verso edifici ad 'energia quasi zero' (NZEB), è necessario promuovere la rapida conversione energetica del parco immobiliare, favorendo le riqualificazioni profonde e la trasformazione dell'esistente in 'edifici ad energia quasi zero' (NZEB) (Tucci, 2018a, 2018b).

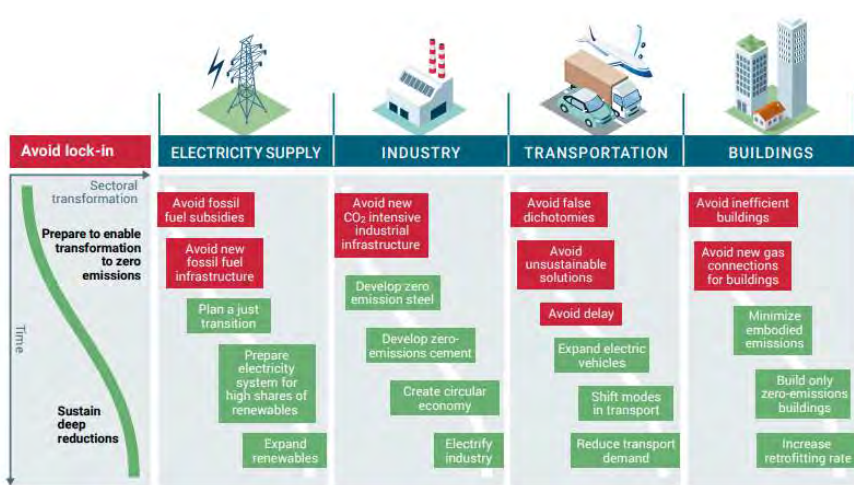


Fig. 5: Importanti interventi di trasformazione selezionati (verde) e azioni da evitare (rosso) raggruppati per "evitare il lock-in" nelle diverse fasi della trasformazione. Fonte: UNEP (2022).

Questo sarà un processo lento e differenziale considerando anche l'obsolescenza del parco immobiliare europeo: più di 220 milioni di unità immobiliari, vale a dire l'85% dell'edilizia dell'UE, sono state costruite prima del 2001, e l'85-95% degli edifici odierni sarà ancora in uso nel 2050 con caratteristiche di scarsa efficienza sotto il profilo energetico (COM, 2020c).

Nello scenario italiano, a fronte di 12,42 milioni di edifici a destinazione d'uso residenziale, oltre il 60% ha più di 45 anni, ovvero è precedente alla Legge 373/1976 – la prima legge sul risparmio energetico e di questi edifici –, e oltre il 25% registra consumi annuali da un minimo di 160 kWh/mq anno a oltre 220 kWh/mq. (MISE, 2019).

I maggiori sforzi del comparto edilizio per il momento, come

registrano recenti indagini (EEA, 2020a; IEA 2022b), sono orientati verso la produzione di energia da fonti rinnovabili, facendo registrare per i paesi dell'UE-28 una quota totale di energia consumata da fonti rinnovabili del 18,6% nel 2019 (e del 19,4% solo nell'UE-27) in linea con i target per il 2020, e investimenti in crescita per l'efficientamento energetico del costruito. Percentuali nettamente inferiori rispetto al target, però, descrivono minori azioni per la riduzione a monte dei consumi e di conseguenza la riduzione dei GHG.

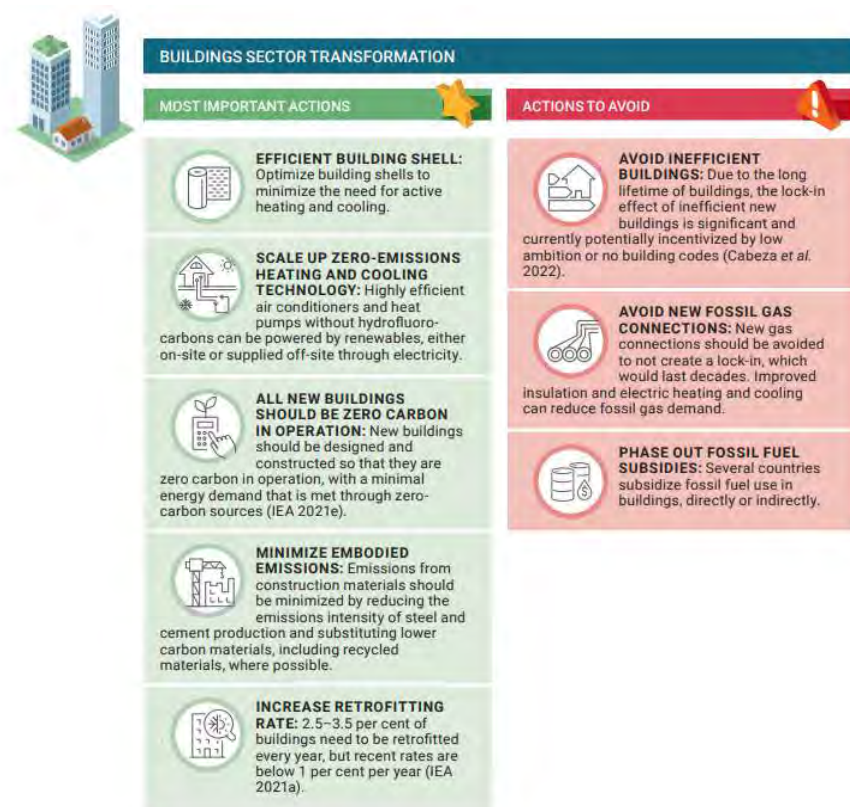


Fig. 6: Azioni che accelerano o ostacolano la trasformazione del settore edilizio. Fonte: UNEP (2022).

A questo contesto si associa poi un altro tema centrale della transizione ecologico-energetica, ovvero la capacità di osservare e valutare oggettivamente i processi ed i risultati raggiunti. I dati forniti ed

elaborati dalla Banca dati dell'EEA (eea.europa.eu/data-and-maps) sulle politiche e misure di mitigazione del cambiamento climatico in Europa o quelli forniti dal progetto della Commissione Europea 'EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research' (edgar.jrc.ec.europa.eu) ci consentono di leggere non solo una quantificazione del problema, ma anche estrapolarne indirizzi e possibili strategie ed azioni da mettere in campo per singolo obiettivo e valutandone in itinere anche l'incidenza sul raggiungimento degli obiettivi fissati. Al fine di comprendere, anticipare e ridurre al minimo le minacce per la salute e i rischi correlati causati dai cambiamenti climatici, la Commissione ha istituito anche un Osservatorio europeo per il clima e la salute nell'ambito della piattaforma europea sull'adattamento ai cambiamenti climatici (Climate-ADAPT) (COM, 2021b). Nuovi sistemi di osservazione poi consentono oggi di valutare emissioni su scala di strutture o città attraverso misurazioni da automobili, droni e aerei e telerilevamento satellitare, specialmente in regioni remote del mondo (Nisbet et al., 2020). Tuttavia, su scala più ampia, i metodi top-down dipendono fortemente dalla densità delle osservazioni e dalla difficoltà di diversificare le diverse fonti di emissioni. È pertanto opportuno intensificare i sistemi di monitoraggio già in essere e sostenere l'ulteriore diffusione di misurazioni mobili e stazioni fisse per monitorare meglio i vari fattori concorrenti che possono incidere più o meno significativamente nelle valutazioni sia dello stato di fatto che previsionali (UNEP 2021).

1.1.3. Le città nell'orizzonte della transizione

In questo scenario un ruolo chiave rimane affidato alle città che, assieme ad altri soggetti quali regioni, attori non statali e subnazionali, gruppi della società civile, imprese e investitori svolgono un ruolo centrale per accelerare il progresso verso sistemi energetici puliti, a basse emissioni di carbonio, resilienti e inclusivi (IEA 2021, UNEP,

2021; NewClimate Institute et al., 2021; Levin, 2018, Chan, Ellinger e Widerberg 2018; Hale, 2016; Hsu et al., 2018).

Sebbene le città coprono il 3% della superficie terrestre, con il loro metabolismo contribuiscono con edifici, energia e trasporti al 70% di tutte le emissioni di carbonio, con un consumo del 78% dell'energia primaria mondiale. Più del 50% della popolazione mondiale vive attualmente nelle città e si prevede che tale cifra aumenterà fino a quasi il 70% entro il 2050. Stima l'OECD che entro il 2025 oltre un miliardo di nuovi residenti urbani si aggiungeranno all'attuale 'classe dei consumatori' globale, in quello che ormai viene definito il 'secolo della città', sfiorando la percentuale del 65% di popolazione mondiale che nel 2050 risiederà nelle città e il 90% di questo aumento sarà concentrato in Asia e dell'Africa. Nella sola Europa, secondo dati della World Bank, le città coprono oltre 162 milioni di persone, oltre il 36% della popolazione totale dell'UE.

Le città sono un motore economico globale, responsabile dell'80% del PIL mondiale, e rappresentano quindi un'importante opportunità per accelerare il progresso verso ambiziosi obiettivi climatici (EEA, 2022a e b, 2021; UNEP, 2022; IPCC, 2022a, 2022b, 2019, 2017; IEA, 2021; EC, 2018, 2015; ICLEI, 2018a; OECD, 2018, 2014).

Questi fattori rendono la decarbonizzazione delle città una priorità globale e di particolare importanza per il raggiungimento degli impegni e degli obiettivi nazionali (IEA 2021).

Sono proprio i centri urbani, di contro, con le loro caratteristiche, ad essere le aree maggiormente vulnerabili agli impatti negativi dei cambiamenti climatici e ad altri rischi naturali e antropici, come consolidato e confermato dai dati raccolti (ISPRA-SNPA, 2021; EC, 2018; ICLEI, 2018a e b; OECD, 2018; EC, 2015; GHG; 2014), che fanno registrare un'attenzione e una sensibilizzazione sempre più alta sul tema, a partire dall'adozione della 'New Urban Agenda' durante la conferenza Habitat III del 2016 (UN-Habitat, 2017).

Quella della città rappresenta oggi più di ieri una sfida che rientra tra le quattro 'missioni *Green Deal*' (COM, 2019).

Lavorare sulla città comporterà mutamenti su larga scala e potrà diventare terreno fertile e di opportunità in termini di rigenerazione dell'infrastruttura e del tessuto urbano senza precedenti, motore di ambiziose misure di adattamento e mitigazione. È quindi necessario approfondire la comprensione dei rischi del cambiamento climatico a livello locale, nonché delle opportunità e degli ostacoli alle azioni di adattamento e mitigazione, e sviluppare una comprensione più completa di come i benefici dell'adattamento e della mitigazione a scala ampia possano essere allineati al livello locale. Ciò richiederà una migliore comprensione della vulnerabilità e del potenziale di adattamento di individui, comunità e infrastrutture attraverso una serie di potenziali tendenze e cambiamenti sociali, economici, politici e tecnologici. (IPCC, 2017). È emerso infatti che una delle aree di maggiore incidenza nel divario tra aspettative e risultati reali è indubbiamente legata al cambiamento dello stile di vita. (UNEP, 2020a).

Puntando il focus della sperimentazione e della ricerca sulla città, l'EU ha recentemente lanciato, nell'ambito del programma Horizon Europe a sostegno del Green New Deal, 5 nuove missioni:

1. *Adaptation to Climate Change: support at least 150 European regions and communities to become climate resilient by 2030;*
2. *Cancer: working with Europe's Beating Cancer Plan to improve the lives of more than 3 million people by 2030 through prevention, cure and solutions to live longer and better;*
3. *Restore our Ocean and Waters by 2030;*
4. *100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030;*
5. *A Soil Deal for Europe: 100 living labs and lighthouses to lead the transition towards healthy soils by 2030.*

Di estremo interesse in questo contesto è la '100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030 mission' che persegue l'obiettivo di trasformare 100 città europee in città a impatto climatico zero e smart entro il 2030 e garantire che queste città agiscano come centri di spe-

rimentazione e innovazione per consentire a tutte le altre città europee di seguirne l'esempio entro il 2050.

Un acceleratore fondamentale degli impegni a livello subnazionale europeo è stato, poi, il nuovo 'Patto globale dei sindaci per il clima e l'energia', fissando ad aprile 2021 i nuovi obiettivi al 2050 che prevedono la neutralità climatica. A ciò si affianca anche la costruzione, lanciata il 12 dicembre 2017 al One Planet Summit di Parigi, dell' 'Urban 20' (U20), una piattaforma che riunisce i sindaci delle città del G20.

Uno studio del NewClimate fotografa la situazione attuale, evidenziando come la maggior percentuale (68%) degli impegni subnazionali di riduzione delle emissioni si concentra su obiettivi a medio termine, che mirano a ridurre le emissioni tra il 2026 e il 2035, il 30% degli obiettivi sono a lungo termine, con target oltre il 2035, e solo il 3% degli obiettivi sono a breve termine, ovvero da espletare nei prossimi 5 anni. (Newclimate et al., 2021).

Il lavoro che le città stanno facendo verso una riduzione delle emissioni climalteranti sta accelerando negli ultimi anni e il numero di attori che si impegnano a raggiungere questo obiettivo è cresciuto notevolmente. 'One 2019 analysis of roughly 6,000 cities and regions making GHG emission reduction pledges found that 65 had made carbon neutrality targets (NewClimate Institute et al., 2019). A different deep dive into net-zero commitments in that same year turned up 11 regions, more than 100 cities, and roughly 500 businesses making economy-wide net-zero commitments' (Data-Driven EnviroLab et al., 2020). Sebbene l'ambizione e l'attuazione di questi sforzi varino ampiamente, gli studi tendono a sottolineare (Boehm et al., 2022; NewClimate Institute et al., 2019, Höhne et al., 2019) una chiara tendenza alla crescita del numero di attori attivi. Negli ultimi rapporti Newclimate (Newclimate Institute et al., 2021; Boehm et al., 2022) 'Global climate action from cities, regions and businesses' e 'State of climate action 2022', è possibile seguire quale sia il ritmo crescente seguito da attori statali e non statali verso questa tenden-

za, partendo dalle dieci principali economie emittenti: Brasile, Canada, Cina, Unione Europea (UE-27) e Regno Unito (Regno Unito), India, Indonesia, Giappone, Messico, Sud Africa e Stati Uniti (USA), che insieme rappresentano il 60% delle emissioni di gas a effetto serra, 78% del PIL e 58% della popolazione nel 2019 a livello globale. In questo contesto, quasi 2000 città e 125 regioni hanno assunto impegni quantificabili per ridurre le emissioni, con obiettivi che vanno sempre più incrementandosi nel tempo, segno che rappresenta un primo passo verso la necessaria velocizzazione e verso l'ampliamento dei processi, sebbene l'ambizione e l'attuazione di questi sforzi varino ampiamente.

Il dato di incremento delle politiche e delle strategie pensate e pianificate dalle città, tuttavia, si scontra con i rilevamenti e con le previsioni attuali indicate nei report IEA, in cui si denuncia che l'aumento della CO₂ globale legata all'energia dovrebbe essere, nel 2021, il secondo più grande registrato nella storia.

Dati aggiornati e puntuali sulle emissioni climalteranti per singola città posso essere tratti dal portale 'Greenhouse gas emissions interactive dashboard' del C40 Cities Climate Leadership Group, che fornisce dati storici sulle emissioni di gas serra (GHG) per le città appartenente alla rete C40 su scala comunitaria, in base al Global Protocol for Community-scale GHG Emission Inventories (GPC).

Anche in questo frangente, come sottolineato anche a scala più ampia, un grande problema riguarda la disponibilità di dati che possano aiutare nel monitorare costante delle azioni non statali e subnazionali e nel valutare le tendenze.

Diverse sono le città, regioni e soggetti terzi che riportano e/o pubblicano periodicamente le proprie emissioni annuali di gas serra e le serie storiche, come quelle presenti nel 'Data Portal for Cities', una piattaforma di dati sviluppata dal Global Covenant of Mayors for Climate & Energy con il supporto tecnico del World Resources Institute. Nella maggior parte dei casi, però, questi set di dati non sono disponibili al pubblico. Sebbene i progressi nel telerilevamento

satellitare e nella modellizzazione statistica abbiano consentito progressi nella raccolta sistematica dei dati sulle emissioni e nella stima da varie fonti (al di là di iniziative e reti internazionali), resta difficile raccogliere questi dati ed elaborarli per renderli comparabili.

Per lo specifico ambito italiano, l'ISPRA ci riporta un quadro significativo suddiviso per settori produttivi dal 1990 al 2020 (ISPRA, 2022), dove emerge che il settore dell'Energia, nel corso dell'anno 2020, ha contribuito per il 78.4% alle emissioni totali nazionali, re-

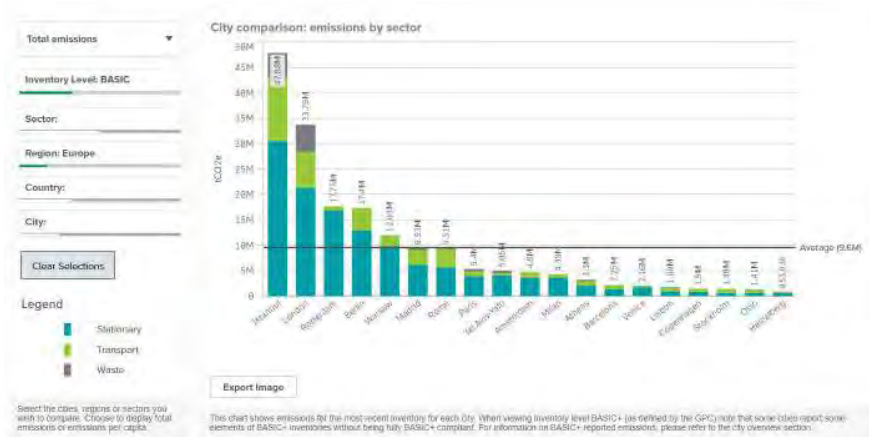


Fig. 7: Confronti delle emissioni delle città, dashboard interattivo delle emissioni di gas a effetto serra (Data Insights settembre 2022). Fonte: The C40 Knowledge Hub.

gistrando un valore minimo dal 1990 e con picchi, in valori assoluti, nell'anno 2005, 2008/2009 e 2012/2013, specialmente in occasione delle crisi economiche. Una interessante comparazione dei dati tra livelli nazionali e valori urbani di emissioni climalteranti si può anche rintracciare in uno studio condotto da ricercatori del World Bank di Washington e il Department of Civil Engineering, University di Toronto, Canada (Hoornweg et al., 2020). Dai dati tratti per alcune delle principali città europee possiamo valutare, sebbene relativamente ai periodi 2005-2007, interessanti correlazioni tra i dati nazionali e quelli per singola realtà urbana, facendo emergere l'importanza a livello quantitativo dell'incidenza urbana sul calcolo generale. Scendendo nel dettaglio delle singole città, interessanti

dati ci vengono forniti dai rapporti periodici del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente (SNPA) (ISPRA_SNPA 2022, 2021) operativo dal 2017 con lo scopo, tra gli altri, di monitorare l'evoluzione nel tempo dei principali temi ambientali a scala urbana, per restituire un quadro finalizzato ad una transizione ecologica e giusta.

	(tCO ₂ e/capita)	
Italia	9,31	2007
Bologna (provincia)	11,1	2005*
Napoli (provincia)	4	2005*
Torino	9,7	2005*
Veneto (provincia)	10	2005*

* Kennedy, C., Ramaswami, S., Carney, S. and Dhakal, S. (2009), "Greenhouse gas emission baselines for global cities and metropolitan regions", *Proceedings of the 5th Urban Research Symposium*, Marseille, France, 28-30 June 2009.

Fig. 8: Estratto dalla tabella 'GHG baselines for cities and their respective countries' relativamente ai dati italiani. Fonte (Hoorweg, et al. 2020).

Altro interessante contributo viene dal 'Our World in Data', una piattaforma che accoglie dati e ricerche fornendo indicazioni generali e specifiche per singole aree europee. Estrapolando i dati relativi ai dati sulle emissioni annuali di CO₂ pro capite in Italia e confrontato questi dati con lo scenario europeo, emerge un andamento italiano pressochè parallelo, dal 2008 ad oggi, rispetto a quello pro capite delle altre città europee.

Lo specifico settore residenziale, secondo i dati ISPRA (2022), ha fatto registrare nel 2020, assieme al settore dei servizi un netto aumento del peso relativo sul totale del settore. Bisogna infatti considerare, come prima sottolineato, l'obsolescenza del parco immobiliare europeo, che consta più dell'85% dell'edilizia costruita prima del 2001, con caratteristiche di obsolescenza e scarsa efficienza sotto il profilo energetico (COM, 2020c).

Le emissioni degli edifici sono aumentate costantemente dal 1990, guidate principalmente dal consumo di elettricità e dai sistemi

di riscaldamento e raffreddamento degli ambienti (UNEP, 2020b). La piccola inflessione segnalata nel 2020 è già stata ampiamente superata dai dati preliminari per il 2021(IEA 2022c).

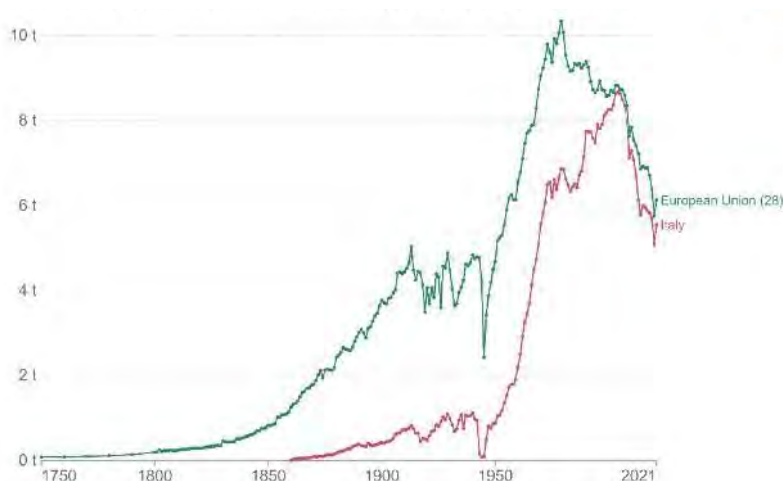


Fig. 9: Emissioni procapite di anidride carbonica (CO₂) da combustibili fossili e settore dell'industria. (Il cambiamento dell'uso del suolo non è incluso in tale rappresentazione). Fonte: Our World in Data based on the Global Carbon Project (Our World in Data, 2022).

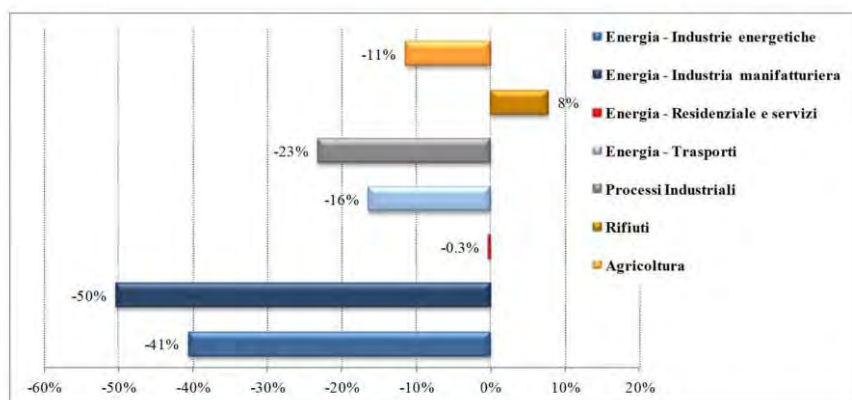


Fig. 10: Variazione percentuale delle categorie emmissive 2020 vs 1990. Fonte ISPRA (2022).

Data l'urgenza di ridurre le emissioni, la decarbonizzazione degli edifici esistenti richiederà profonde ristrutturazioni che migliorino drasticamente l'efficienza energetica adottando una prospettiva *whole-life-cycle* che tenga conto sia delle emissioni *embodied* sia *operational* nell'intero ciclo di vita delle singole componenti. (Boehm et al., 2022). Nel 'Human Settlements - Climate Action Pathway' si stabiliscono gli obiettivi per la riduzione delle emissioni '*embodied*' per i prossimi tre decenni, auspicandone una riduzione di almeno il 40% entro il 2030, verso un *net zero* per l'intero ciclo di vita entro il 2050 (Marrakech Partnership and Global Climate Action, 2021).

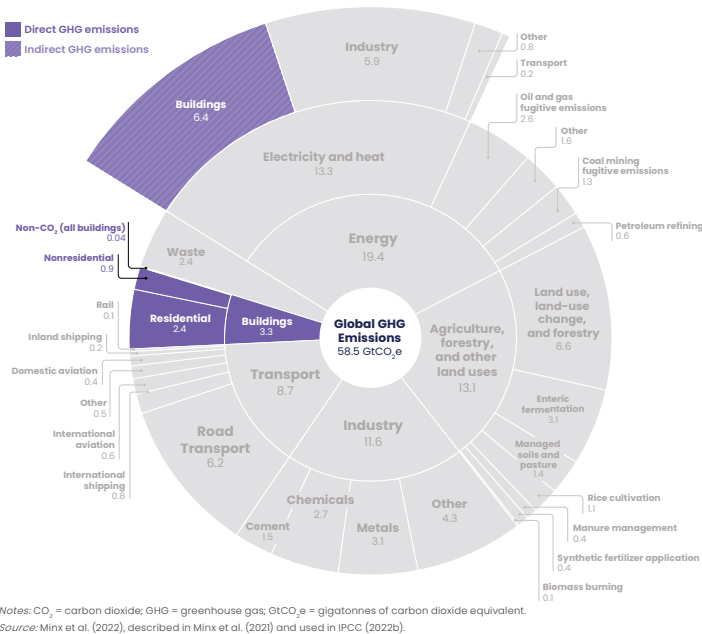


Fig. 11: Contributo delle emissioni GHG relativo al settore delle costruzioni nel 2019. Fonte: Boehm et al. (2022).

In questo scenario le tecnologie ad alta efficienza energetica sono fondamentali per ridurre la domanda complessiva, mentre i principi dell'architettura bioclimatica sono vitali per ridurre la necessità di riscaldamento o raffreddamento attivo (Tucci 2020, 2017, 2014, 2012).

Alla luce dei dati generali e di dettaglio, si stima che per poter rispondere alle esigenze di sviluppo globale a lungo termine e agi-

re concretamente per la mitigazione ai cambiamenti climatici, tra il 2016 e il 2030, saranno necessari più di 6,3 trilioni di investimenti in infrastrutture all'anno (OECD, 2019b) e investimenti supplementari dell'ordine di 260 miliardi di euro l'anno, finanziamenti specifici per incentivare investimenti sostenibili e proposte volte a creare un contesto più favorevole agli investimenti verdi. (COM, 2019a). Tra gli strumenti di attuazione saranno fondamentali il programma 'Horizon Europe' che, in sinergia con altri programmi dell'UE, sarà cruciale per mobilitare investimenti nazionali pubblici e privati – con il 35% del bilancio per finanziare nuove soluzioni climatiche utili all'attuazione del *Green Deal* – e il 'NextGenerationEU' insieme al 'Quadro Finanziario Pluriennale' dell'UE, che metteranno a disposizione un volume di risorse da utilizzare anche per avviare la ristrutturazione al servizio della ripresa, della resilienza e di una maggiore inclusione sociale, nonché sostenere gli sforzi necessari in termini di ricerca e innovazione, in un contesto in cui le città, ad oggi, possono contare prevalentemente su capitali finanziari pubblici e solo in minima percentuale su finanziamenti provenienti da capitali sub nazionali o privati.

Resta comunque molto alta l'allerta relativa ai rischi economici a breve termine, 3-5 anni che, come sottolineato nel 'Global Risks Report' (GRPS) del 2021 (WEF, 2021b), contemplano bolle speculative patrimoniali, instabilità dei prezzi e dei prodotti, debito in crescita a cui seguono rischi geopolitici e la geopoliticizzazione delle risorse. Nella previsione, l'aggravio del rischio ambientale verrà percepito in un orizzonte temporale più ampio, 5-10 anni, con la perdita di biodiversità, le crisi delle risorse naturali ma soprattutto con la percezione sempre più crescente del fallimento dell'azione per il clima – indubbiamente il rischio più impattante e il secondo in ordine di probabilità –, determinando di conseguenza un'estrema fragilità economica e sociale (WEF, 2021a).

Pertanto, cercando di far fronte ai crescenti divari economici, sociali e non ultimo culturali, potenziati dalla crisi, si dovrà puntare ad una ottimizzazione dei processi, perseguendo un approccio inte-

grato definito come ‘efficienza sistemica’ (WEF, 2021a; WEF, 2020; WEF, 2019; ICLEI 2020b; ICLEI, 2018a), che cammini in controtendenza alla disgregazione dei processi stessi e che abbracci proble-



Fig. 12: Raccomandazioni di azioni immediate per accelerare la trasformazione del settore edilizio da parte degli stakeholders. Fonte: UNEP (2022).

matiche ambientali, economiche, sanitarie e sociali sfruttando l'opportunità di investire in una crescita intelligente, pulita e inclusiva che migliorerà la produttività e la realizzazione di programmi sostenibili (UE, 2018).

L'efficienza sistemica comprende l'elettrificazione pulita, la tecnologia digitale intelligente, edifici e infrastrutture efficienti, insieme a un approccio di economia circolare alle tematiche di acqua, rifiuti e materiali, nonché la pianificazione e le tecnologie digitali centrali per l'efficienza sistemica.

Adottando un approccio olistico, le città hanno l'opportunità di aumentare la loro resilienza per resistere a una serie di potenziali crisi future legate al clima e alla salute, in vista di uno spazio urbano più verde, più intelligente, resiliente, più equo ed efficiente (WEF, 2021a; WEF, 2020; WEF, 2019). Come sottolinea anche l'UNEP (UNEP, 2020a), elemento trainante per nuove e più efficienti policy sarà l'attenzione alla *Well-being Lens*, una nuova logica per l'azione incentrata sul benessere delle persone che potrebbe consentire ai paesi di raccogliere e catalizzare il sostegno per la mitigazione a livello nazionale (OECD, 2019a).

1.2. I nuovi scenari del cambiamento e le nuove sfide da affrontare a livello urbano

Dal rafforzamento delle capacità di adattamento quale obiettivo primario per affrontare gli effetti dei cambiamenti climatici -nell'ottica di un'economia *circular* e *green* applicata alla città, all'ambiente costruito e all'edilizia, priorità del primo decennio del XXI secolo-, l'asse dell'interesse e della ricerca si sta drasticamente spostandosi verso la definizione, comprensione e l'intervento sulle cause scatenanti. La mitigazione – rintracciare le cause – prima ancora dell'adattamento – rincorrere gli effetti – o meglio la mitigazione accanto all'adattamento in una lotta costante e sempre più ferrata ai cambia-

menti climatici. (WEF 2021a; ICLEI 2021; ICLEI, 2020b; UN-Habitat, 2020a; IPCC, 2017). È importante sottolineare questo passaggio, che emerge chiaramente dall'analisi sistematica (sebbene non esaustiva) della reportistica più recente a livello internazionale – sopra riportata –, in quanto questo sarà l'elemento trainante delle strategie, delle policy e delle azioni nel prossimo settennio di programmazione.

Alle vulnerabilità e ai rischi legati all'aumento del livello del mare; alle precipitazioni estreme; alla siccità e aridità; al riscaldamento estremo; nonché alla combinazione dei singoli fattori, si aggiunge, come visto, una attenzione particolare al rilevamento delle emissioni climalteranti, ovvero gas serra di origine sia antropica sia naturale, come l'anidride carbonica (CO₂), protossido di azoto (N₂O) e metano (CH₄), responsabili del riscaldamento globale.

La ricerca, le sperimentazioni sul campo, la tecnologia hanno permesso di progredire su molti fronti aprendo nuovi e differenti scenari, nuove sfide e di conseguenza nuovi rischi e nuovi impatti da valutare, che saranno l'oggetto di nuove indagini e sperimentazioni sia livello globale che locale. Significativi in questo frangente sono i documenti di indirizzo che l'IPCC ha redatto e sta redigendo per la preparazione del '*AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*'.

Il documento dovrebbe da un lato sintetizzare e integrare i materiali contenuti nei diversi Rapporti IPCC già pubblicati e dall'altro lato dovrebbe essere 'scritto in uno stile non tecnico' affinché il suo portato sia facilmente e agilmente consultabile da una platea di stakeholder sempre più ampia.

Nel documento si porteranno a sintesi alcuni dei più importanti, sebbene non esaustivi, ambiti che riguardano per l'appunto temi che nascono e si stanno sviluppando proprio dall'adozione e dalla diffusione delle politiche e strategie di mitigazione ed adattamento, che fondano le radici negli obiettivi dell'*Agenda 2030 for Sustainable Development* (UN, 2015a), nella Convenzione sui cambiamenti climatici – *Paris Agreement* (UN, 2015b) e nel *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* (UN, 2015c) – e che tracceranno le future sfide a

livello globale: dai *natural and managed systems*, all'attenzione per lo *human systems*, all'importanza dell' *adaptation decision-making* a vari livelli, alla valutazione dei *multi-sector impacts, risks, vulnerabilities, opportunities and challenges*, nonché alla definizione fino alla scala locale dei *sustainable development pathways* (IPCC, 2022a, 2017).

Tematiche queste strettamente interconnesse con l'ambito urbano: una città sempre più *nature-oriented*; un'attenzione al fattore antropico determinante per il calcolo del bilancio energetico non solo urbano ma globale; la ridefinizione di norme sociali e aspettative dei consumatori ed investitori da orientare verso lo 'zero-emission'; un'attenzione a politiche stabili di coesione e collaborazione per un'azione di adattamento e mitigazione necessariamente più efficace e un sviluppo sostenibile a vari livelli, che consenta alla città di dialogare e relazionarsi più agilmente con le politiche regionali, nazionali o subnazionali e viceversa (ICLEI, 2022, 2020b, 2020c; OECD/UN-Habitat, 2022; NewClimate Institute et al., 2021; D'Aprile et al., 2020).

Questi macro temi li possiamo rintracciare in molta della reportistica recente sotto i termini di 'transizione verde', 'transizione energetica' e 'transizione digitale' e loro interrelazioni, termini cardine soprattutto a livello urbano e strettamente correlati tra loro. Incentivare l'efficienza energetica, le energie rinnovabili, lo sviluppo di reti energetiche intelligenti verso una gestione sostenibile delle risorse ed una promozione di un'economia circolare facilitata e supportata da una transizione digitale, sono ormai gli obiettivi d'investimento di molti paesi europei, compresa l'Italia, come emerge anche dagli obiettivi di policy dei fondi strutturali 2021-2027 che detteranno in parte gli orientamenti e l'operatività nazionale nel prossimo settennio (MITE, 2022; COM 2021b, 2019b).

Accertata l'influenza umana sul sistema climatico e sulle emissioni antropiche di gas serra, le più alte della storia, si dovrà puntare a ridurre sostanzialmente le emissioni nei prossimi decenni, disincentivandole in base ai principi della 'precauzione', dell'azione preventiva, della 'correzione' – in via prioritaria alla fonte – dei danni cau-

sati all'ambiente, nonchè sul principio 'chi inquina paga' enunciati nel Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea (TFUE, 2012). Ciò sarà necessario per ridurre i rischi e aumentare le prospettive di un adattamento efficace, ridurre i costi e le sfide della mitigazione a lungo termine e non ultimo contribuire a percorsi resilienti per uno sviluppo sostenibile. La complementarità tra strategie di mitigazione e adattamento sarà un punto nevralgico, la cui efficacia dipenderà dalle politiche di coesione e dalla cooperazione a tutte le scale con risposte integrate che le colleghino con altri obiettivi sociali (IPCC, 2022a e b, 2014; UNEP, 2020a).

Sempre più cogente è quindi l'attenzione allo *human well-being* e allo *human behavior*, una dimensione cruciale per comprendere la variabilità del consumo e il comportamento della componente antropica che, come visto, determina in grande misura il bilancio energetico urbano e non solo. Il ruolo degli stili di vita, del comportamento e consumo in relazione alla mitigazione del cambiamento climatico ha ricevuto in passato relativamente poca attenzione, pertanto nello sviluppare i prossimi report, l'IPCC punta sull'analisi delle emissioni di GHG basate sul consumo, su come le pratiche sociali e i modelli di sviluppo economico modellino le emissioni di GHG e su come tali interventi possono promuovere la mitigazione dei cambiamenti climatici. Ciò comporterà un approccio '*human oriented*' che farà maggiore riferimento alle discipline delle scienze sociali, soprattutto per approfondire le tematiche relative a stili di vita, comportamenti, consumi, scelte tecnologiche e transizioni socio-tecniche (IPCC, 2022b, 2017). Questi indirizzi seguono ed integrano ciò che la *Cohesion Policy* 2014-2020 aveva delineato, indicazioni che ritroviamo anche nella 'New Urban Agenda' (UN-Habitat, 2017 point 97) e nei 'Sustainable Development Goals' inseriti nell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile (UN, 2015a).

L'analisi delle scienze sociali, delle iniziative di Community-led Local Development (CLLD) avviate già nel precedente settennato, di azioni di 'localizzazione' dei SDGs intese come azioni manageriali di integrazione del concetto di sostenibilità nei processi trasfor-

mativi, delle politiche e attività di coinvolgimento ma soprattutto attivazione bottom-up, possono aumentare l'efficacia delle politiche nazionali e internazionali e aiutare nella validazione di modelli di consumo, nell'orientare lo stile di vita e influenzare le emissioni, nell'indirizzare i processi decisionali in relazione all'adozione di specifiche tecnologie e pratiche.

Comprese la dimensione sociale, culturale e non ultimo etica, bisognerà poi valutarne l'interazione di queste con il processo decisionale, un processo necessariamente adattivo e multilivello: buone pratiche, modelli di produzione e consumo nonché problematiche e ostacoli possono essere compresi in un'ottica olistica che ne rivela anche aspetti psicologici spesso non ancora pienamente analizzati, per una corretta interrelazione tra le parti concorrenti. (WEF, 2021b; UN-Habitat, 2021; IPCC, 2017). Per citare un esempio, le oltre 12.600 città e governi locali che hanno aderito al Global Covenant of Mayors for Climate & Energy (GCoM), hanno come obiettivo la costruzione di una visione condivisa a lungo termine di promozione e sostegno di azioni volontarie per combattere i cambiamenti climatici e passare a una società resiliente a basse emissioni, sviluppando nuovi standard armonizzati per la rendicontazione subnazionale del clima e concentrandosi sulla costruzione della *next generation* di conoscenze, dati, strumenti a supporto delle politiche locali per affrontare le sfide della sostenibilità e contribuire a una soluzione climatica globale.

Questo quadro è progettato per essere coerente con i requisiti di rendicontazione del governo nazionale e dell'UNFCCC e adattabile alle circostanze locali e si basa sullo standard internazionale GPC (Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories) su scala comunitaria sviluppato da ICLEI, WRI e C40. (ICLEI, 2018a; GHG, 2014). I governi locali e regionali sono, infatti, i primi attori di questo processo, diretti affidatari di una responsabilità sociale a servizio delle comunità sia urbane che peri-urbane che

periferiche, attori che non possono e non devono considerare la mitigazione e l'adattamento in astratto ma valutarne i benefici concreti, supportando la progettazione e l'effettiva operatività di strategie di risposta appropriate, dalla piccola scala alla scala più vasta. (ICLEI 2018a; Coalition for urban transitions, 2021).

La programmazione economico-finanziaria futura avrà un ruolo decisivo nell'estrinsecazione di questa responsabilità governativa, bilanciando le risposte di adattamento e mitigazione alle problematiche climatiche e rapportandosi sempre più strettamente a tematiche sociali e culturali, nell'ambito dei 5 filoni prevalenti individuati nel nuovo settennio 2021-2027 (New Cohesion Policy) (IPCC, 2017):

- *a smarter Europe;*
- *a greener, low-carbon Europe;*
- *a more connected Europe;*
- *a more social Europe;*
- *a Europe closer to citizens.*

La programmazione avverrà in due fasi: – programmi (2021-25); – dotazioni decise in base ai risultati di un riesame (2026-27). Sarà necessario, alla luce delle nuove esigenze emerse e sottolineate dall'IPCC, documentare quelle politiche economiche che supportano, ovvero incentivano e premiano, comportamenti coerenti con l'adattamento climatico e con le attività di mitigazione – in linea con il principio del 'non nuocere' sancito nella comunicazione sul *Green Deal* europeo (COM, 2019a) – , considerandone i benefici occupazionali e di investimento, ma anche mappando situazioni di disadattamento, diseguaglianza o inefficacia nel far fronte a livelli di riscaldamento del +1,5 °C o a livelli di riscaldamento più elevati.

Tutto questo in un'ottica olistica che, come visto, dovrà anche includere gli impatti sociali e ambientali delle operazioni, le ricadute a livello locale, nazionale e sovranazionale sia per il capitale pubblico che privato, stimando anche i costi degli impatti di eventi estremi e la perdita di servizi ecosistemici (IPCC, 2017).

L'Italia, condividendo l'orientamento comunitario volto a rafforzare l'impegno per la decarbonizzazione dell'economia e promuovere un 'Patto Verde' con le imprese e i cittadini – che consideri l'ambiente come motore economico del Paese –, dovrà puntare su investimenti orientati a favorire l'evoluzione di un sistema energetico sicuro, sostenibile e a prezzi – non solo economici – accessibili e distribuito sul territorio. Punti nevralgici saranno: la ricerca e innovazione (PMI innovative; digitalizzazione di cittadini, imprese e amministrazioni pubbliche; scambi di conoscenze tra enti di ricerca e i settori produttivi); il clima e l'energia (migliorare l'efficienza energetica, promuovere tecnologie rinnovabili, incentivare la ristrutturazione del patrimonio immobiliare, migliorare la resilienza idrogeologica e sismica, realizzare infrastrutture verdi); la connettività e i diritti sociali, 'Verso un modello di economia circolare per l'Italia' in continuità con gli impegni adottati con l'Accordo di Parigi (PNRR, 2021; MISE, 2019; MATTM, 2017; CeSPI, 2019). Con il nuovo 'Pnacc, Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici', presentato dall'attuale Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica il 28 dicembre, l'Italia aggiorna un documento che potrebbe e dovrebbe diventare strategico nella definizione di indirizzi nazionali per l'implementazione di azioni finalizzate a ridurre al minimo i rischi climatici e migliorare la capacità di adattamento dei nostri sistemi naturali, sociali ed economici. Nel Pnacc sono contenuti avvertimenti sulle conseguenze ormai imminenti del cambiamento climatico. Significativo per l'Italia sarà il tema dell'acqua e della sua gestione (Legambiente, 2022; ISPRA-SNPA 2022, 2021; ISPRA, 2022; Trigila et al., 2021), in uno scenario previsionale che segnala un aumento di eventi estremi accanto ad una diminuzione delle precipitazioni, come emerge dai rilevamenti del ECMWF Copernicus services (cds.climate.copernicus.eu/) o dalla piattaforma italiana sul dissesto idrogeologico dell'ISPRA.

Emerge quindi una necessaria propensione verso una valutazione multisetoriale dei rischi, delle opportunità e soprattutto degli impatti ed in parallelo una multiscalarità di azione. Per consentire questa multisetorialità e multiscalarità è necessario porre alla base di questi processi un solido e capillare sistema di raccolta e monitoraggio dei dati. La scienza del cambiamento climatico è potuta e può progredire proprio grazie a nuove osservazioni e analisi di set di dati, rielaborazioni basate sui processi e sviluppo di nuovi modelli. Le conseguenze regionali e globali più ampie degli eventi climatici passati, compresi gli eventi climatici estremi (Legambiente, 2022), hanno, infatti, forti implicazioni per le azioni attuali e per i quadri di governance. Lo sviluppo di un sistema per l'acquisizione dei dati e statistiche tempestivi, di qualità, aperti e disaggregati è una delle sfide più importanti ed essenziali da superare per affrontare gli SDGs e monitorarne gli sviluppi (ISTAT, 2020, 2022), come emerso con maggiore forza durante la crisi del COVID-19 (OECD, 2020). Questi dati sono fondamentali per comprendere, gestire e mitigare gli effetti umani, sociali ed economici non solo della pandemia, ma essenziali per progettare risposte a breve, medio e lungo termine e per aumentarne la compatibilità a livello internazionali. La valutazione dei rischi emergenti e delle vulnerabilità chiave, legate alle proiezioni del cambiamento climatico, richiede, però, approcci unificanti. I meccanismi di governance, di pianificazione e di monitoraggio, stabiliti nel Regolamento (UE) 2018/1999 sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima come pure nella Legge europea sul clima (UE, 2021b; COM, 2020a; COM, 2020b), vanno integrati nei settori delle politiche in materia di clima ed energia, anche in relazione a obiettivi, politiche, misure e proiezioni in materia di clima ed energia, nonché in disposizioni relative alla partecipazione pubblica multilivello, con cui coinvolgere le parti sociali – dal mondo accademico, alla comunità imprenditoriale, ai cittadini e alla società civile – al fine di informare, educare e scambiare informazioni e azioni che contribuiscono a conseguire gli obiettivi fissati, anche avvalendosi

di consultazioni pubbliche e dialoghi multilivello sul clima e sull'energia. Un esempio utile sono i 'Voluntary Local Reviews' (VLRs) nazionali e regionali, redatti per aiutare che gli attori locali nel confronto con altre città e monitorare i propri bisogni e sfide specifiche. Ciò potrà servire per monitorare ma allo stesso tempo validare e modificare in fieri gli indirizzi in linea con un riesame quinquennale degli obiettivi previsto dall'accordo di Parigi (UE, 2021b; EC, 2020b).

Attualmente è possibile contare sul prezioso apporto, ad esempio, della Global Partnership for Sustainable Development Data (data4sdgs.org) che sta da tempo lavorando per strutturare un ambiente favorevole per raccogliere e sfruttare questo patrimonio di dati e informazioni (Kawakubo et al., 2018; GHG, 2014), ma importanti sono anche le banche dati del Carbonn Climate Registry (cCR) (carbonn.org) riferite a 1.060 governi subnazionali in 89 paesi, o strumenti come il Climate Change Performance Index (CCPI), un indice che consente un monitoraggio sullo stato di attuazione degli impegni climatici sulla base di criteri standardizzati, valutano e confrontando le prestazioni di 56 paesi e dell'UE (responsabili di oltre il 90% delle emissioni globali di gas serra) (ccpi.org). Significativi sono anche gli apporti del programma di telerilevamento Copernicus gestito dalla Commissione Europea e implementato in collaborazione con gli Stati membri dell'UE, l'Agenzia spaziale europea (ESA), l'Organizzazione europea per lo sfruttamento dei satelliti meteorologici (EUMETSAT), il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (ECMWF), le agenzie dell'UE e Mercator Océan.

Queste raccolte, strumenti e informazioni consentono una panoramica sulla posizione dei governi subnazionali rispetto agli obiettivi di mitigazione, nonché sui pericoli e i rischi specifici che devono affrontare, sfruttando anche le potenzialità di piattaforme e portali interattivi che consentono un processo integrato di reporting e revisione e diffusione che facilita i governi ma anche gli esperti nella creazione di conoscenza e rilettura critica, nonché facilita la definizione di indirizzi e raccomandazioni condivisi e condivisibili a più li-

velli, nell'ottica di rendere le azioni di mitigazione del cambiamento climatico – principalmente la riduzione delle emissioni di gas serra (GHG) – attuate in modo 'misurabile, rendicontabile e verificabile' (MRV). Ciò è necessariamente supportato da modelli combinati: modelli climatici globali e/o locali ad alta risoluzione, dataset climatici diversificati e simulazioni con metodologie di downscaling statistico e dinamico, supportati da metodi per combinare diversi tipi di simulazioni climatiche dinamiche che valutino anche i fattori e i meccanismi della variabilità decennale, inclusa la natura globale dei processi e dei meccanismi atmosferici associati (IPCC, 2017; GHG, 2014).

Tuttavia, come sottolinea l'OECD (Ellis and Moarif, 2015), l'UNEP (2022) o anche UN-Habitat (UN-Habitat, 2020b), sulle attività di misurazione, comunicazione e verifica (MRV) della mitigazione dei gas a effetto serra (GHG) – introdotte con il 'Bali Action Plan' – restano ancora molte perplessità sul 'cosa', 'come' e 'chi' dovrebbe misurare, comunicare e verificare o quali metriche climatiche e di emissione adottare ad esempio nella definizione di eventi estremi associata alla disponibilità di dati ad alta risoluzione.

Esistono poi ancora enormi lacune in termini di copertura geografica, tempestività e livello di disaggregazione richiesto (IPCC, 2017; EC, 2019), a cui si uniscono problematiche legate alla diffusione dei dati a tutti i livelli, dal tecnico al cittadino.

Altro punto nevralgico per la multi-settorialità e multiscalarità di azione è e sarà anche il potenziamento della partecipazione di tutti gli operatori economici ma anche sociali e culturali a questi processi, dalla raccolta del dato al monitoraggio dei risultati.

Ruolo della Commissione europea, così come prospettato nel testo di Risoluzione legislativa del Parlamento europeo del 24 giugno 2021, sarà 'agevolare i dialoghi e i partenariati settoriali in materia di clima riunendo i principali portatori di interessi in modo inclusivo e rappresentativo, in modo da incoraggiare i settori stessi a elaborare tabelle di marcia volontarie indicative e a pianificare la

transizione verso il conseguimento dell'obiettivo della neutralità climatica dell'Unione entro il 2050' (UE, 2021b, punto 49).

Per la definizione di un '*enabling environment*' (ICLEI, 2018a) per le azioni di mitigazione climatica, quindi, la collaborazione allargata e responsabile e la condivisione dei dati devono essere una parte chiave della pianificazione, per valutare in maniera olistica gli impatti multisettoriali, i rischi, le vulnerabilità, e le opportunità e sfide. Fattori abilitanti che sostengono le risposte di adattamento e mitigazione e che includono la governance, l'innovazione e gli investimenti in tecnologie e infrastrutture rispettose dell'ambiente, i mezzi di sussistenza sostenibili e le scelte di stile di vita (UNEP, 2020a; IPCC, 2014).

Anche se non possono e potranno assorbire interamente i costi dell'adattamento e della mitigazione climatica, i governi nazionali possono fare molto per creare questo 'ambiente favorevole' ai finanziamenti, delineando i decisori e le responsabilità ai diversi livelli di governo, stabilendo una legislazione 'abilitante' e rafforzando la capacità delle autorità municipali nell'utilizzare i meccanismi di finanziamento già disponibili (ICLEI, 2018b).

A tal fine già nei documenti della Commissione europea preparatori alla Legge europea sul clima, si ipotizza la realizzazione di Comitati consultivi nazionali in materia di clima che – lavorando in parallelo con l'EEA, l'Agenzia europea dell'ambiente e integrando a livello locale quanto svolto dall'IPCC a livello internazionale – dovrebbero svolgere un ruolo importante per esaminare le evidenze scientifiche prodotte a livello internazionale, fornire alle autorità nazionali pareri scientifici in materia di politica climatica, fornire consulenza scientifica, identificare azioni e opportunità necessarie a conseguimento degli obiettivi fissati e, non ultimo, sensibilizzare al tema dei cambiamenti climatici, cooperando alla costruzione di un'azione solida e duratura (UE, 2021b).

1.3. Verso la definizione di assi strategici di mitigazione a livello urbano

Una parola chiave che emerge da questa analisi è indubbiamente il termine ‘transizione’, un passaggio graduale e necessario verso un traguardo o meglio un processo di crescita intelligente, pulita e inclusiva rivolto alla realizzazione degli obiettivi di sviluppo sostenibile. Un processo verso una neutralità climatica che genererà benefici indotti in termini di salute, qualità dell’ambiente, benessere, occupazione, competitività, sicurezza energetica e lotta alla povertà. La necessità di integrare la valutazione dei rischi legati ai cambiamenti climatici nelle decisioni di investimento e di pianificazione è ormai non più una possibilità ma un’esigenza per garantire una migliore efficienza del processo di trasformazione sotto il profilo dei costi e della innovazione tecnologica nel conseguimento della riduzione e dei futuri obiettivi di assorbimento delle emissioni di gas a effetto serra e nel rafforzamento della resilienza (UE, 2021b).

Alla luce di questo termine chiave assunto come significativo della situazione attuale, nel quadro dei principali ambiti verso cui l’Unione Europea e anche i paesi terzi si stanno orientando, emergono degli specifici indirizzi prevalenti nonché problematiche e zone d’ombra, ovvero tematiche e assi di sviluppo che, sebbene sperimentalmente abbiano dimostrato la loro efficacia, non sono ancora stati pienamente recepiti dalla reportistica.

Il termine transizione nella sua accezione ‘verde’ si declina molto frequentemente come uno degli assi verso cui la maggior parte dei governi sono orientati, un’arma importante per la mitigazione delle cause dei cambiamenti climatici. Molti paesi hanno o stanno mettendo in atto strategie e policy anche a lungo termine in tale direzione. All’interno di questo macro-ambito potremmo far convergere prevalentemente tutte le strategie e azioni definite con il termine *green*. Queste strategie, che si possono riferire, anche in ambito di

mitigazione, prevalentemente a indirizzi di tipo ‘infra-strutturale’ concernenti le aree e gli elementi vegetati, si possono facilmente ritracciare in molta della reportistica analizzata, partendo dai documenti di lavoro per esempio dell’IPCC, dell’EPA, dell’UNEP, dell’OECD, ICLEI o del WEF e WMO a livello internazionale (tra cui alcuni: IPCC, 2022a e b, 2021, 2019, 2017; UNEP, 2020a; OECD 2019; ICLEI 2020a-2020b; 2021, 2022; WEF, 2021a, 2019; WMO 2022, 2020 a,b,c), a intere serie dell’ EEA (EEA 2022b, 2020a e b, 2019), nonché nelle relazioni dell’Horizon Europe, o in ambito italiano dell’ISPRA (2022, 2020, 2019; ISPRA-SNPA, 2019) o nei recenti PNNR, PNIEC e PNACC del Governo, per citarne alcuni. Da questa reportistica emergono prevalentemente azioni che potremmo in molti casi definire di ‘tradizionale’ *urban greening* che, per essere efficaci, visto il quadro delineato pocanzi, dovrebbero essere frutto di un processo diffuso e partecipativo. Limitato se non assente il richiamo ai principi della bioclimatica per l’edilizia, ovvero quella progettazione – frutto di un processo di studio e valutazione – volta ad ottimizzare le relazioni del costruito con le componenti dell’ambiente naturale circostante. Anche là dove si fa riferimento esplicito alla necessità di ‘ristrutturazione del parco immobiliare’, difficilmente si affronta in maniera approfondita il tema, in netto contrasto con le dichiarazioni e soprattutto i dati che configurano la città come primaria fonte di emissioni e parallelamente ambito tra i più vulnerabili ai cambiamenti climatici.

Tema altrettanto dibattuto riguarda una ‘transizione’ di tipo ‘energetico’, la ricerca di un modello di consumo sostenibile e di soluzioni per combattere i cambiamenti climatici e allo stesso tempo fornire, soprattutto considerando fenomeni di inurbamento in aumento, l’energia necessaria per raggiungere un adeguato livello di sviluppo (Tucci, Cecafofso, 2020; Tucci, Sposito, 2020). Emerge chiaramente, dalla reportistica, come in tema energetico sia sempre più basilare iniziare a puntare su strategie volte alla riduzione dei consumi anzi-

chè alla generazione di energia, pur se rinnovabile. Su questo tema si concentra il primario interesse internazionale (WEF, 2021 OECD, 2020; IEA, 2022a e b, 2020 a,b,c,d,e,f, 2018; COM, 2020c, 2019; Green Finance Institute, 2018; IPCC, 2022a e b, 2017 per citarne alcuni). In questo frangente, più che nel precedente, si discute, nell'ottica di obiettivi di mitigazione a lungo termine, sulla necessità di cambiamenti immediati nella politica e nell'azione, necessari per integrare le infrastrutture negli obiettivi e negli scopi della pianificazione a livello governativo. Sebbene siano stati definiti obiettivi di mitigazione a livello nazionale e siano stati proposti contributi nazionali individuali, la comprensione di come questi processi multilivello devono lavorare insieme non è ancor stata pienamente recepita. Tuttavia, senza la necessaria coordinazione tra i processi di trasformazione delle infrastrutture energetiche e gli indirizzi e le politiche a lungo termine volte alla riduzione delle emissioni, si rischia un disallineamento degli obiettivi – a varia scala – che inficia pesantemente sull'efficacia dei processi, con il rischio, soprattutto nelle città, di incentivare azioni disgregate e rivolte ad un esclusivo 'ammodernamento' tecnologico senza o con limitate ricadute sulla decarbonizzazione (OECD, 2022).

Altra figura della 'transizione' strettamente connessa è quella della 'digitalizzazione' dei processi e delle soluzioni tecnologiche. Le soluzioni digitali dalla scala locale a quella dell'edificio (IEA 2021), che sfruttano i più avanzati sistemi di IoT, possono aiutare i *consumer* e/o *prosumer* a utilizzare l'energia in modo più efficiente e generare cambiamenti comportamentali che portano a una gestione sostenibile dell'energia (Tucci, Santucci et al., 2018). La digitalizzazione potrà essere sempre più la base dei processi di transizione quale supporto ad una visione di tipo 'Life Cycle' strutturante il senso stesso di Green Economy, capace di sostanziare la 'circolarità' del sistema economico, la 'sostenibilità' dello sviluppo, la 'mitigabilità' della crisi climatica, l'efficienza della questione energetica, la 'capitalizzabilità' del patrimonio naturale, la 'inclusività' del benes-

sere, la 'adattività' alle emergenze e la 'rigenerabilità' delle città, e di includere il concetto di 'Costo ambientale' in tutte le strategie e azioni da questi assi sottese (Tucci, Battisti, 2020; Antonini, Tucci, 2017; UNEP/SETAC, 2011).

Restando nell'ambito di servizi e infrastrutture, al termine 'transizione' possiamo anche collegare il concetto di 'mobilità', ovvero strategie collegate alla movimentazione sostenibile (OECD/UN-Habitat, 2022; Mims, 2022; ICCT, 2021a e b; ISPRA-SNPA, 2019), tematica che negli anni ha manifestato un'attenzione abbastanza costante sia a livello di policy che di azioni concrete. Dare priorità alle alternative di mobilità sostenibile (trasporti pubblici, biciclette, aree pedonali e micromobilità elettrica) (WEF 2021a), rientra nel quadro di politiche e strategie volte alla neutralità climatica e nell'ambito di un differente concetto di spazialità urbana alimentata da politiche che disincentivino l'utilizzo individuale delle autovetture e incentivino gli investimenti verso riprogettazioni e ristrutturazioni infrastrutturali che diano priorità alle alternative di mobilità sostenibile (OECD/UN-Habitat, 2022, Cortei dei Conti Europea 2020, ICLEI, 2020d; OECD, 2020; RSE, 2017). Strategie, quindi, collegate a indirizzi strutturali, definiti come *grey* (EEA, 2012), che riportano a processi CCS, Carbon capture and storage, ovvero a processi di sottrazione nonché cattura, utilizzo e stoccaggio di CO₂ (CCU). L'apporto di queste strategie al processo di decarbonizzazione potrebbe essere importante, ma in tale settore, più che negli altri, è fondamentale la ricerca e l'innovazione per la creazione di soluzioni volte alla realizzazione di 'pozzi di assorbimento' artificiali – come indicato anche nell'articolo 1 della Risoluzione legislativa del Parlamento europeo del 24 giugno 2021 (UE, 2021b) – capaci di avvicinarsi alle performance dei principali pozzi di assorbimento naturali (dal suolo, alle foreste, agli oceani), capaci di assorbire tra i 9.5 e gli 11 Gt di CO₂ all'anno (Neier et al., 2018). Ad oggi, nessun pozzo di assorbimento artificiale è in grado di rimuovere la necessaria quantità di carbonio dall'atmosfera.

ra e le soluzioni naturali non riescono più a compensare emissioni globali di CO₂ che nel solo 2019 hanno superato di più di tre volte (38.0 Gt) la capacità totale di assorbimento di questi pozzi naturali. (PE, 2020). Per il momento la maggior parte delle attività volte alla *carbon neutrality* sono rivolte alla riduzione dei consumi e alla riduzione degli sprechi, nonchè alla compensazione delle emissioni prodotte, come previsto nel sistema di scambio EU-ETS (European Union Emissions Trading System) delle quote di emissione, istituito dall'Unione con la Direttiva 2003/87/CE già prima dell'entrata in vigore dell'accordo di Parigi.

Trasversale ai temi trattati emerge con sempre maggiore forza il termine 'circularità' che potremmo leggere come ulteriore sfaccettatura dei processi di transizione, richiamata di recente dalla 'Strategia nazionale per l'economia circolare' (MITE, 2022) o in diversi nuovi documenti dell'ICLEI (come ad esempio ICLEI 2021- 2020b) e non pienamente esplicitata in documenti come il 'Green New Deal' e 'Renovation wave'. Alla base del concetto di circolarità delle risorse c'è la negazione di un approccio lineare al consumo e all'uso delle risorse naturali verso la separazione della crescita economica dal consumo di risorse e verso un'economia della condivisione che minimizzi le esternalità negative, ovvero il cambiamento climatico, l'inquinamento atmosferico, dell'acqua, del suolo e il rumore. (RSE,2022; Legambiente, 2021; ARUP, 2016). Il tema della circolarità delle risorse non può essere però incoraggiato semplicemente promuovendo e emanando norme nazionali, ma c'è la necessità di delinearne i principi per specifici settori d'azione, incentivando non solo la ricerca, ma in un processo bottom-up, educare alla costruzione di nuovi valori. Il concetto di circolarità, infatti, solitamente associato ad un aspetto prettamente economico potrebbe e dovrebbe essere letto maggiormente in maniera estesa, nell'ottica di ottimizzazione delle risorse materiali nonchè spaziali che comportano anche una metamorfosi del tessuto urbano per arrivare a trasformare la nostra città in funzione di un concetto

di prossimità e *mixité* funzionale. In una diffusione estesa dei confini urbani, oggetto – anch’essi – di una transizione ‘postmetropolitana’ (Soja, 2011) – dove si perde la definizione di centro e periferia –, assistiamo ad un processo di deframmentazione non solo dello spazio ma anche del metabolismo urbano che se canalizzato e indirizzato verso un concetto di neutralità climatica può notevolmente incidere sulle abitudini e quindi sui consumi, aiutando al processo di decarbonizzazione. Questo tema, balzato alla cronaca durante il periodo pandemico, apre a nuove sfide e nuovi bisogni che nascono non solo dal comprenderne il significato ma anche dal capire come realizzare e gestire questo cambiamento che riguarda non solo il livello progettuale ma in primis i livelli istituzionali e anche livelli sociali, legati alla condivisione dei processi (EIT Climate KIC, 2020, 2021).

La domanda enunciata nell’ ‘Insight report del World Economic Forum’ (WEF, 2021a) su come la forma urbana può contribuire a questo processo *net-zero carbon* è emblematica: la pianificazione urbana del nuovo millennio dovrà orientarsi verso una molteplice transizione, verso lo sviluppo di un uso misto dello spazio, una città compatta che sposi la *policy for 15-minute neighbourhoods* dove lavoro, cibo, assistenza e ricreazione rientrino nel concetto di *mixité* funzionale – tra costruito e natura –, nel concetto di condivisione dell’energia e di incentivazione di una mobilità leggera e sostenibile. Solo così la forma urbana potrà determinare un tassello importante in questo processo.

Riferimenti bibliografici

- Antonini E., Tucci F. (eds.) (2017), *Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy. La costruzione di un Manifesto della Green Economy per l’Architettura e la Città del Futuro* | *Architecture, City and Territory towards a Green Economy. Building a Manifesto of the Green Economy for the Architecture and the City of the Future*, Edizioni Ambiente, Milano
- ARUP (2016), *Circular Economy in the Built Environment*, available at <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>

- Boehm S., Jeffery L., Levin K. et al. (2022), *State of Climate Action 2022*, Bezos Earth Fund, Climate Action Tracker, Climate Analytics, ClimateWorks Foundation, NewClimate Institute, the United Nations Climate Change High-Level Champions, and World Resources Institute, Berlin and Cologne, Germany, San Francisco, CA, and Washington, DC, Doi: 10.46830/wrirpt.22.00028
- Burck J., Hagen U., Höhne N., Nascimento L., Bals C. (2021), *CCPI Climate Change Performance Index 2021*, Germanwatch, NewClimate Institute & Climate Action Network, available at <https://ccpi.org/download/the-climate-change-performance-index-2021/>
- Climate Action Network (2022), 'The Loss and Damage Finance Facility', available at <https://climatenetwork.org/cop-27/>
- Climate Action Tracker (2021), 'Climate target updates slow as science ramps up need for action', available at https://climateactiontracker.org/documents/871/CAT_2021-09_Briefing_GlobalUpdate.pdf
- CeSPI (2019), *Lo stato di attuazione degli impegni di Parigi sul clima in vista della COP 25 di Madrid*, Camera dei deputati, available at https://www.cespi.it/sites/default/files/documenti/paper_zupi_osservatorio_cop25.pdf
- Chan S., Ellinger P., & Widerberg O. (2018), 'Exploring national and regional orchestration of non-state action for a <1.5°C world', *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 18(1), 135-152.
- Coalition for urban transitions, (2021), 'Climate Emergency, Urban Opportunity', available at <https://urbantransitions.global/wp-content/uploads/2019/09/Climate-Emergency-Urban-Opportunity-report.pdf>
- COM (2021a), Legislative train schedule. Fit for 55 Package under the European Green Deal, EC, Bruxelles
- COM (2021b), Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni, 82 final
- COM (2020a), Proposta modificata di Regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (UE) 2018/1999 (Legge europea sul clima)
- COM (2020b), Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio (Legge europea sul clima)
- COM (2020c), A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 662 final
- COM (2020d), Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni. Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030. Ripartire la natura nella nostra vita

- COM (2020e) Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni. Una strategia 'Dal produttore al consumatore' per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente
- COM (2019a), Il Green Deal europeo. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni
- COM (2019b), Relazione per paese relativa all'Italia 2019, Comprensiva dell'esame approfondito sulla prevenzione e la correzione degli squilibri macroeconomici.
- COM (2018a), Un pianeta pulito per tutti - Visione strategica europea a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra. Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo, al comitato delle regioni e alla banca europea per gli investimenti
- COM (2018b), A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. In-depth analysis in support of the commission communication
- COM (2016), Energia pulita per tutti gli europei. 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
- Corte dei Conti Europea (2020), 'Mobilità urbana sostenibile nell'UE: senza l'impegno degli Stati membri non potranno essere apportati miglioramenti sostanziali', available at https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20_06/SR_Sustainable_Urban_Mobility_IT.pdf
- Crippa M., Guizzardi D., Banja M. et al. (2022), *CO2 emissions of all world countries - 2022 Report*, EUR 31182 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Doi: 10.2760/730164
- Crippa M., Oreggioni G., Guizzardi D. et al. (2019), *Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries. 2019 Report*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, available at <https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/9d09ccd1-e0dd-11e9-9c4e-01aa75ed71a1/language-en>
- D'Aprile P., Enge H., van Gendt G. et al. (2020), 'Net-zero Europe. Decarbonization pathways and socioeconomic implications', McKinsey & Company, available at <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/how-the-european-union-could-achieve-net-zero-emissions-at-net-zero-cost>
- Data-Driven EnviroLab & NewClimate Institute (2020), 'Accelerating Net Zero: Exploring Cities, Regions, and Companies' Pledges to Decarbonise. Research report', available at http://datadrivenlab.org/wp-content/uploads/2020/09/Accelerating_Net_Zero_Report_Sept2020.pdf
- Dosio A. et al (2018), 'Extreme heat waves under 1.5 °C and 2 °C global warming', *Environ. Res. Lett.* 13, 1-10

- EC (European Commission) (2020a), Riunione straordinaria del Consiglio europeo (17, 18, 19, 20 e 21 luglio 2020). Conclusioni, available at <https://www.consilium.europa.eu/media/45118/210720-euco-final-conclusions-it.pdf>
- EC (European Commission) (2020b), Presentazione all'UNFCCC, a nome dell'Unione europea e dei suoi Stati membri, in merito all'aggiornamento del contributo determinato a livello nazionale dell'Unione europea e dei suoi Stati membri
- EC (European Commission) (2019), 'ECoLaSS – Horizon 2020. D61.2b - Communication, Dissemination and Exploitation Plan, Issue/Rev.: 2.0, ECoLaSS – Horizon 2020', available at https://6c1e2b9b-e840-4757-9a09-97d14ddbfe72.filesusr.com/ugd/c90769_0ddece8b0b5f4f8f8920b14b98a3952c.pdf
- EC (European Commission) (2018) 'Urban Atlas-Copernicus', available at <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>
- EC (European Commission) (2015), 'Copernicus, lo sguardo dell'Europa sulla terra', Direzione generale della Comunicazione Pubblicazioni, Bruxelles, available at https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_brochure_IT_Web_Oct2017.pdf
- EC (European Commission) (2012), 'Energy Roadmap 2050', Publications Office of the European Union, available at https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf
- EEA (European Environment Agency) (2022a), 'Advancing towards climate resilience in Europe – Status of reported national adaptation actions in 2021 2022', Publications Office of the European Union, Luxembourg, Doi: 10.2800/517467
- EEA (2022b), 'Urban sustainability in Europe – Postpandemic drivers of environmental transitions 2022', Publications Office of the European Union, Luxembourg, Doi: 10.2800/172173
- EEA (2021), 'Urban sustainability in Europe. Avenues for change. EEA Report No 16/2020', Publications Office of the European Union, Luxembourg, available at <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-sustainability-in-europe-avenues#:~:text=For%20the%20EEA%20urban%20environment,economical%20and%20social%20co%2Dbenefits>
- EEA (2020a), 'Trends and projections in Europe 2020 Tracking progress towards Europe's climate and energy targets- Report No 13', Publications Office of the European Union, Luxembourg, available at <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2020>
- EEA (2020b), 'Trends and drivers of EU greenhouse gas emissions, Report No 3', Publications Office of the European Union, Luxembourg, available at <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-drivers-of-eu-ghg>
- EEA (2019), 'Trends and projections in Europe 2019 Tracking progress towards Europe's climate and energy targets, Report No 15', Publications Office of the European Union, Luxembourg, available at <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/proportion-of-vehicle-fleet-meeting-5/eea-2019-trends-and-projections>

- EEA (2012), 'Urban Adaptation to Climate Change in Europe', Publications of the European Union, Luxembourg-Copenhagen, available at <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>
- EIT Climate KIC (2021), 'Annual report 2021', available at <https://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2022/04/EIT-Climate-KIC-Annual-Report-2021.pdf>
- EIT Climate KIC (2020), 'Annual report 2019', available at <https://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2020/04/EIT-Climate-KIC-Annual-Report-2019-web.pdf>
- Ellis J., Moarif S. (2015), 'Identifying and addressing gaps in the UNFCCC reporting framework', OECD/IEA Climate Change Expert Group Papers, No 07', OECD Publishing, Paris, Doi: 10.1787/5jm56w6f918n-en
- GHG (2014), 'Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories', available at https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP_GPC_0.pdf
- Green Finance Institute (2018), 'Accelerating green finance: Green Finance Taskforce report', available at <https://www.greenfinanceinstitute.co.uk/wp-content/uploads/2020/06/green-finance-taskforce-accelerating-green-finance-report.pdf>
- Hale T. (2016), 'All hands on deck: The Paris agreement and nonstate climate action', *Global Environmental Politics*, 16(3), 12-22
- Höhne N., Fransen T., Hans F. et al. (2019), Chapter 4: Bridging the gap: Enhancing mitigation ambition and action at G20 level and globally. 'Emissions Gap Report 2019', available at <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>
- Hoornweg D., Sugar L., Trejos Gomez C. L. (2020), Cities and Greenhouse Gas Emissions: Moving Forward, *Urbanisation* 5(1), 43-62, Doi: 10.1177/2455747120923557
- Hsu A., Widerberg O., Weinfurter A. et al. (2018), 'Bridging the emissions gap - The role of non- state and subnational actors. The Emissions Gap Report 2018, A UN Environment Synthesis Report'. United Nations Environment Programme
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2021a), 'Transport could burn up the EU's entire carbon budget', available at <https://theicct.org/blog/staff/eu-carbon-budget-apr2021>
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2021b), 'The role of the European Union's vehicle CO2 standards in achieving the European Green Deal', available at <https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-vehicle-standards-green-deal-mar21.pdf>
- ICLEI (2022), 'City-level circular economy interventions to protect and enhance biodiversity', Bonn, available at <https://circulars.iclei.org/resource/city-level-circular-economy-interventions-to-protect-and-enhance-biodiversity/>
- ICLEI (2021), 'ICLEI in the Urban Era: Our Vision for a Sustainable Urban World', Bonn, available at https://e-lib.iclei.org/publications/ICLEI_in_the_Urban_Era_2021.pdf
- ICLEI (2020a), 'Daring cities 2020: know more, act better, lead together, Bonn, available at https://e-lib.iclei.org/publications/ICLEI_Daring_Cities_2020_Report.pdf

- ICLEI (2020b), 'ICLEI's Climate Neutrality Framework Accelerating integrated climate action for sustainable urban development, Bonn, available at https://e-lib.iclei.org/publications/ICLEIs_Climate_Neutrality_Framework.pdf
- ICLEI (2020c), 'Global Platform for Sustainable Cities (GPSC) Sustainable Urban Development Assessment (SUDA) Summary Report', Bonn, available at https://www.thegpsc.org/sites/gpsc/files/gpsc_suda_summary_report_16_oct_revised_external_002.pdf
- ICLEI (2020d), 'Cities SHIFT. Capacity building and networking for climate-and people-friendly mobility. Measuring ecomobility in six cities in China, India, and Uganda', available at <https://sustainablemobility.iclei.org/wpdm-package/cities-shift-capacity-building-and-networking-for-climate-and-people-friendly-mobility-report/?wpdmdl=68813&ind=Q2l0aWVzIFNlSUZUIEZpbmFsIHJlcG9ydC5wZGY>
- ICLEI (2018a), 'Multilevel climate action: the path to 1.5 degrees', Bonn, available at <https://carbonn.org/system/settings/frontpagepublicationattachments/000/000/001/original/cCR-report-2017-2018-web.pdf?1543941125>
- ICLEI (2018b), 'Cities and Regions Talanoa Dialogues: Leveraging subnational action to raise climate ambition', Bonn, available at <https://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2019/01/Cities-and-Regions-Talanoa-Dialogues-2018-ICLEI.pdf>
- IEA (2022a), 'World Energy Outlook 2022', available at <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- IEA (2022b), 'Renewables 2022. Analysis and forecast to 2027', available at <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- IEA (2021), 'Empowering Cities for a Net Zero Future: Unlocking resilient, smart, sustainable urban energy systems', available at <https://www.iea.org/reports/empowering-cities-for-a-net-zero-future>
- IEA (2020a), 'Global Energy Review 2020. The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions', available at https://iea.blob.core.windows.net/assets/7e802f6a-0b30-4714-abb1-46f21a7a9530/Global_Energy_Review_2020.pdf
- IEA (2020b), 'Smart grids report, Tracking report', available at <https://www.iea.org/reports/smart-grids>
- IEA (2020c), 'Building envelopes report', available at <https://www.iea.org/reports/building-envelopes>
- IEA (2020d), 'Energy Technology Perspectives', available at https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf
- IEA (2020e), 'UCCUS in clean energy transitions', available at https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf
- IEA (2020f), 'Renewables, Analysis and forecast to 2025. Fuel report', available at <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>

- IEA (2018), 'echnology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry', available at <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cbaa3da1-fd61-4c2a-8719-31538f59b54f/TechnologyRoadmapLowCarbonTransitionintheCementIndustry.pdf>
- IPCC (2022a), 'Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. The Working Group III report', available at <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- IPCC (2022b), 'Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Working Group II', available at <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- IPCC (2021a), 'Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Working Group I', available at <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- IPCC (2021b), 'Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment', available at <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- IPCC (2019), '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_Full_Report_High_Res.pdf
- IPCC (2018a), '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_Full_Report_High_Res.pdf
- 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 (2018c), '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/sr15/>
- IPCC (2017), 'AR6 Scoping Meeting Addis Ababa, Ethiopia, 1-5 May 2017', IPCC Secretariat, Geneva, available at <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/AR6-Chair-Vision-Paper.pdf>
- IPCC (2014), 'Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmen-

tal Panel on Climate Change’, available at https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf

ISPRA (2022), ‘Le emissioni di gas serra in Italia alla fine del secondo periodo del Protocollo di Kyoto: obiettivi di riduzione ed efficienza energetica. Rapporti 362/2022’, available at <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/le-emissioni-di-gas-serra-in-italia-alla-fine-del-secondo-periodo-del-protocollo-di-kyoto>

ISPRA (2020), ‘Rapporto di sostenibilità 2020’, available at <https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/documenti-tecnici/rapporto-2020-ispra-settembre.pdf>

ISPRA (2019), ‘Ridurre le emissioni climalteranti: indicazioni operative e buone pratiche per gli Enti Locali’, Quaderni Ambiente e Società 20, available at https://www.isprambiente.gov.it/files2019/pubblicazioni/quaderni/Quad_AS_20_19.pdf

ISPRA-SNPA (2022), ‘Città in transizione: i capoluoghi italiani verso la sostenibilità ambientale. Documento di Valutazione Integrata della Qualità dell’ambiente urbano’, Report SNPA 30, available at <https://www.snpambiente.it/2022/07/04/citta-in-transizione-i-capoluoghi-italiani-verso-la-sostenibilita-ambientale-documento-di-valutazione-integrata-della-qualita-dellambiente-urbano/>

ISPRA-SNPA (2021), ‘Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021’, Report SNPA 21, available at <https://www.snpambiente.it/2021/06/30/rapporto-sugli-indicatori-di-impatto-dei-cambiamenti-climatici-edizione-2021/>

ISPRA-SNPA (2019), ‘XV Rapporto - Edizione 2019 Verso il Rapporto sulla qualità dell’ambiente urbano - Ed 2019’, available at <https://www.snpambiente.it/2020/09/10/xv-rapporto-sulla-qualita-dellambiente-urbano-edizione-2019/>

ISTAT (2022), ‘Rapporto SDGs 2022. Informazioni statistiche per l’Agenda 2030 in Italia’, available at <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2022/Rapporto-SDGs-2022.pdf>

ISTAT (2020), ‘Rapporto SDGs 2020. Informazioni statistiche per l’Agenda 2030 in Italia’, available at https://www.istat.it/it/files//2020/05/SDGs_2020.pdf

Kawakubo S., Murakami S., Ikaga T. & Asami Y. (2018), Sustainability assessment of cities: SDGs and GHG emissions, *Building Research & Information*, 46:5, 528-539, Doi: 10.1080/09613218.2017.1356120

Legambiente (2022), ‘Il clima è già cambiato. Gli impatti di siccità e caldo estremo sulle città, i territori e le persone’, Rapporto 2022 dell’Osservatorio di Legambiente CittàClima, available at <https://cittaclima.it/wp-content/uploads/2022/11/Rapporto-CittaClima-2022.pdf>

Legambiente (2021), ‘Comunità rinnovabili. Sole, vento, acqua, terra, biomasse Lo scenario della generazione distribuita nel territorio italiano’, available at <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/07/Comunita-Rinnovabili-2021.pdf>

Levasseur A. et al. (2016), ‘Enhancing life cycle impact assessment from climate science: Review of recent findings and recommendations for application to LCA’, *Ecological Indicators*, 71, 163-174

- Levin K. (2018), 'Half a Degree and a World Apart: The Difference in Climate Impacts Between 1.5°C and 2°C of Warming (WRI blog, 2018)', available at <https://www.wri.org/insights/half-degree-and-world-apart-difference-climate-impacts-between-15c-and-2c-warming>
- Lombardini M. (2021), COP26: il bilancio degli accordi di Glasgow, in *Osservatorio ISPI-IAI* No 19, available at <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/cop26-il-bilancio-degli-accordi-di-glasgow-32339>
- Marrakech Partnership and Global Climate Action (2021), 'Climate action pathway-Human settlements. Vision and summary', available at <https://unfccc.int/climate-action/marrakech-partnership/reporting-tracking/pathways/human-settlements-climate-action-pathway#Climate-Action-Pathway-2021>
- MATTM (2017), 'Verso un modello di economia circolare per l'Italia', available at https://www.labparlamento.it/wp-content/uploads/2017/12/Verso-un-modello-di-Economia-Circolare_MinAmbiente.pdf
- Mims (2022), Verso un nuovo modello di mobilità locale sostenibile, available at https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-05/Rapporto%20%27Verso%20un%20nuovo%20modello%20di%20mobilit%C3%A0%20sostenibile%27_0.pdf
- MISE (2019), Piano Nazionale integrato per l'energia e il clima, PNIEC, available at https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf
- MITE (2022), Strategia nazionale per l'economia circolare, [available at <https://www.mite.gov.it/pagina/riforma-1-1-strategia-nazionale-l-economia-circolare>]
- Neier H., Neyer J. and Radunsky K. (2018), 'International Climate Negotiations – Issues at stake in view of the COP 24 UN Climate Change Conference in Katowice and beyond', Study for the Committee on Environment, Public Health and Food Safety, European Parliament, Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, Luxembourg, available at [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/626092/IPOL_STU\(2018\)626092_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/626092/IPOL_STU(2018)626092_EN.pdf)
- NewClimate Institute et al. (2021), 'Global climate action from cities, regions and businesses: Impact of individual actors and cooperative initiatives on global and national emissions', available at <https://newclimate.org/resources/publications/global-climate-action-from-cities-regions-and-businesses-2021>
- NewClimate Institute et al. (2019), 'Global climate action from cities, regions and businesses: Impact of individual actors and cooperative initiatives on global and national emissions. Research report', available at https://www.alliancesforclimateaction.org/pdfs/NCI_Report_on_Subnational_Actors.pdf
- Nisbet E. G., Fisher R. E., Lowry D. et al. (2020), Methane Mitigation: Methods to Reduce Emissions, on the Path to the Paris Agreement, *Rev. Geophys.*, 58, 1-51
- Ocko I.B. et al. (2017), Unmask temporal trade-offs in climate policy debates. *Science*, 356(6337), 492-493
- OECD (2022), 'Decarbonising Buildings in Cities and Regions', OECD Publishing, Paris, available at <https://www.oecd-ilibrary.org/urban-rural-and-region>

- al-development/decarbonising-buildings-in-cities-and-regions_a48ce566-en
- OECD (2020), 'COVID-19 and the low-carbon transition. Impacts and possible policy responses', OECD Publishing, Paris, available at <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/covid-19-and-the-low-carbon-transition-impacts-and-possible-policy-responses-749738fc/>
- OECD (2019a), 'Accelerating Climate Action: Refocusing Policies through a Well-being Lens', OECD Publishing, Paris, available at <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/2f4c8c9a-en/index.html?itemId=/content/publication/2f4c8c9a-en>
- OECD (2019b), 'Work in support of climate action, OECD Environment Directorate', OECD Publishing, Paris, available at <https://www.oecd.org/env/cc/OECD-work-in-support-of-climate-action.pdf>
- OECD (2018), 'Rethinking Urban Sprawl, Moving Towards Sustainable Cities', OECD Publishing, Paris, available at <https://www.oecd.org/environment/tools-evaluation/rethinking-urban-sprawl-9789264189881-en.htm>
- OECD (2015), 'Climate Change Mitigation Policies and Progress', OECD Publishing, Paris, available at <https://www.oecd.org/env/climate-change-mitigation-9789264238787-en.htm>
- OECD (2014), 'Cities and Climate Change', OECD Publishing, Paris, available at <https://www.oecd.org/env/cc/Cities-and-climate-change-2014-Policy-Perspectives-Final-web.pdf>
- OECD/UN-Habitat (2022), 'Intermediary Cities and Climate Change: An Opportunity for Sustainable Development', OECD Publishing, Paris, Doi: 10.1787/23508323-en
- Our World in Data (2022), 'Our World in Data CO2 and Greenhouse Gas Emissions database', available at <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- PE (2020), Neutralità carbonica: cos'è e come raggiungerla entro il 2050, Articolo 08-10-2020 - 20190926STO62270, available at https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2019/10/story/20190926STO62270/20190926STO62270_it.pdf
- PNRR (2021), Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, available at <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
- RSE (2022), 'Orange Book 2022. Le comunità energetiche in Italia', RSE e Fondazione Utilitatis, available at <https://www.rse-web.it/wp-content/uploads/2022/02/OrangeBook-22-Le-Comunita-Energetiche-in-Italia-DEF.pdf>
- RSE (2017), 'Elementi per una roadmap della mobilità sostenibile. Inquadramento generale e focus sul trasporto stradale', available at <http://www.rse-web.it/eventi/Elementi-per-una-Roadmap-della-mobilit-agrave-sostenibile-1.page>
- Soja E. (2011), Beyond Postmetropolis, *Urban Geography*, 32(4), 451-469
- TFUE (2012), Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea, available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/txt/pdf/?uri=celex:12012e/txt>
- Trigila A., Iadanza C., Lastoria B., Bussetini M., Barbano A. (2021), 'Dissesto idro-

- geologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021', ISPRA, Rapporti 356, available at <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/dissesto-idrogeologico-in-italia-pericolosita-e-indicatori-di-rischio-edizione-2021>
- Tucci F. (2020), 'Adaptive Design and Green Building Approach for the City of the Future', in Battisti, A., Santucci, D. (a cura di), *Activating Public Space. An Approach for Climate Change Mitigation*, Technische Universität München Verlag, Monaco
- Tucci F. (2018a), *Green Building and Dwelling*, Altralinea, Firenze, available at <https://www.hoepli.it/libro/costruire-e-abitare-green-approcci-strategie-sperimentazioni-per-una-progetta/9788894869033.html>
- Tucci F. (2018b), *Costruire e Abitare Green. Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale | Green Building and Dwelling. Approaches, Strategies, Experimentation for an Environmental Technological Design*, Altralinea, Firenze
- Tucci F. (2017), 'Passive Cooling in Mediterranean Area for a Bioclimatic and Zero Energy Architecture', in Sayigh A. (eds), *Mediterranean Green Buildings & Renewable Energy*, Springer International Publishing Switzerland, Cham
- Tucci F. (2014), *Involucro, Clima, Energia. Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici | Envelope, Climate, Energy. Bioclimatic quality and energy efficiency in architecture in the environmental technological design of building skins*, Altralinea, Firenze
- Tucci F. (2012), *Atlante dei Sistemi Tecnologici per l'Architettura Bioclimatica. Ventilazione naturale negli edifici | Atlas of Technological Systems for Bioclimatic Architecture. Natural Building Ventilation*. Alinea, Firenze.
- Tucci F., Battisti A. (2020), 'Green Economy for Sustainable and Adaptive Architectures and Cities: Objectives, Guidelines, Measures, Actions', in SBE Temuco (a cura di), *SBE: Urban Planning, Global Problems, Local Policies*, IOP Publishing, Temuco, Chile
- Tucci F., Cecafofosso V. (2020), 'Retrofitting dello spazio pubblico per la qualità ambientale ed ecosistemica di città più Green', *Techné. Journal of Technology for Architecture and Environment*, n. 19, 256-270
- Tucci F., Santucci D., Endres E., Hausladen G. (2018), 'Smart Urban Districts: Dynamic Energy Systems for synergic interactions between Building and City', *Techné. Journal of Technology for Architecture and Environment*, Special Issue, 01, 92-102
- Tucci F., Sposito C. (a cura di) (2020), *Resilience between Mitigation and Adaptation*, Palermo University Press, Palermo
- UE (2021a), 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), available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/all/?uri=celex:32021r1119>

- UE (2021b), Risoluzione legislativa del Parlamento europeo del 24 giugno 2021 sulla proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (UE) 2018/1999 (Legge europea sul clima), available at https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0309_IT.html#title1
- UE (2018), Regolamento 2018/1999 sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima che modifica le direttive (CE) n. 663/2009 e (CE) n. 715/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, le direttive 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE e 2013/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, le direttive del Consiglio 2009/119/CE e (UE) 2015/652 e che abroga il regolamento (UE) n. 525/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio, available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>
- UN (2022), Sharm el-Sheikh Implementation Plan, FCCC/CP/2022/L.19, available at <https://unfccc.int/documents/624444>
- UN (2015a), Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, A/RES/70/1, available at <https://unric.org/it/agenda-2030/>
- UN (2015b), Paris Agreement, available at https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- UN (2015c), Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, available at <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
- UN-Habitat (2021), Urban Observatories: a Comparative Review, available at https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/01/urban_observatories_report_v2.pdf
- UN-Habitat (2020a), World Cities Report 2020: the Sustainable Development Goals Report, United Nations, available at <https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/09/the-sustainable-development-goals-report-2020-.pdf>
- UN-Habitat (2020b), 'The Sustainable Development Goals Report 2020, United Nations', available at <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020.pdf>
- UN-Habitat (2017), 'New Urban Agenda, a United Nations publication', available at <https://unhabitat.org/sites/default/files/2019/05/nua-english.pdf>
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2022), '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 (United Nations Environment Programme) (2021), 'The Heat is On. A world of climate promises not yet delivered. Emissions Gap Report 2021', available at <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2020a), 'Emissions Gap Report 2020', Nairobi, United Nations Environment Programme, available at <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>

- UNEP (United Nations Environment Programme) (2020b), '2020 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/2021-03/Buildings-GSR-2020_Report_24-03-21_0.pdf
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2018), 'Emissions gap report 2018, United Nations Environment Programme', available at https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26895/EGR2018_FullReport_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- UNEP/SETAC (United Nations Environment Programme and Society for Environmental Toxicology and Chemistry) 'Life Cycle Initiative (2011), Greening the Economy Through Life Cycle Thinking', available at https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2013/03/2012_LCI_10_years_28.3.13.pdf
- UNFCCC (2022), '2022 NDC Synthesis Report. Technical document. Approach and methods for estimating emission levels resulting from the implementation of nationally determined contributions and long-term visions, strategies and targets', available at <https://unfccc.int/ndc-synthesis-report-2022>
- UNFCCC (2021), 'NDC Synthesis Report', available at <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/ndc-synthesis-report/ndc-synthesis-report#eq-4>
- WEF (World Economic Forum) (2021a), 'Net Zero Carbon Cities An Integrated Approach, World Economic Forum', available at http://www3.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Carbon_Cities_An_Integrated_Approach_2021.pdf
- WEF (World Economic Forum) (2021b), 'Global Risks Report (GRPS) 2021 16th Edition, World Economic Forum', available at http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf
- WEF (World Economic Forum) (2020), 'The Net-Zero Challenge Fast Forward to Decisive Climate Action', World Economic Forum, available at http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Net_Zero_Challenge.pdf
- WEF (World Economic Forum) (2019), 'The Net-Zero Challenge Global Climate Action at a Crossroads', World Economic Forum, available at http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Net_Zero_Challenge_Part1.pdf
- WMO (World Meteorological Organization) (2022), 'Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin) - No 18: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2021', World Meteorological Organization Atmospheric Environment Research Division, Science and Innovation Department, Geneva, available at <https://public.wmo.int/en/media/press-release/more-bad-news-planet-greenhouse-gas-levels-hit-new-highs>
- WMO (World Meteorological Organization) (2020a), 'Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin) - No 16: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2019', World Meteorological Organization Atmospheric Environment Research Division, Science and Innovation

Department, Geneva, available at https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10437

WMO (World Meteorological Organization) (2020b), '2020 State of Climate Services Report', available at https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10385

WMO (World Meteorological Organization) (2020c), 'State of the Global Climate 2020. Provisional report', available at https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10444

Abstract

With reference to the issues and challenges highlighted in chapter 1, this chapter defines a framework of opportunities for climate change mitigation and the achievement of climate neutrality in cities, which can be realised by acting on the different systems composing the built environment.

Aim of the definition of this framework is to describe the key, articulated role of green cities with respect to the goal of decarbonisation. In this sense, the chapter brings together, on the one hand, the guidelines emerging from international reports on climate change and from European and national policies on the subject, and on the other, the most up-to-date design and methodological approaches from the scientific area of architecture and technological-environmental design.

In this way, six 'strategic axes' are defined and systematised, on which it is necessary to operate within cities, not necessarily already fully incorporated in national, European and international guidelines.

2. Opportunità, indirizzi, strategie di mitigazione climatica attraverso la riduzione delle emissioni nelle città al 2030, verso la neutralità climatica al 2050

Fabrizio Tucci, Paola Altamura

2.1. Opportunità di mitigazione del cambiamento climatico al 2030 e di neutralità carbonica al 2050: il ruolo delle *green city*

Con riferimento al *framework* delle problematiche e delle sfide evidenziate nel precedente capitolo, è possibile costruire un quadro delle opportunità di mitigazione del cambiamento climatico e di raggiungimento della *climate neutrality* che si presentano nell'ambito delle città, 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 city*, articolato e multiplo, rispetto all'obiettivo di decarbonizzazione. In tal senso, devono essere tessute delle interrelazioni che mettano a sistema da una parte agli indirizzi che emergono dai report internazionali sul cambiamento climatico e dalle *policy* pertinenti, dall'altro lo stato dell'arte degli 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, non necessariamente già integralmente incorporati nelle linee di indirizzo nazionali, europee ed internazionali.

Le città sono le maggiori responsabili della crescente pressione sull'ambiente, con quote elevate di prelievi di risorse naturali e resti-

tuzioni di inquinanti, e delle connesse implicazioni sulla sicurezza e sulla salute pubblica (ISTAT, 2020). Pertanto, è indispensabile considerare il ruolo che esse possono svolgere ai fini della mitigazione di tali impatti ambientali, ed in particolare del *climate change*.

Tale ruolo è stato riconosciuto dal Report del New Climate Economy che, nell'identificare le dieci aree chiave che offrono le maggiori opportunità per una più incisiva azione di mitigazione climatica, e che al contempo possono apportare anche significativi benefici economici, già nel 2015 ha collocato al primo posto la strategia 'Accelerate low-carbon development in the world's cities'. Il Report evidenzia infatti la necessità imprescindibile dell'impegno di tutte le città a livello globale, nell'implementare strategie di sviluppo urbano *low-carbon* che diano la priorità alle politiche e agli investimenti rivolti a: trasporto a basse emissioni; efficienza energetica degli edifici; produzione energetica da fonti rinnovabili; gestione efficiente dei rifiuti (New Climate Economy, 2015).

A livello globale, il Rapporto 'Net Zero Carbon Cities An Integrated Approach' (WEF, 2021) fornisce un quadro di insieme circa le opportunità di mitigazione nelle città e raccomanda l'adozione di un approccio energetico integrato, definito come 'efficienza sistemica', come soluzione alle attuali crisi ambientali, economiche, sanitarie e sociali. L'efficienza sistemica comprende: l'elettrificazione pulita, la tecnologia digitale intelligente, edifici e infrastrutture efficienti, insieme a un approccio di economia circolare alla gestione di acqua, rifiuti e materiali. La pianificazione e le tecnologie digitali che integrano edifici, energia, trasporti e sistemi idrici sono considerati centrali in questo senso. Le principali opportunità di raggiungere l'obiettivo di disporre di città *net zero carbon* sono identificate come segue:

- *Migliorare la produttività energetica*, grazie all'efficienza (a livello di edifici e di prodotti (elettrodomestici) ed alle *distributed energy resources* (DER), tramite il ricorso alla produzione diffusa da fonte rinnovabile e all'uso di batterie di piccola scala, per porta-

- re la produzione in prossimità dei luoghi di consumo e ridurre le perdite nel trasporto dell'energia;
- *Elettrificare i trasporti*, sia privati sia pubblici, sviluppando da una parte le policy e i regolamenti necessari a governare questa trasformazione delle infrastrutture, dall'altra a sostenere economicamente e promuovere lo sviluppo delle tecnologie, in particolare per i sistemi di ricarica;
 - *Limitare il ruolo dei combustibili fossili* attraverso la decarbonizzazione dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento, con il ricorso all'elettrificazione dei sistemi riscaldamento e alla distribuzione a rete del calore e dell'elettricità, creando sinergie nella fornitura all'interno dei singoli distretti;
 - *Ottimizzare la domanda di energia* e la flessibilità di fornitura in risposta ad essa (WEF, 2021).

Adottando un approccio olistico, le città avranno così la possibilità di aumentare la loro resilienza rispetto a potenziali crisi future legate al clima e alla salute, con il ricorso a soluzioni che consentiranno alle città di ripensare le infrastrutture urbane in ottica *green* e *smart*, per una maggiore efficienza, resilienza ed equità.

Il ruolo chiave delle città ai fini dei target di decarbonizzazione fissati dall'Unione Europea è evidenziato parimenti nel 2030 Climate Target Plan, in cui la Commissione ha previsto di ridurre le emissioni nette di gas a effetto serra nell'UE di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 per poi arrivare alla neutralità climatica nel 2050, e nello *European Green Deal*, in attuazione degli obiettivi dell'Agenda 2030 for Sustainable Development (EC, 2020a; COM, 2019; UN, 2015).

In particolare, anche a seguito della crisi seguita alla pandemia di COVID-19, nell'ultimo biennio è emersa drammaticamente l'importanza degli edifici nella vita quotidiana dei cittadini europei, e al contempo si sono palesati la loro obsolescenza e le criticità, al punto che è apparso ancor più necessario definire una *policy* specifica

che ne promuova la riqualificazione profonda e su vasta scala. Nella 'Renovation Wave', la Commissione Europea pone l'accento sull'opportunità di mitigazione climatica che risiede nel parco immobiliare europeo, caratterizzato da una diffusa obsolescenza, con più di 220 milioni di unità immobiliari (pari all'85% del totale) costruite prima del 2001, e l'85-95% degli edifici odierni che non è efficiente sotto il profilo energetico ma sarà ancora in uso nel 2050.

Agli edifici, nel complesso, è imputabile circa il 40% del consumo totale di energia dell'UE e il 36% delle emissioni di gas a effetto serra associate a questo consumo (EC, 2020b).

Per rispettare i target del Piano per il Clima, entro il 2030 l'UE dovrebbe 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%.

È pertanto urgente che l'UE si concentri su come rendere i nostri edifici più efficienti sotto il profilo energetico, a minore intensità di carbonio durante tutto il loro ciclo di vita e più sostenibili.

Obiettivi centrali della 'Renovation Wave' sono dunque di raddoppiare il tasso annuo di riqualificazione energetica degli edifici – residenziali e non – entro il 2030 e stimolare ad intraprendere riqualificazioni energetiche profonde. Questi obiettivi richiederanno una mobilitazione di forze a tutti i livelli, che sfocerà nella ristrutturazione di 35 milioni di unità immobiliari entro il 2030 (EC, 2020b). Grazie a tale 'ondata di riqualificazioni', entro il 2030 potrebbero essere creati 160.000 posti di lavoro *green* in più nel settore edile dell'UE: l'Europa si trova quindi di fronte a un'opportunità unica per fare della riqualificazione degli edifici un'operazione benefica sia per il clima che per la ripresa (COM, 2020).

NextGenerationEU, l'importante strumento della Commissione Europea definito a supporto della ripresa dalla crisi pandemica, metterà a disposizione, insieme al quadro finanziario pluriennale dell'UE, un volume inedito di risorse che potranno essere utilizzate anche per avviare la riqualificazione al servizio della ripresa, della

resilienza e di una maggiore inclusione sociale (EC, 2020b). Si sottolinea così il ruolo chiave che le città possono svolgere nella grande sfida della mitigazione del cambiamento climatico, se sapranno andare incontro – in combinazione – ad una necessaria e complessa trasformazione della società. A tal fine, le città dovranno essere supportate da adeguati investimenti per una transizione verso un'economia globale a basse emissioni di carbonio.

Come già richiamato, nonostante le città coprano globalmente solo il 3% della superficie terrestre, il loro impatto in termini di produzione di emissioni di GHG è pari ad oltre il 70% del totale.

Ciò che preoccupa, in particolare, è il trend di rapida espansione delle aree urbane, che potrebbe progressivamente determinare un incremento consistente delle emissioni climalteranti: la crescita delle città è veloce, e si stima che in Europa al 2050 quasi l'85% degli Europei vivrà in città (EC, 2020b).

Per questa ragione, la sfida della mitigazione climatica deve essere affrontata dalle città e dai cittadini.

La rapida crescita della popolazione urbana spinge inoltre verso l'alto la domanda di materiali da costruzione per nuovi edifici, ampliamenti, ristrutturazioni e infrastrutture: ciò genera emissioni di CO₂ significative che risulteranno 'incorporate' nei materiali da costruzione, al contrario del carbonio derivante dall'uso di energia, che può essere ridotto grazie all'efficientamento energetico degli edifici e delle reti di distribuzione (Bionova & One Click LCA, 2018).

In questa prospettiva, e all'interno del più ampio obiettivo di modernizzazione e decarbonizzazione dell'economia dell'Unione Europea, un'ambiziosa iniziativa, che esemplifica l'importanza strategica dell'azione da condurre per e con i cittadini per raggiungere la neutralità climatica della città, è rappresentata dal Programma della Commissione Europea 'Proposed mission: 100 Climate-neutral cities by 2030 - by and for the citizens', lanciato nel 2020.

Di questo programma si illustrano di seguito gli aspetti strategici, che aiutano a comprendere la portata del ruolo delle città *green*

nel cambiamento in ottica di decarbonizzazione complessiva dell'economia e dell'ambiente costruito che l'Europa sta contribuendo a guidare a livello globale.

2.2. La missione '100 Climate-neutral cities by 2030 - by and for the citizens' della Commissione Europea

Finalizzato 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 (EC, 2020b), il Programma '100 Climate-neutral cities by 2030 - by and for the citizens' della Commissione Europea consiste in una 'missione', un processo nel quale le città stesse esprimeranno il loro interesse ad entrare.

Verrà poi chiesto loro di eseguire un'autovalutazione del proprio livello di preparazione (Principiante, Esperto o Avanguardia): ciò consentirà una valutazione del 'deficit di politica climatica' della città, rispondendo al quesito 'cosa dobbiamo fare di più rispetto a ciò che stiamo facendo attualmente per diventare climaticamente neutri entro il 2030?' (EC, 2020b).

Rispetto agli obiettivi dell'Agenda 2030 for Sustainable Development (UN, 2015), la missione olistica e trasformativa per le città climaticamente neutre così delineata dalla Commissione Europea, e basata sulla partecipazione dei cittadini e sull'inclusione sociale, può contribuire e aiutare l'UE a progredire verso molteplici Sustainable Development Goals (SDG), ed in particolare a due obiettivi *core* (EC, 2020b):

- Goal 11 – Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili;
- Goal 13 – Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e le sue conseguenze.

L'obiettivo della missione è quello di trasformare '100 città' seguendo un approccio olistico: non si tratta chiaramente di un numero massimo nè, d'altra parte, il target di decarbonizzazione 2030 potrà essere raggiunto da tutte le città coinvolte, vista la dimensione tanto vasta della sperimentazione, che coinvolge città di diverse dimensioni, in vari contesti, con differenziate competenze ed esperienze di partenza ma con una comune ambizione.

La missione dimostra concretamente, tuttavia, come le città siano i luoghi nei quali la sfida della mitigazione dei cambiamenti climatici deve essere affrontata, attraverso l'attuazione integrata di strategie di decarbonizzazione per energia, trasporti, edifici e persino industria e agricoltura (EC, 2020b) ed il monitoraggio della loro efficacia con pertinenti indicatori.

Oltre a promuovere l'innovazione, a livello di governance della città, con il coinvolgimento attivo dei cittadini, e attraverso la sfida della digitalizzazione, il Programma della Commissione Europea individua due aree di azione cruciali, che vedremo più avanti corrispondere proprio a due 'assi strategici' per la mitigazione del cambiamento climatico in ambito urbano.

La prima è la transizione energetica, una sfida che le città oggi – pur disponendo delle tecnologie idonee – faticano ad implementare, per la necessità di passare prima attraverso una trasformazione sistemica, che dovrà basarsi su un approccio olistico per la promozione, l'innovazione e la diffusione, una matrice di *governance* integrata e multi-livello e una collaborazione profonda e continua tra tutti i portatori di interesse (EC, 2020b).

Indispensabile infatti il coinvolgimento dei cittadini ai fini del raggiungimento del target climatico 2030, e la definizione di 'percorsi di decarbonizzazione' (*selected decarbonisation pathway*), che fungano da indicatori per l'avanzamento.

Seconda area cruciale per la missione delle '100 città' è rappresentata dalla mobilità sostenibile: le città coinvolte dovranno orientare le loro azioni politiche nella direzione segnalata dal *Green Deal* eu-

ropeo, che prevede di garantire entro il 2050 un importante apporto dei trasporti alla neutralità climatica.

Per fare ciò, dovranno ricorrere alle tecnologie digitali, atte a rendere la mobilità intelligente oltre che sostenibile (EC, 2020b).

Nell'ambizione di raggiungere la riduzione del 90% delle emissioni entro il 2050, il contributo dei trasporti al *Green Deal* europeo verrà guidato da quattro principi:

- Rendere il sistema di trasporto nel suo insieme più sostenibile;
- Rendere disponibili soluzioni alternative sostenibili ai cittadini e alle imprese dell'UE;
- Rispettare il principio 'chi inquina paga' in tutte le modalità di trasporto;
- Promuovere la connettività e l'accesso ai trasporti per tutti.

Le quattro aree di azione nelle città coinvolte nella missione della Commissione Europea saranno quindi le seguenti:

- Aumentare la diffusione di veicoli puliti e carburanti alternativi per il trasporto stradale, marittimo e aereo;
- Aumentare la quota di modalità di trasporto più sostenibili come la ferrovia e le vie navigabili interne e migliorare l'efficienza in tutto il sistema di trasporto;
- Incentivare le giuste scelte dei consumatori e le pratiche a basse emissioni;
- Investire in soluzioni a basse e zero emissioni, comprese le infrastrutture.

2.3. Gli indirizzi di riduzione dei GHG nelle città in Italia

Come definito nel Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC, 2019), l'Italia condivide l'orientamento comunitario teso a rafforzare l'impegno per la decarbonizzazione dell'economia e intende promuovere un *Green New Deal*, inteso come un patto verde

con le imprese e i cittadini, che consideri l'ambiente come motore economico del Paese. L'esplicitazione dei contenuti del *Green New Deal* sta avvenendo progressivamente attraverso diversi provvedimenti, tra cui quelli di recepimento delle Direttive comunitarie attuative del pacchetto energia e clima, ma anche con iniziative ulteriori e sinergiche, come quelle contenute nella Legge di Bilancio 2020.

Obiettivi generali nazionali definiti dal PNIEC sono: 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; favorire l'evoluzione del sistema energetico, in particolare nel settore elettrico, da un assetto centralizzato a uno distribuito basato prevalentemente sulle fonti rinnovabili; accompagnare l'evoluzione del sistema energetico con attività di ricerca e innovazione che, in coerenza con gli orientamenti europei e con le necessità della decarbonizzazione profonda, sviluppino soluzioni idonee a promuovere la sostenibilità, la sicurezza, la continuità e l'economicità di forniture basate in modo crescente su energia rinnovabile in tutti i settori d'uso e favoriscano il riorientamento del sistema produttivo verso processi e prodotti a basso impatto di emissioni di carbonio che trovino opportunità anche nella domanda indotta da altre misure di sostegno (MISE, 2019).

Dopo una forte discesa tra il 2008 e il 2014, le emissioni pro capite di gas clima-alteranti in Italia, sono rimaste sostanzialmente inalterate fino al 2019 (PNRR). In Italia, le emissioni atmosferiche delle unità residenti, che ammontano nel 2018 a 438.1249 migliaia di tonnellate di CO₂ equivalente, sono per tre quarti generate dalle attività produttive e per un quarto dalla componente consumi delle famiglie, e dunque dal comparto abitativo all'interno del tessuto urbano. Elemento predominante dei gas serra in termini di CO₂ equivalente è l'anidride carbonica (82%), mentre il metano è presente al 10% (ISTAT, 2020). L'Italia, come definito espressamente nell'ambito del

Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), intende accelerare la transizione dai combustibili tradizionali alle fonti rinnovabili, promuovendo il graduale abbandono del carbone per la generazione elettrica a favore di un mix elettrico basato su una quota crescente di rinnovabili e, per la parte residua, sul gas.

La concretizzazione di tale transizione esige ed è subordinata alla programmazione e realizzazione degli impianti sostitutivi e delle necessarie infrastrutture (MISE, 2019).

Guardando al di là del comparto energetico, il contributo più significativo a livello nazionale alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti è atteso dal settore trasporti e da quello civile (residenziale e terziario), attraverso la combinazione di misure per l'efficienza energetica e l'impiego, sempre più consistente, delle rinnovabili (MISE, 2019).

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), approvato nel 2021, contiene e definisce le sei missioni strategiche che rappresentano le aree tematiche strutturali di intervento a livello nazionale: digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura; rivoluzione verde e transizione ecologica; infrastrutture per una mobilità sostenibile; istruzione e ricerca; inclusione e coesione; salute. Il Piano, nel rispetto delle linee di indirizzo del *Green Deal* europeo e dell'Agenda 2030, prevede i seguenti obiettivi generali della rivoluzione verde e transizione ecologica:

- Rendere la filiera agroalimentare sostenibile, preservandone la competitività;
- Implementare pienamente il paradigma dell'economia circolare
- Ridurre le emissioni di gas clima-alteranti in linea con gli obiettivi 2030 del *Green Deal*;
- Incrementare la produzione di energia da fonti rinnovabili e sviluppare rete trasmissione;
- Promuovere e sviluppare la filiera dell'idrogeno
- Sostenere la transizione verso mezzi di trasporto non inquinanti e le filiere produttive;

- Migliorare l'efficienza energetica e la performance antisismica degli edifici;
- Assicurare la gestione sostenibile della risorsa idrica lungo l'intero ciclo;
- Contrastare il dissesto idrogeologico ed attuare un programma di riforestazione.

Rispetto all'aumento del ricorso alle fonti rinnovabili, in particolare, per quanto riguarda i pannelli fotovoltaici di nuova generazione, l'obiettivo dell'investimento previsto dal PNRR è portare la produzione nazionale dagli attuali 200 MW/anno ad almeno 2 GW/anno nel 2025 e a 3 GW/anno negli anni successivi.

Per il patrimonio edilizio si prevede poi nello specifico un miglioramento dell'efficienza energetica, in particolare per gli edifici pubblici quali le scuole, per le quali si intende realizzare un tasso di ristrutturazione della superficie degli edifici scolastici pari al 20% del patrimonio esistente che, sommato ad un 30% di edifici ad oggi già efficienti e sicuri, permetterebbe di raggiungere la quota del 50% complessivo in breve tempo (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2021).

Del resto, in ottica di *carbon neutrality*, la *deep renovation* degli edifici esistenti ricopre oggi un ruolo cruciale per gli obiettivi di efficienza energetica del Paese: basti pensare che gli edifici rappresentano oltre il 40% dei consumi energetici e che, con riferimento alla classe energetica, la performance degli edifici in Italia è fra gli ultimi posti a livello europeo (Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2020).

Infine, importanti prospettive di innovazione per individuare ulteriori opportunità di mitigazione del cambiamento climatico sono aperte dal Programma Nazionale per la Ricerca (PNR) 2021-2027, che annovera tra i propri articolati obiettivi i seguenti:

- individuare azioni e progetti innovativi che portino ad una riduzione delle emissioni e dei fabbisogni energetici;
- sviluppare politiche, piani d'investimento e forme di organizzazione socioeconomica e produttiva che riducano le emissioni;

- raggiungere l'obiettivo del *Green Deal* europeo della transizione energetica e della decarbonizzazione dei sistemi biofisici, ineditivi/edilizi, infrastrutturali, socioeconomici e produttivi;
- adattare i contesti con azioni *green*, *grey* e *blue* nella convergenza di scelte sostenibili e mitigazione.

Obiettivi da raggiungere attraverso la ricerca su molteplici specifiche strategie e soluzioni quali: nuove tecnologie per la decarbonizzazione (produzione di energia da FER, biocombustibili, poligenerazione e sistemi multivettore); lo sviluppo di processi chimici e biologici per la produzione di vettori energetici low- e zero-carbon (ad esempio, idrogeno, metano, metanolo); nuove soluzioni per accumulo energetico, trasporto del calore, generazione e trasporto di fluidi freddi in ambito industriale; decarbonizzazione delle filiere produttive ad alta intensità energetica; recupero di energia e materiali da residui, rifiuti e processi industriali; sviluppo di comunità energetiche in ambito industriale, residenziale e misto e dei PED (*Positive Energy Districts*); sviluppo di tecnologie per la decarbonizzazione dei sistemi di trasporto terrestre, marittimo e aereo e delle infrastrutture portuali, aeroportuali e intermodali; evoluzione del sistema energetico a supporto della *e-mobility* e della decarbonizzazione dei trasporti (MUR, 2020).

2.4. Indirizzi per il raggiungimento della neutralità climatica delle città: tre focus per declinare le strategie sul piano dell'ambiente costruito

Con riferimento alla macro-questione del riscaldamento globale e dei mutamenti climatici, gli indirizzi per affrontare la sfida climatica nell'ambito delle città comprendono, come già richiamato, da una parte le misure di adattamento e innalzamento delle capacità di resilienza ai mutamenti ambientali e dall'altra le strategie di mitigazione dei

cambiamenti climatici centrate sulla transizione energetica *green*, sulla mobilità sostenibile, sulla riqualificazione bioclimatica ed energetica del patrimonio costruito, sull'uso efficiente e circolare delle risorse.

Le *green city* offrono un potenziale molto elevato negli sforzi globali di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici, ancora parzialmente inesplorato (Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2020). Tra le opportunità di mitigazione del cambiamento climatico e di raggiungimento della *climate neutrality* che si presentano nell'ambito delle città, si possono identificare tre concetti chiave su cui appare indispensabile focalizzare l'attenzione per massimizzare la riduzione delle emissioni climalteranti, garantendo al contempo un miglioramento delle performance ambientali degli insediamenti urbani e della qualità dell'abitare al loro interno:

- Il processo di *deep building renovation* dello stock abitativo esistente;
- Gli standard *net-zero* e *positive energy* alla scala dell'edificio e del distretto urbano;
- L'attivazione dello *smart environment* nell'ambito urbano.

2.4.1. La deep energy renovation degli edifici esistenti

Il processo di *deep energy renovation* applicato a livello di edificio, che conduce al target di drastica riduzione dei consumi energetici e può consentire di raggiungere l'obiettivo delle *zero emissions*, deve essere applicato su vasta scala al fine di conseguire risultati soddisfacenti a livello urbano.

La riqualificazione di massa dell'edilizia esistente può contribuire significativamente al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica delle città, se portata avanti con misure ed azioni che includano sia soluzioni attive (impianti di riscaldamento, raffrescamento, produzione energetica distribuita da fonti rinnovabili, etc.) sia l'apporto indispensabile delle soluzioni passive (da introdurre con il ricorso a strategie progettuali bioclimatiche).

Azioni consistenti di riqualificazione energetica e bioclimatica dello stock abitativo a livello di quartiere o di distretto, infatti, contribuiscono alla riduzione dei consumi energetici e delle correlate emissioni di GHG, attraverso la ridefinizione degli assetti costruiti, anche in termini di uso e occupazione degli edifici, delle caratteristiche e prestazioni degli involucri e degli impianti.

La direttiva sull'efficienza energetica (Direttiva 2012/27/UE) e la direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (Direttiva 2018/844/UE) 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. Entrambe le Direttive succitate contengono previsioni per incrementare il tasso di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, affrontando la sfida principale per la riduzione degli usi energetici e delle relative emissioni negli edifici, ovvero innalzare il numero, la qualità e l'efficacia degli interventi di *renovation* (CORDIS, 2018).

A livello europeo, la ristrutturazione profonda e di massa degli edifici esistenti potrebbe ridurre del 5-6% circa il consumo totale di energia e del 5% circa le emissioni di biossido di carbonio. Tuttavia, in media, ogni anno viene ristrutturato meno dell'1% del parco immobiliare nazionale, con percentuali che oscillano, negli Stati membri, fra lo 0,4% e l'1,2% (EC, 2020c). Per realizzare gli obiettivi comunitari in materia di clima ed energia, i tassi di ristrutturazione dovrebbero almeno raddoppiare.

A livello nazionale, ancora, il PNIEC (Piano Nazionale integrato per l'energia e il clima) (MISE, 2019) fa riferimento alla necessità di rinnovare il patrimonio edilizio esistente e predispone, ai fini dell'approfondimento sui tassi virtuali di ristrutturazione profon-

da al 2030, un apposito strumento modellistico. Le stime preliminari per il settore residenziale dei tassi virtuali di ristrutturazione profonda annui per il periodo 2020-2030, necessari a conseguire l'obiettivo 2030 PNIEC, mostrano la necessità di prevedere un'accelerazione del tasso virtuale di ristrutturazione profonda annuo fino a valori intorno allo 0,7%. A supporto di questo incremento, il Decreto legge 30 aprile 2019, n.34 (D.L. Crescita), ha istituito un contributo in favore dei comuni, nel limite massimo di 500 mln€ per l'anno 2019 sul Fondo Sviluppo e Coesione (FSC) per interventi relativi a investimenti nel campo dell'efficientamento energetico e dello sviluppo territoriale sostenibile.

2.4.2. Gli standard Net-zero energy e positive energy a livello di building e district

Il termine NZEB (*Nearly Zero-Energy Building*) è stato utilizzato per la prima volta nel pacchetto di Direttive Europee EPBD (*Energy Performance Building Directions*) pubblicato nel 2010. Gli stati membri hanno successivamente dovuto impegnarsi nell'introduzione di normative nazionali che promuovessero la realizzazione di edifici energeticamente efficienti.

L'EPBD richiede che tutti i nuovi edifici dal 2021 (e gli edifici pubblici già dal 2019) siano edifici a energia quasi zero (NZEB). Ai sensi dell'articolo 2, per 'edificio a energia quasi zero' si intende un edificio con prestazioni energetiche molto elevate, come determinato conformemente all'allegato I. La quantità di energia richiesta quasi zero o molto bassa dovrebbe essere coperta in misura molto significativa da fonti rinnovabili, comprese le fonti prodotte in loco o nelle vicinanze dell'edificio.

Allo standard *Nearly Zero-Energy Building* (NZEB) si è affiancato progressivamente quello del *Net Zero-Energy Building*, che può essere attribuito ad edifici più performanti degli NZEB con un consumo energetico netto pari a zero. Prestazioni energetiche ancora più ele-

vate caratterizzano edifici classificabili secondo lo standard *positive energy building* o *plus energy building*, che producono un surplus di energia rispetto a quella consumata.

Con i riferimenti ai suddetti standard, poichè le soglie e i range quantitativi non sono stati definiti nella direttiva EPBD, questi requisiti lasciano spazio all'interpretazione e consentono quindi agli Stati membri di definire gli NZEB, nei singoli Paesi, in modo flessibile, tenendo conto delle condizioni climatiche specifiche, di fattori locali legati alla produzione di energia primaria, dei diversi livelli di ambizione, delle varie metodologie di calcolo utilizzate e delle tradizioni costruttive locali.

Per questo motivo le definizioni esistenti di NZEB differiscono significativamente da Paese a Paese, pur rappresentando ormai uno standard utile a marcare chiaramente, per ciascun contesto, le prestazioni minime che le nuove costruzioni devono necessariamente garantire.

Maggiori opportunità in ottica di decarbonizzazione derivano invece dallo standard *positive energy building*, centrali nell'ambito del *green city approach*, poichè rappresentano di fatto degli hotspot di produzione di energia da fonte rinnovabile che possono essere messi a sistema nell'ambito urbano, attraverso le *smart grid*, per ridistribuire i surplus energetici ai fini della decarbonizzazione.

Estendendo lo standard di *positive energy building* alla dimensione del quartiere/distretto urbano, si arriva al modello dei *Positive Energy District* (PED): tali porzioni degli insediamenti urbani rappresentano aree efficienti e flessibili dal punto di vista energetico, che producono e gestiscono attivamente un surplus di produzione energetica da fonti rinnovabili su base annuale, condivisibile con altre zone urbane a scala locale o regionale, contribuendo così ad un bilancio urbano tendenzialmente pari a zero di emissioni di gas ad effetto serra.

2.4.3. L'attivazione dello smart environment in ambito urbano

La transizione verde è fortemente connessa alle potenzialità della trasformazione digitale in corso, accelerata drammaticamente dalla recente pandemia COVID-19. Rendere le nostre città e comunità climaticamente neutre e intelligenti è un passaggio necessario per realizzare questa duplice trasformazione verde e digitale attesa nell'UE (EC, 2020b). Si tratta fondamentale di attivare lo *smart environment* nell'ambito degli edifici e degli spazi di prossimità appartenenti alle nostre città, sfruttando al meglio le tecnologie abilitanti per promuovere innovazione e sostenibilità allo stesso tempo.

Come già richiamato, i modelli comportamentali e di consumo giocano un ruolo importante in relazione all'obiettivo di mitigazione del cambiamento climatico: in tal senso, le tecnologie digitali offrono un'opportunità imperdibile di attivare il coinvolgimento e la partecipazione dei cittadini, degli utenti, dei fruitori, orientandone i comportamenti e poi monitorandoli e mappandoli, facendo uso della sensoristica laddove utile, ed attivando processi di machine e deep learning per ottimizzare progressivamente i sistemi, soprattutto quelli che gestiscono l'energia, al fine di limitare i consumi e le emissioni. Strategica, in questo senso, è infatti la promozione e lo sviluppo di metodi di progettazione, simulazione, predizione, monitoraggio e valutazione supportati dalle tecnologie digitali, che consentano di prevedere e controllare e orientare le performance degli edifici, nell'ambito urbano, verso la decarbonizzazione.

Le stime indicano inoltre che le tecnologie dell'informazione e della comunicazione potrebbero fornire circa 7,8 GtCO₂ (gigatonnellate) di risparmi sulle emissioni, che rappresentano circa il 15% delle emissioni totali nel 2020. Esempi di progetti che potrebbero avere un grande impatto includono stabilità, efficacia e sicurezza delle reti elettriche a basse emissioni di carbonio, oppure lo smontaggio automatizzato e separazione dei rifiuti tramite AI e robotica (EC, 2020b).

Le infrastrutture energetiche intelligenti – generazione di energia,

fonti di energia distribuite, cavi, reti di riscaldamento e raffreddamento, contatori intelligenti, ricarica intelligente e tutto ciò che comprende la 'rete' – corrisponde a ciò che fa funzionare le città. L'energia è fondamentale per lo sviluppo socio-economico, alla base di tutti gli altri servizi. Senza infrastrutture energetiche, non ci sono elettricità, telecomunicazioni, trattamento delle acque reflue e trasporto elettrico (WEF, 2021). Infine, la creazione dello *smart environment* in ambito urbano può favorire l'inclusione nell'accesso a beni e servizi, nonché garantire la possibilità di riequilibrare i surplus, non solo energetici, di risorse e prestazioni tramite la condivisione tra più utenti, in ottica di *sharing economy*.

2.5. Quadro degli assi strategici per la riduzione delle emissioni climalteranti nelle città

Partendo dall'impalcato teorico del *green city approach*, inteso come sistematica applicazione dei principi della Green Economy alla città e all'architettura (Antonini, Tucci, 2017), e tenendo in considerazione le sfide, le opportunità e i focus precedentemente delineati, è possibile identificare sei 'assi strategici' su cui agire prevalentemente per la prevenzione e la riduzione dell'apporto di emissioni climalteranti da parte delle città. L'ambizioso target di abbattimento del 55% delle emissioni di gas a effetto serra entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, e soprattutto quello del raggiungimento di zero emissioni nette di GHG nel 2050 nell'UE-27, obiettivi sanciti oggi per legge, attraverso la recentissima adozione della prima *European Climate Law* (28 giugno 2021), sono ancora lontani (EEA, 2020). Tuttavia l'intervento sistemico sull'ambiente costruito in ambito urbano guidato dagli 'assi strategici' che andremo ad individuare, supporterà organicamente il raggiungimento dei target di neutralità climatica, andando a contribuire al contempo al disaccoppiamento tra la crescita economica e il consumo di risorse che l'Europa si pone come proprio ineludibile obiettivo.

I sei 'assi strategici', introdotti concettualmente nel precedente capitolo, sono i seguenti:

1. *energy transition*;
2. *bio-climate responsiveness*;
3. *functional mixitè and proximity*;
4. *resources circularity and self-sufficiency*;
5. *sustainable mobility*;
6. *urban greening, green CO₂ subtraction; gray CO₂ subtraction and storage*.

Tali assi strategici sono in buona parte direttamente richiamati nel quadro delle sfide, delle opportunità e degli indirizzi di mitigazione del cambiamento climatico di cui alla reportistica esaminata in precedenza. Tuttavia, come già osservato, mentre per gli assi portanti della *energy transition*, della *resources circularity and self-sufficiency*, della *sustainable mobility* e dell'*urban greening, 'green' CO₂ subtraction, 'gray' CO₂ subtraction and storage* la reportistica e le *policy* internazionali mostrano di aver ampiamente compreso e valutato il potenziale in termini di decarbonizzazione, lo stesso non può dirsi per quanto riguarda la *bio-climate responsiveness*, meno citata e compresa come opportunità strategica di abbattimento passivo dei fabbisogni energetici per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici. Anche l'asse strategico della *functional mixitè and proximity*, seppur dibattuto, ha un portato di ricadute positive su diversi sistemi all'interno del tessuto urbano il cui valore, certamente difficile da quantificare, non è sempre richiamato.

Fondamentale è inoltre osservare come le dimensioni d'azione per l'implementazione degli assi strategici siano di fatto multiple. La risposta alle sfide sin qui descritte, attraverso tale implementazione, deve avvenire infatti:

- Alla scala dell'*edificio*, a partire dagli interventi che interessano l'assetto spaziale dello stesso, il suo comportamento bioclimatico, intervenendo sull'involucro edilizio come elemento di me-

diizzazione dinamica e a proprietà variabili tra lo spazio interno e quello esterno;

- Nell'ambito degli *spazi aperti* ed *intermedi* tra gli edifici;
- La dimensione del *distretto* che rappresenta anch'essa una scala molto rilevante per l'analisi del territorio dal punto di vista dell'esperienza che ne fanno i cittadini (Long, 2012);
- La scala *urbana*, con la sua struttura e densità delle aree costruite, i diversi usi del suolo, la presenza delle reti *verdi* e *blu* che possono testimoniare, a diversi gradi, la naturalità al suo interno, e l'intenzione di rinforzare la biodiversità nella città (Long, 2012);
- La scala *sovra-urbana*, che dalla dimensione dell'area metropolitana può arrivare a quella regionale.

Di seguito, per ciascuno dei sei assi strategici, si individuano le principali strategie specifiche da applicare per un'efficace e sistematica prevenzione e riduzione delle emissioni climalteranti.

È importante rilevare, infine, come ai sei assi strategici qui identificati sia possibile, già oggi, ricondurre molteplici esperienze applicate in progetti ed interventi, sperimentali o meno, in cui essi sono attuati attraverso specifiche azioni progettuali e tecnologiche. Pertanto, nel capitolo successivo, i sei assi verranno organicamente declinati in azioni strategiche.

2.5.1. L'asse della energy transition

Il concetto di transizione *green*, già richiamato, vede negli aspetti energetici la principale sfida strategica per la riduzione delle emissioni climalteranti, poichè la quota prevalente (circa il 70%) di emissioni di GHG deriva a livello globale proprio dalla combustione di carburanti da fonte fossile per produzione energetica (UNEP, 2018).

Fino ad oggi gli sforzi del settore delle costruzioni si sono orien-

tati primariamente sulla produzione di energia da fonti rinnovabili (EEA, 2020), e contemporaneamente sull'efficientamento energetico degli involucri edilizi per ridurre i fabbisogni energetici in fase d'uso. Il passaggio dalle fonti fossili a quelle rinnovabili deve infatti essere necessariamente affiancato da strategie di riduzione dei fabbisogni energetici, affinché si possa efficacemente ridurre le emissioni climalteranti del settore energetico, come emerge da larga parte della reportistica a livello comunitario. La transizione energetica verso un sistema intelligente e diffuso di produzione e distribuzione dell'energia, basato prevalentemente sulla generazione locale da fonti rinnovabili, è da intendersi come determinante ai fini del raggiungimento della riduzione delle emissioni fissata dalla Legge Europea sul Clima (EC, 2021).

Entro il 2030, si prevede infatti che la quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili nell'UE dovrebbe almeno raddoppiare rispetto ai livelli attuali, passando dal 32% a circa il 65% o più (EC, 2020a). L'espansione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili offrirà molte opportunità per sfruttare appieno le fonti europee, ad esempio l'energia eolica offshore, ma anche il solare, soprattutto nell'area mediterranea. Il ricorso alle fonti di energia rinnovabili, inoltre sta producendo progressivamente un incremento del grado di decentramento della produzione energetica, dando ai consumatori l'opportunità di essere più partecipi, ai *prosumer* di produrre, usare e condividere l'energia e alle comunità locali, in particolare quelle rurali, di incoraggiare gli investimenti locali in questo tipo di energia; sarà inoltre stimolata la creazione di nuovi posti di lavoro a livello locale.

La diffusione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili offre una grande opportunità per la decarbonizzazione in altri settori come quello del riscaldamento e del raffrescamento negli edifici e nell'industria. La valutazione d'impatto a livello europeo evidenzia che le energie rinnovabili usate per il riscaldamento e il raffrescamento raggiungerebbero una penetrazione di circa il 40% nel 2030 (EC, 2020a).

Ulteriori settori su cui è necessario intervenire, oltre alle costruzioni sono l'industria e i trasporti.

Tuttavia, va riconosciuto come la pandemia di COVID-19 abbia interrotto le catene di approvvigionamento globali, comprese quelle per i progetti di energia rinnovabile, che potrebbero ritardare o ostacolare il loro completamento (OECD, 2020; PV Magazine, 2020). Il rischio è che le imprese coinvolte non possano ottenere i finanziamenti previsti e, di conseguenza, l'IEA ha previsto un calo delle aggiunte di capacità di energia rinnovabile nel 2020, a causa delle interruzioni della catena di approvvigionamento, delle misure di blocco, del distanziamento fisico e delle sfide finanziarie dovute alla pandemia (IEA, 2020). Il settore delle rinnovabili necessiterà quindi di un nuovo input, nell'ambito delle misure di ripresa post-pandemica, come previsto dal PNRR (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2021). In rapporto alla dimensione urbana, la transizione energetica passa tuttavia anche attraverso l'attuazione di processi di *Deep Energy Renovation* del patrimonio costruito esistente, che valorizzino le risorse materiche ed energetiche in esso incorporati e, tramite la riqualificazione profonda degli spazi, dell'involucro e degli impianti, lo conduca verso un livello di emissioni pari a zero.

Tali strategie di efficientamento energetico del patrimonio edilizio devono necessariamente essere associate ad un crescente ricorso alla produzione energetica da fonti rinnovabili, procedendo all'integrazione dei dispositivi per la produzione nell'architettura e nella città. Strategie fondamentali, per valorizzare quindi nell'ambito urbano e alla scala dei singoli distretti, l'energia prodotta localmente da fonti rinnovabili, sono quelle dello stoccaggio e della distribuzione dinamica in rete del surplus generato, attraverso le *smart/dynamic grids*, nonché di gestione e monitoraggio intelligente dell'energia ad esempio con i sistemi di *smart metering*, nella direzione del modello di *positive energy districts*.

Questo nuovo modello dovrà essere integrato con una decarbonizzazione dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento, nell'ottica

della loro elettrificazione e con il ricorso sempre più consistente ai sistemi di *District heating and cooling* (DHC), ovvero alle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento a servizio di più edifici all'interno di un distretto.

2.5.2. *L'asse della bio-climate responsiveness*

Un contributo chiave, ai fini della decarbonizzazione, è offerto dall'introduzione di strategie bioclimatiche declinate, all'interno dei distretti urbani, a tre livelli: al livello degli spazi aperti e intermedi tra gli edifici; alla scala dell'organismo edilizio nel suo insieme; al livello dell'involucro edilizio. La progettazione in chiave bioclimatica, ottimizzando il rapporto tra il costruito e i fattori micro-climatici e garantendo l'elevazione della qualità del comfort ambientale, permette di sfruttare in modo passivo gli apporti esterni, in particolare della ventilazione e del soleggiamento, per ridurre i fabbisogni energetici e contemporaneamente migliorare le condizioni abitative, abbattendo le emissioni climalteranti.

Tali strategie bioclimatiche, che si applicano sia negli interventi di retrofit del patrimonio architettonico esistente – con l'aggiunta o la trasformazione di spazi e/o dispositivi specifici – sia nella nuova costruzione, se adottate in modo massivo, non contribuiscono soltanto ad abbattere i consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento, limitato così le correlate emissioni di GHG, ma forniscono un importante apporto alla riduzione del *global warming* associato al cambiamento climatico.

I processi di *Mass Energy and Bio-climatic Retrofit* del patrimonio edilizio esistente sono dunque una componente non trascurabile dell'approccio integrato che occorre adottare per condurre i sistemi urbani verso il modello di decarbonizzazione.

Combinare, poi, le strategie di efficientamento energetico con quelle di responsività degli involucri edilizi rispetto ai fattori am-

bientali microclimatici, verso il modello di *variable properties skin*, ovvero di pelle che abbia la capacità di interagire dinamicamente con i fattori microclimatici modificando il proprio assetto e le proprie funzioni in modo da offrire di volta in volta una prestazione adeguata, permette di limitare ulteriormente i consumi energetici e massimizzando il comfort ambientale interno, in risposta alla variazione delle condizioni dell'intorno.

2.5.3. *L'asse della functional mixité and proximity*

L'asse strategico *functional mixité and proximity* vede nel ricorso ad un modello evoluto e dinamico di mix funzionale, inteso anche strumento per innescare il mix sociale e inter-generazionale, una possibilità di ottimizzare l'uso delle risorse materiali (spazi, flussi di risorse materiche) e immateriali (energia) nell'ambito delle città. Nell'ottica della densificazione, la concentrazione di più funzioni alla scala del quartiere e, soprattutto, del distretto, contribuisce così in molteplici modi alla riduzione dei consumi di risorse e delle emissioni climalteranti dovute ai trasporti, grazie agli spostamenti evitati, ma anche grazie alla ridefinizione degli assetti costruiti in termini di uso e modalità/tempi d'occupazione ed uso degli spazi e degli impianti degli edifici.

Del resto la mescolanza di funzioni all'interno di un settore dello spazio urbano, e segnatamente alla scala del *district*, garantendo la presenza di molteplici attività combinate con l'abitare, favorisce anche localmente la creazione di servizi e di posti di lavoro, e nel concretizzare una città in cui tutto è raggiungibile a breve distanza, oltre a limitare gli spostamenti e le connesse emissioni climalteranti, può aiutare a migliorare il benessere degli abitanti (Long, 2012).

Il concetto di città compatta, ed il ruolo strategico della forma urbana ai fini della decarbonizzazione, è del resto riconosciuto a livello internazionale, sebbene ancora non diffusamente implementato,

probabilmente per la difficoltà di quantificare i benefici ottenibili migliorando la forma urbana: le emissioni di carbonio continuano a salire in molte città, nonostante il progresso delle tecnologie pulite. Tuttavia, questa strategia si rileva spesso la più economica per poter incidere simultaneamente su tutti i settori che impiegano energia (WEF, 2021).

Per prevenire la futura crescita delle emissioni dovute ad una progettazione urbana orientata all'automobile, le città possono adottare pratiche di trasporto sostenibile e di pianificazione dell'uso del territorio. La strategia prioritaria per l'abbattimento delle emissioni nelle aree metropolitane in rapida crescita consiste proprio nell'affrontare le esigenze abitative attraverso azioni di *infill* urbano invece che di *sprawl* suburbano (WEF, 2021).

In questa ottica, lo sviluppo della *mixité* funzionale all'interno degli ambiti urbani, dando vita a quartieri all'interno dei quali gli spostamenti possano avvenire nell'arco di 15 o 20 minuti (come negli esempi delle città di Parigi e Melbourne) consente a tutti i cittadini di vivere in prossimità dei propri luoghi di lavoro, servizi essenziali e attività ricreative. In questo senso, è possibile individuare un parallelo tra le due scale dell'edificio e della città: proprio come l'efficienza energetica nei singoli edifici aumenta i vantaggi delle tecnologie di elettrificazione del riscaldamento, una forma urbana efficiente ci aiuta a decarbonizzare ciascuno dei sistemi che compongono una città (WEF, 2021). Gli spazi esterni di prossimità acquisiscono, in questa ottica, una molteplicità di potenziali funzioni: il concetto di *neighbourly* esprime proprio questa dimensione iper-locale nella quale la *mixité* funzionale ed il ricorso alle tecnologie digitali, che facilitano la collaborazione e la partecipazione dei cittadini, consente di mettere a sistema e condivisione risorse, spazi, alloggi, servizi e 'third places' (Oldenburg, 2000) e infrastrutture, contribuendo così alla *resource efficiency* e alla riduzione delle emissioni di gas serra.

2.5.4. *L'asse della resources circularity and self-sufficiency*

L'obiettivo di rendere l'economia europea efficiente sotto il profilo delle risorse e circolare è strettamente connesso con quello della decarbonizzazione. In tal senso, l'implementazione del principio di circolarità, e di tutte le strategie che ne derivano, rappresenta un approccio ineludibile per poter affrontare da un lato la riduzione degli impatti ambientali legati all'estrazione e alla lavorazione delle materie prime, dall'altro quelli connessi alla gestione dei prodotti e materiali a fine vita. Il settore delle costruzioni è responsabile di quasi il 50% in peso del consumo di materiali a livello dell'UE, consuma il 40% dell'energia e produce il 35% delle emissioni di gas serra (senza contare le emissioni incorporate) (ENEA et al., 2020). L'adozione di un approccio *Life Cycle* nella gestione delle risorse materiali impiegate nella realizzazione degli interventi edilizi risulta quindi oggi una priorità non più procrastinabile, al fine di implementare concretamente i principi di economia circolare e di contribuire ad evitare che l'impatto in termini di emissioni di GHG dovuto alle nuove costruzioni ma anche agli interventi di riqualificazione degli edifici esistenti cresca drammaticamente nei prossimi anni. 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/mq, 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 & One Click LCA, 2018).

Di contro, il report 'The Circular Economy – a Powerful Force for Climate Mitigation' (Material Economics, 2020), dimostra come un'economia più circolare può ridurre drasticamente le emissioni dell'industria pesante: in uno scenario ambizioso, fino a 296 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno nell'UE 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 (e circolare) dei materiali già esistenti può quindi portare l'industria dell'UE a metà strada verso l'azzeramento delle emissioni nette. Inoltre il report evidenzia come implementare l'approccio circolare nel settore di produzione dei materiali da costruzione rappresenta un'opportunità economicamente interessante. Le iniziative per un'economia più circolare meritano quindi un posto centrale nella politica climatica e industriale dell'UE (Material Economics, 2020). Incrementare l'efficienza nell'uso delle risorse materiali in edilizia è una strategia che può fortemente contribuire alla decarbonizzazione. La valorizzazione dei diversi tipi di flussi di rifiuti e il miglioramento dell'efficienza nell'uso dei materiali sono strategie cruciali nella maggior parte dei settori industriali. Mantenere i materiali nel *loop* produttivo invece che degradarli a rifiuti potrebbe portare a un risparmio fino a 178 Mton di CO₂ (soprattutto nel settore della plastica) (Material Economics, 2020).

Ulteriori margini di miglioramento sono rintracciabili nei processi produttivi del settore delle costruzioni, la cui ottimizzazione può portare a prodotti con una minore *material footprint*, grazie ad un migliore uso dei materiali e ad una migliore progettazione. Anche la razionalizzazione dei processi gioca un ruolo importante: si pensi ad esempio al fatto che il 15% dei materiali da costruzione viene sprecato durante la costruzione (ENEA et al., 2020). L'insieme coordinato di misure volte ad incrementare l'efficienza nell'uso dei materiali e la circolarità nella filiera edilizia porterebbe ad una potenziale riduzione di 56 milioni di tonnellate di CO₂ (Material Economics, 2020).

Un ulteriore fronte strategico è rappresentato dall'estensione della durata di vita dei prodotti, applicabile anche agli edifici, rendendoli flessibili ed adattabili a diversi usi nel tempo. Contemporaneamente, una maggiore durabilità e l'intensificazione dell'uso degli edifici potranno contribuire ad una riduzione di ulteriori 64 milioni di tonnellate di CO₂, grazie ad una minor necessità di materiali e prodotti per costruirli e mantenerli (ENEA et al., 2020). L'implementazione sistematica di queste strategie di uso circolare delle ri-

sorse materiali nei processi di trasformazione del patrimonio costruito nelle città sono da considerarsi quindi necessari per raggiungere gli obiettivi climatici europei e globali, data la crescente domanda di materiali e il consistente tenore della CO₂ incorporata nei materiali e prodotti per le costruzioni (in particolare nella plastica, prodotta sulla base di fonti fossili, nei metalli e nel cemento, a causa degli elevati consumi energetici nei processi produttivi).

Appare quindi evidente che la *carbon neutrality* nel settore delle costruzioni non potrà essere raggiunta senza affrontare le emissioni incorporate, concentrate principalmente nei settori ad alta intensità energetica che producono materiali e prodotti intermedi per l'edilizia e le infrastrutture. L'approccio circolare rappresenta uno dei percorsi più promettenti e competitivi – dal punto di vista dei costi – per decarbonizzare questi prodotti, e dovrà necessariamente essere posto al centro delle politiche del settore delle costruzioni (ENEA et al., 2020). Molteplici sono quindi le specifiche strategie di circolarità che dovranno essere implementate nell'ambiente costruito e specificatamente nell'ambito urbano.

A partire dal 'ReSOLVE Framework', che delinea le sei azioni chiave - da applicare in ottica multiscale a prodotti, edifici, quartieri, città, regioni o a livello di interi comparti economici - per guidare la transizione verso un'economia circolare (*Regenerate, Share, Optimise, Loop, Virtualise, Exchange*) (Ellen McArthur Foundation et al., 2015), ARUP ha declinato un ricco palinsesto di strategie circolari specifiche per l'architettura (ARUP, 2016), che evidenziano come la transizione verso la circolarità possa condurre ad un sistema costruito rigenerativo e benefico per l'uomo e per l'ambiente, in conformità alla teoria *Cradle to Cradle* (McDonough & Braungart, 2002), offrendo un contributo sinergico sia all'adattamento sia alla mitigazione del cambiamento climatico:

- Regenerate – Rigenerare e ripristinare il capitale naturale:
 - Salvaguardare, ripristinare e aumentare la resilienza degli ecosistemi;

- Restituire preziosi nutrienti biologici alla biosfera;
- Share – Massimizzare l’utilizzo delle risorse;
- Mettere in comune l’utilizzo dei beni;
- Riutilizzare i beni.
- Optimise – ottimizzare la performance del sistema:
 - Prolungare la vita dei beni;
 - Ridurre l’uso di risorse;
 - Implementare la logistica inversa (nell’ambito dell’edilizia, la decostruzione).
- Loop - Mantenere prodotti e materiali in circolo, dando priorità ai cicli interni:
 - Rigenerare e ricondizionare prodotti e componenti;
 - Riciclo dei materiali.
- Virtualise - Sostituire l’uso delle risorse con l’uso virtuale:
 - Sostituire i prodotti e servizi fisici con servizi virtuali;
 - Sostituire luoghi fisici con luoghi virtuali;
 - Fornire servizi a distanza.
- Exchange - Selezionare le risorse e la tecnologia con saggezza:
 - Sostituire le fonti convenzionali non rinnovabili con fonti di energia e materiali rinnovabili;
 - Utilizzare input alternativi di materiali;
 - Sostituire soluzioni tradizionali con tecnologie avanzate;
 - Sostituire modelli incentrati sul prodotto con nuovi modelli incentrati sui servizi.

L’implementazione di questo articolato set di strategie richiede lo sviluppo di nuovi modelli di business e di consumo, innovazione a livello di governance, di infrastrutture e soprattutto di processo e di prodotto, ma anche strumenti quali la simbiosi industriale, che pone l’attenzione sulla cooperazione tra le diverse catene del valore attraverso uno scambio di materia, energia, acqua e/o sottoprodotti tra industrie tradizionalmente separate, che consente di promuovere vantaggi competitivi, con benefici ambientali, economici e sociali

per tutto il territorio coinvolto (MATTM, 2017). Un approccio integrato nella direzione dell'economia circolare che, a livello nazionale, è supportato dalla prima rete nazionale di simbiosi industriale (SUN – Symbiosis User Network) promossa dall'ENEA.

A supporto di un avanzamento dell'Italia in questa direzione, è stata di recente pubblicata, dopo una consultazione pubblica avvenuta tra settembre e novembre 2021, la 'Strategia nazionale per l'economia circolare (SEC)' (approvata con D.M. 259 del 24 giugno 2022) (MITE, 2022), che aggiorna il documento 'Verso un modello di economia circolare per l'Italia. Documento di inquadramento e di posizionamento strategico' (MATTM, 2017), che aveva fornito un primo inquadramento generale sull'economia circolare e definito il posizionamento strategico dell'Italia sul tema. La SEC introduce invece una serie di misure più mirate, tra cui un nuovo sistema di tracciabilità digitale dei rifiuti, incentivi fiscali a sostegno del riciclo e dell'uso di materie prime secondarie, il diritto al riuso e alla riparazione, la riforma del sistema di responsabilità estesa del produttore (in particolare per il settore della plastica e del tessile), sostenendo inoltre gli strumenti normativi esistenti, tra cui la legislazione sulla cessazione della qualifica di rifiuto (End of Waste) e i Criteri Ambientali Minimi del GPP, e la simbiosi industriale. La SEC individua dunque serie obiettivi e misure da perseguire nello sviluppo delle policy nazionali al fine di assicurare un'effettiva transizione verso i principi dell'economia circolare, che possa garantire a livello nazionale una maggiore efficienza nell'uso delle risorse nelle diverse catene del valore, inclusa quella delle costruzioni.

Gli approcci qui descritti possono contribuire, inoltre, al raggiungimento di una maggiore indipendenza delle industrie europee dall'importazione di materie prime. L'indicatore '*Self-sufficiency of raw materials for production in the EU*' è infatti tra quelli monitorati dall'EUROSTAT allo scopo di verificare il progressivo incremento dei comportamenti circolari (riduzione dei rifiuti, aumento del tasso di riciclaggio e del ricorso a materie prime seconde in luogo di materie prime vergini).

Infine, occorre precisare che le strategie circolari qui delineate devono essere applicate non soltanto ai materiali da costruzione, laddove il potenziale di decarbonizzazione è molto consistente viste le notevoli quantità in gioco, bensì anche agli altri flussi di risorse che caratterizzano il metabolismo urbano: l'energia, l'acqua, i prodotti alimentari, i rifiuti solidi urbani e gli speciali.

2.5.5. *L'asse della sustainable mobility*

L'asse strategico *sustainable mobility* ha un peso cruciale per il raggiungimento della neutralità carbonica, se si pensa che in Europa il trasporto su strada è responsabile del 20% delle emissioni di CO₂ complessive (WEF & SYSTEMIQ, 2021). Il *Green Deal* europeo fissa l'obiettivo della riduzione delle emissioni dovute ai trasporti del 90% entro il 2050 (COM, 2019). Tuttavia, a livello comunitario si registra che, mentre le emissioni dovute ad altri settori economici sono tendenzialmente diminuite negli ultimi decenni, quelle dovute ai trasporti sono invece cresciute (ICCT, 2021a). Occorre quindi attuare una strategia di decarbonizzazione ambiziosa per il settore dei trasporti, considerando che comunque è probabile che le emissioni dovute alla mobilità continueranno a rappresentare una quota crescente di quelle prodotte in Europa, e pertanto resteranno una sfida cruciale per il raggiungimento della neutralità climatica (ICCT, 2021b).

Nell'ambito urbano, le strategie da implementare per decarbonizzare il settore dei trasporti riguardano lo sviluppo di politiche e investimenti su trasporti pubblici, a basse emissioni e non motorizzati (New Climate Report, 2015), dando priorità a mezzi pubblici, mobilità dolce (biciclette), micro-mobilità elettrica (WEF & SYSTEMIQ, 2021) nonché alla condivisione dei veicoli e alla diffusione dei veicoli elettrici. Il passaggio chiave, anche nel settore della mobilità, dovrà essere quello della sostituzione dei combustibili fossili con altri carburanti, inclusi i bio-carburanti e l'idrogeno. A livello

mondiale, la strategia prevalentemente attuata oggi è quella del passaggio ai veicoli elettrici, che sta progressivamente accelerando, con uno stock mondiale che ha raggiunto i 5 milioni di veicoli, tra quelli elettrici puri ed ibridi. A livello europeo, questa transizione del sistema della mobilità sta avvenendo in modo differenziato, con la Norvegia, la Germania e il Regno Unito che rappresentano i Paesi con il maggior numero di veicoli elettrici; l'Italia rappresenta un caso peculiare, poichè affianca un numero di veicoli elettrici ancora limitato alla presenza di veicoli alimentati da altri carburanti 'alternativi' a quelli fossili (GPL e metano) (Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2020). Ulteriore strategia chiave in cui si declina l'asse strategico della mobilità sostenibile è quella della condivisione dei veicoli, ovvero della *sharing mobility*. Tale strategia vede di fatto la mobilità trasformarsi in servizio, con la possibilità per i cittadini di non dover più ricorrere ad un veicolo di proprietà o necessariamente al trasporto pubblico collettivo per muoversi in ambito urbano, bensì con l'opportunità di ricorrere al 'noleggio' di veicoli condivisi in soluzioni *free-floating* o *station based*, attraverso un numero ormai consolidato di operatori in numerose aree urbane coinvolte a livello nazionale (Ciuffini et al., 2020).

Il contributo alla decarbonizzazione delle città che può derivare dalla trasformazione della mobilità urbana in ottica di sostenibilità può dimostrarsi quindi particolarmente consistente, a condizione che esso avvenga in ottica di elettrificazione dei trasporti, in abbinamento con una sempre crescente diffusione delle fonti rinnovabili nel settore della produzione di energia elettrica e in combinazione con la diffusione della *sharing mobility* (Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2020), oltre che con un rafforzamento e una transizione all'elettrico per le flotte del trasporto pubblico. Tuttavia, diverse sono le sfide che si pongono in questo ambito, per le varie implicazioni sociali ed economiche e le complessità tecnologiche che la transizione *green* applicata ai trasporti comporta, e che dovranno essere affrontate per fronteggiare la necessaria riduzione delle emissioni del settore.

2.5.6. L'asse dello urban greening, green CO₂ subtraction, gray CO₂ subtraction and storage

L'ultimo asse strategico comprende in primo luogo le strategie di *urban greening* che valorizzano la componente vegetazionale all'interno del tessuto urbano, contribuendo a rafforzarla nel suo ruolo di *Green Ecosystem Service*, con la duplice finalità di contribuire alla decarbonizzazione e all'aumento della resilienza degli insediamenti urbani. Grazie alla sua capacità di sottrazione di CO₂ tramite i processi di fotosintesi, il verde, alle varie scale e nelle sue diverse componenti, contribuisce infatti in modo determinante a caratterizzare la *green city*, favorendo la decarbonizzazione e al contempo generando benefici per la qualità della vita e la salute degli abitanti delle città, grazie ad impatti rilevanti e trasversali sulla qualità dell'aria, sul capitale naturale, sui rischi idrogeologici e sulle isole di calore (Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2020).

Gli spazi verdi urbani hanno infatti un importante potenziale di *carbon sequestration*, differenziato in base alle specie vegetali e alle caratteristiche della loro distribuzione negli spazi aperti, che può essere sfruttato per rimuovere la CO₂ dall'atmosfera, soprattutto se essi vengono messi a sistema e densificati, sfruttando anche le superfici esterne degli involucri edilizi per ospitare la vegetazione.

La strategia del bilancio verde (*green budgeting*), che molte città stanno introducendo, permette inoltre di pianificare la riduzione delle emissioni di CO₂ prevedendo i risparmi sui costi diretti e i co-benefici associati, per una più efficace allocazione delle risorse. Tale approccio è promosso dal *Green Deal* europeo e dall'OCSE per migliorare l'allineamento delle finanze pubbliche con gli obiettivi ambientali. (EC, 2020b). Le strategie *green* per la sottrazione della CO₂ in ambito urbano, basate sulle infrastrutture verdi, 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 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.

Le suddette tecnologie, pur essendo *end-of-pipe*, hanno una loro rilevanza strategica a livello globale: le strutture CCUS già oggi hanno la capacità di catturare a livello globale più di 40 MtCO₂ ogni anno (IEA, 2021). Il loro ruolo, di complemento prima di tutto alle strategie e tecnologie di prevenzione delle emissioni e in secondo luogo alle strategie di sequestro tramite le infrastrutture *green*, è riconosciuto, seppure indirettamente, dall'articolo 6 dell'Accordo di Parigi, che prevede approcci cooperativi volontari tra i diversi Paesi, all'interno dei quali i depositi di carbonio creati tramite CCS e CCUS possono essere intesi come una risorsa per lo scambio di quote di CO₂ (Tamme, & Scowcroft, 2020). In prospettiva, si può prevedere che queste strategie potranno svolgere un ruolo importante in futuro, nel fronteggiare andamenti del trend di diminuzione delle emissioni non in linea con le aspettative e i target che la comunità internazionale si è posta, ma dovranno essere oggetto di ulteriori approfondimenti da parte del mondo della ricerca, che ne risolvano gli aspetti attualmente dibattuti.

Riferimenti bibliografici

Antonini E., Tucci F. (eds.) (2017), *Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy. La costruzione di un Manifesto della Green Economy per l'Architettura e la Città del Futuro* | *Architecture, City and Territory towards a Green Economy. Building a Manifesto of the Green Economy for the Architecture and the City of the Future*, Edizioni Ambiente, Milano

- ARUP (2016), *Circular Economy in the Built Environment*, available at <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>
- Bionova, 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/wp-content/uploads/2018/12/Embodied_Carbon_Review_2018.pdf
- Ciuffini M., Asperti S., Gentili V., Orsini R., Refrigeri L. (2020), *4° Rapporto nazionale sulla Sharing Mobility*, Osservatorio Nazionale Sharing Mobility della Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, available at <http://osservatoriosharingmobility.it/wp-content/uploads/2020/12/IV-RAPPORTO-SHARING-MOBILITY.pdf>
- COM (2020), 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', 662 final, Publications Office of the European Union, Bruxelles
- COM (2019), Il Green Deal europeo. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni
- CORDIS (2018), 'Results Pack on Deep Renovation A thematic collection of EU-funded research and innovation results', available at <https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/7726dd32-f6b1-11e8-9982-01aa75ed71a1/>
- EC (European Commission) (2020a), 'Un traguardo climatico 2030 più ambizioso per l'Europa. Investire in un futuro a impatto climatico zero nell'interesse dei cittadini - Piano per l'obiettivo climatico 2030', Publications Office of the European Union, Bruxelles
- EC (European Commission) (2020b), 'Proposed Mission: 100 Climate-neutral Cities by 2030 – by and for the Citizens. Report of the Mission Board for climate-neutral and smart cities', Publications Office of the European Union, Luxembourg
- EC (European Commission) - Dipartimento Energia (2020c), 'Efficienza Energetica nell'edilizia', Publications Office of the European Union, Bruxelles
- EC (European Commission) (2018), Direttiva 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, Publications Office of the European Union, Bruxelles
- EC (European Commission) (2012), Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, Publications Office of the European Union, Bruxelles
- EEA (2020a), Trends and projections in Europe 2020 Tracking progress towards Europe's climate and energy targets. Report No 13, Publications Office of the European Union, available at <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2020>
- Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment,

- SUN (2015), *Growth Within: A circular economy vision for a competitive Europe*, available at https://www.mckinsey.de/sites/mck_files/files/growth_within_report_circular_economy_in_europe.pdf
- ENECA, INEC, ACR+, European Environmental Bureau, ECOPRENEUR (2020), *European Circular Economy Stakeholder Platform (ECESP) Coordination Group - Leadership Group on Construction, Orientation paper*, available at <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/leadership-group-construction.pdf>
- Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (2020), *Italy Outlook 2019: Verso la decarbonizzazione dell'economia, Italia*, available at https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/italyoutlook2019_Verso-la-decarbonizzazione-delleconomia.pdf
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2021a), 'Transport could burn up the EU's entire carbon budget', available at <https://theicct.org/blog/staff/eu-carbon-budget-apr2021>
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2021b), 'The role of the European Union's vehicle CO2 standards in achieving the European Green Deal', available at <https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-vehicle-standards-green-deal-mar21.pdf>
- IEA (2021), 'About CCUS', Paris, available at <https://www.iea.org/reports/about-ccus>
- IEA (2020), 'The Covid-19 crisis is hurting but not halting global growth in renewable power capacity', available at <https://www.iea.org/news/the-covid-19-crisis-is-hurting-but-not-halting-global-growth-in-renewable-power-capacity>
- ISTAT (2020), 'Rapporto SDGs 2020. Informazioni statistiche per l'Agenda 2030 in Italia', available at https://www.istat.it/it/files/2020/05/SDGs_2020.pdf
- Long N., Rousseau F., Vye D. (2012), 'A multi-scale, morphological interpretation of the sustainable city' in Pacetti M., (dir), *The Sustainable City VII: Urban Regeneration and Sustainability*, WIT Press, UK
- Material Economics (2020), 'The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation', available at <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy>
- MATTM (2017), 'Verso un modello di economia circolare per l'Italia', available at https://www.labparlamento.it/wp-content/uploads/2017/12/Verso-un-modello-di-Economia-Circolare_MinAmbiente.pdf
- McDonough W., Braungart M. (2002), *Cradle to cradle: remaking the way we make things*, North Point Press, New York (trad. it.: *Dalla culla alla culla. Come conciliare tutela dell'ambiente, equità sociale e sviluppo*, Blu Edizioni, Torino, 2003)
- MISE (2019), 'Piano Nazionale integrato per l'energia e il clima - PNIEC', available at https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf
- MITE (2022), *Strategia nazionale per l'economia circolare*, available at <https://www.mite.gov.it/pagina/riforma-1-1-strategia-nazionale-l-economia-circolare>
- MUR (2020), 'Programma nazionale per la ricerca 2021-2027', available at <https://www.mur.gov.it/aree-tematiche/ricerca/programmazione/programma-nazionale-la-ricerca>

- OECD (2020), 'COVID-19 and the low-carbon transition. Impacts and possible policy responses', OECD Publishing, Paris, available at <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/covid-19-and-the-low-carbon-transition-impacts-and-possible-policy-responses-749738fc/>
- Oldenburg R. (2000), *Celebrating the Third Place: Inspiring Stories About the 'Great Good Places' at the Heart of Our Communities*, Marlowe & Company, Cambridge
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2021), 'Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)-#NextGenerationItalia', Roma, available at <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
- PV Magazine (2020), 'BNEF lowers 2020 global PV outlook due to coronavirus concerns', available at <https://pv-magazine-usa.com/2020/03/16/bnef-lowers-2020-global-pv-outlook-due-to-coronavirus-concerns/>
- Tamme E., & Scowcroft J. (2020), 'The Role of CCS in the Paris Agreement and its Article 6. April', available at <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/05/Article-6-and-CCS-GCCSI-April-2020-final.pdf>
- The New Climate Economy (2015), 'Seizing the Global Opportunity: Partnerships For Better Growth And A Better Climate. The 2015 New Climate Economy Report', Washington D.C., USA, The Global Commission on the Economy and Climate, available at http://newclimateeconomy.report/2015/wp-content/uploads/sites/3/2014/08/NCE-2015_Exec_summary_web.pdf
- UN (2015), 'Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile', A/RES/70/1, available at <https://unric.org/it/agenda-2030/>
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2018), 'Emissions gap report 2018', available at https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26895/EGR2018_FullReport_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- WEF (World Economic Forum) (2021), 'Net Zero Carbon Cities An Integrated Approach', available at http://www3.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Carbon_Cities_An_Integrated_Approach_2021.pdf
- WEF (World Economic Forum), McKinsey & Company (2020), 'Forging Ahead: A Materials Roadmap for the Zero- Carbon Car', available at <https://www.weforum.org/reports/forging-ahead-a-materials-roadmap-for-the-zero-carbon-car>
- WEF (World Economic Forum)/SYSTEMIQ (2021), 'Paving the way: Eu Policy Action for Automotive Circularity', available at http://www3.weforum.org/docs/WEF_Circular_Cars_Initiative_Paving_the_Way_2021.pdf

Abstract

The chapter focuses on the strategic actions that cities are called upon to define in order to tackle climate change and mitigate its effects, in order to regain a balance based on environmental and social sustainability and at the same time improve their resilience to impacts.

The chapter addresses the key areas impacting on the issue and analyses the individual aspects and their integration. It also highlights virtuous cases realised throughout the world in order to combine technological analyses, in any case the result of experimentation and factual experiences, to operational reality.

However, the time for intervention is getting thinner and thinner. On the other hand, the knowledge acquired may enable the achievement of un hoped-for results and enable new generations to look to the future with greater confidence. The aim is to make the city more beautiful and functional, greener to safeguard the ecosystem and the health of the inhabitants in order to become more welcoming and human-friendly.

3. Azioni strategiche per Zero Emission, *positive energy* e *carbon-neutrality* nelle città al 2030/2050

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafozzo

Le città sono alle prese con il cambiamento climatico che rappresenta la sfida più urgente per l'umanità in quanto può compromettere la sicurezza alimentare e idrica, influire sulla salute, porre a rischio il benessere economico e sociale e minare gli ecosistemi. La situazione è resa ancora più difficile dall'aumento dell'urbanizzazione e del pendolarismo con i connessi aspetti di congestionamento e inquinamento atmosferico e di crescenti diseguaglianze economiche.

Diventa improcrastinabile ridurre le emissioni di gas a effetto serra, che contribuiscono a cambiare l'atmosfera globale, e garantire che le città siano resilienti agli impatti del cambiamento climatico stesso. Inoltre, per la sostenibilità urbana è necessario realizzare altri obiettivi importanti come la protezione della biodiversità, la riduzione dell'inquinamento e la ricerca dell'equità e della giustizia sociale. La sostenibilità è un problema complesso e richiede soluzioni multiple, quali la riduzione dei consumi elettrici e dell'impatto delle attività umane sugli ecosistemi, il potenziamento delle infrastrutture circolari e digitali, la riqualificazione dell'ambiente costruito. Tali azioni possono essere talvolta in conflitto tra di loro in quanto non sono sommabili ma possono sia generare importanti sinergie sia influenzarsi negativamente peggiorando le *performance* ambientali; per questo è necessario prestare attenzione all'insieme combinato delle misure di adattamento e mitigazione da mettere in atto e avere una strategia unitaria per lo sviluppo sostenibile

così da assicurare la massima coerenza possibile nell'impostazione e nell'attuazione dei diversi interventi. Questo approccio consente una visione integrata e sistemica dell'area di osservazione che aiuta a definire scenari di intervento, caratterizzati da sostenibilità ambientale e circolarità dei processi, con l'obiettivo di pervenire alla neutralità carbonica migliorando la qualità ecosistemica, le prestazioni ambientali e l'adattività bioclimatica in ottica *green* con una gestione ampia e profondamente interagente dei sistemi: energia, aria, acqua, verde e rifiuti. In vista della trasformazione sistemica, data la complessità dei parametri in gioco e la loro variabilità rispetto ai sistemi produttivi di riferimento, si impone necessariamente un trasparente sistema di monitoraggio circa gli avanzamenti e i relativi tempi di attuazione, la valutazione del perseguimento degli obiettivi e gli eventuali scostamenti nonché l'incentivazione di sistemi digitali di automazione, domotica e *building management* per tenere sotto controllo i consumi energetici e i comportamenti prestazionali degli spazi abitati con un'azione determinante che può provenire da un aumento del livello di partecipazione dei cittadini in tutte le fasi di sviluppo degli interventi e in quella di gestione (McKinsey, 2016).

L'intervento sul patrimonio immobiliare esistente, in termini di rigenerazione, riqualificazione, tutela, valorizzazione, resta in ogni caso la priorità e il primo strategico passo concreto da compiere in modo pieno e profondo, il che rende necessario definire programmi di valutazione, certificazione e riqualificazione energetica degli edifici pubblici e di quelli privati, in particolare degli aggregati edilizi che hanno la massa critica sufficiente per interventi di *deep renovation*, supportando il migliore utilizzo delle risorse disponibili di incentivi presenti – legati *in primis* al Piano Nazionale per la Ripresa e la Resilienza – e futuri, prospettando lo stato di intervento sul patrimonio esistente, non come un dato frammentario, occasionale, d'emergenza ma piuttosto come una condizione di mobilitazione necessaria, stabile e costante nel tempo (Park et al., 2020; Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2021).

3.1. Azioni strategiche di *energy transition*

Gli edifici utilizzano un'enorme quantità di energia durante il loro funzionamento che rappresenta il 39,6% del consumo energetico nell'Unione Europea, più di qualsiasi altro settore, maggiore anche di quello dei trasporti (30,5%) e dell'industria (25,8%). La quota relativa agli edifici residenziali è del 26,1%. La stragrande maggioranza dell'energia utilizzata negli edifici è dovuta agli impianti di condizionamento termico degli ambienti, per riscaldamento e raffrescamento (85%). Dei 265 milioni di edifici europei, 240 milioni (90%) sono abitazioni (EC, 2021). Tutta la filiera del settore delle costruzioni contribuisce in maniera sostanziale all'inquinamento atmosferico e al cambiamento climatico.

L'emergenza globale causata dal virus COVID-19, nel giro di pochi mesi, ha trasformato il mondo intero. La diffusione pandemica del virus ha convinto molti governi a introdurre misure eccezionali per contenerne la diffusione, portando a chiusura temporanea di molte attività lavorative, commerciali, limitazioni alle socialità e ampie restrizioni ai viaggi. Una conseguenza importante di questa emergenza è l'impatto sulla qualità dell'aria, che è notevolmente migliorata. I dati raccolti dall'Agenzia spaziale europea (ESA) rivelano un interessante calo dell'inquinamento atmosferico in Italia, in particolare delle concentrazioni di biossido di azoto (NO₂).

Uno studio di Harvard ha scoperto che l'esposizione a lungo termine all'inquinamento atmosferico può aumentare significativamente il rischio di morte per COVID-19 (Harvard University, 2020). Gli sforzi per ridurre l'inquinamento *post* emergenza COVID-19 sono quindi essenziali per diminuire la vulnerabilità della popolazione, anche al virus.

La transizione energetica consiste nel passare da un'economia basata sui combustibili fossili a un'economia basata su fonti energetiche rinnovabili con zero emissioni nette di carbonio, tra le diverse disponibili sulla Terra, quali la solare, l'eolica, l'idroelettrica,

la geotermica, quella delle onde e delle maree, disponibili in abbondanza. È infatti ormai inequivocabilmente chiaro che se il mondo vuole incamminarsi sulla via della decarbonizzazione dell'atmosfera deve abbandonare quanto prima i combustibili fossili e passare all'approvvigionamento da fonti rinnovabili. Non c'è più tempo per aspettare l'esaurimento del petrolio, e per avere qualche *chance* di riuscire nell'impresa, bisogna puntare su tutti quei sistemi che possono alimentare la speranza di un futuro profondamente diverso, compresi quelli di rimozione dell'anidride carbonica dall'aria e dall'atmosfera (NOAA, 2020).

Nel nuovo edificio della Scuola Internazionale di Copenhagen, nel distretto di Nordhavn, ad esempio, sono stati installati 12.000 moduli fotovoltaici colorati che coprono una superficie complessiva di 6.048 mq in grado di fornire energia per assicurare più della metà del fabbisogno energetico della scuola. Alla scala dell'intero distretto l'energia è generata in loco mediante pannelli fotovoltaici e solari e turbine eoliche. Per l'illuminazione di tutto il distretto sono stati utilizzati esclusivamente impianti Led, la cui intensità è collegata a sensori di movimento.

L'ambizione alla transizione energetica non si determina solo attraverso il passaggio dai combustibili fossili alle fonti energetiche rinnovabili; ci sono molti altri elementi da tener presente, come il *decentramento*, la *digitalizzazione*, la *elettrificazione* e la *resilienza*. Il *decentramento* si riferisce alla modifica del sistema energetico al fine di eliminare la dipendenza da pochi grandi impianti centralizzati e garantire l'approvvigionamento energetico da centrali più piccole. Nel caso delle fonti rinnovabili, ciò è importante per garantire la sicurezza dell'approvvigionamento e aumentare la resilienza. Tutti gli aspetti del sistema energetico, quali generazione, trasmissione e domanda finale, necessitano di essere integrati con le tecnologie dello *smart environment* che hanno tutte, direttamente o indirettamente, a che fare col concetto di *digitalizzazione*. Per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili si rende indispensabile incrementare l'utilizzo

di fonti rinnovabili supportate da tecnologie digitali, così come ha previsto il Piano Clima FitFor55 della Commissione Europea.

Questi cambiamenti all'interno del sistema energetico avranno un impatto significativo sulla sua *resilienza*. In questo caso, *resilienza* rappresenta la capacità di adattarsi agli obiettivi della transizione energetica e agli impatti derivanti dal cambiamento climatico, ma anche a tutta una serie di nuove minacce al sistema energetico che potrebbero sorgere nel breve termine così come nel futuro, con probabilità ancora maggiore se non cambierà significativamente qualcosa. Le fonti rinnovabili dipenderanno maggiormente da fattori incontrollabili come il tempo, mentre una crescente digitalizzazione porterà alla necessità di un innalzamento della sicurezza informatica. All'interno della transizione energetica è importante integrare agilità e flessibilità per garantire che il sistema energetico possa resistere ai rischi che dovrà affrontare.

Per realizzare la transizione energetica saranno necessarie nuove tecnologie per sostituire l'energia convenzionale. Molti settori dipendono fortemente dai combustibili fossili per soddisfare il loro fabbisogno energetico. Tuttavia, ci sono molte soluzioni per portare questi settori verso l'utilizzo di energia senza carbonio. L'ambizione è limitare il cambiamento climatico in quanto ciò è dannoso sia per la vita che per l'economia. L'Unione Europea punta ad un sistema economico che non emetta più emissioni di carbonio e ciò sarà attuato dal *Green Deal* (COM, 2019).

I principi-cardine che possono svolgere un ruolo nella transizione energetica sono:

- il risparmio energetico, ossia il cambiamento più semplice ed efficace che si possa fare in quanto qualsiasi energia che non viene consumata è anche energia che non bisogna produrre;
- l'efficienza energetica, il suo miglioramento comporta meno energia per soddisfare la stessa domanda;
- le tecnologie rinnovabili in sostituzione di combustibili fossili per fornire elettricità o energia in altre forme.

L'Unione Europea ha cercato di migliorare le prestazioni degli edifici e di limitare il consumo energetico attraverso la Direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD) mirando alla drastica riduzione delle emissioni di gas serra degli edifici dell'80% entro il 2050, attraverso una fase di definizione dei requisiti minimi che porteranno all'ampia diffusione degli edifici a energia quasi zero (NZEB) (PEEB, 2020).

Il miglioramento delle prestazioni energetiche e la riduzione del loro impatto ambientale nei nuovi edifici e in quelli esistenti possono essere raggiunti con un semplice approccio in due fasi: ridurre la domanda di energia e gestire l'energia in modo ottimale (Voss, 2011). Ridurre il consumo energetico dell'edificio è realizzabile progettando adeguatamente l'edificio in termini di orientamento e rapporto tra superfici opache e trasparenti, secondo il clima e il microclima locali, migliorando le prestazioni termiche dell'involucro; grazie all'uso della ventilazione naturale è possibile ridurre la dipendenza dai sistemi meccanici, inoltre il guadagno solare passivo limita la perdita di calore perimetrale e massimizza i guadagni nei mesi invernali, infine l'uso della luce naturale riduce il fabbisogno di illuminazione elettrica.

È chiaro che l'efficienza energetica da sola non basta. D'altro canto, è anche necessario considerare che gli edifici devono fornire all'utenza un ambiente interno confortevole e salubre. Anche a causa dell'allerta globale COVID-19 più che mai è cresciuta la consapevolezza di quanto sia importante vivere in ambienti confortevoli e salubri. È stato stimato che i cittadini europei trascorrono circa il 90% del loro tempo in ambienti interni sia pubblici che privati, come case, luoghi di lavoro, scuole, mezzi di trasporto, palestre (Roberts, 2020).

Quindi, la qualità dell'aria interna ha un grande impatto sulla salute e sulla qualità della vita. Per molte persone i rischi per la salute derivanti dall'esposizione all'inquinamento dell'aria interna possono essere maggiori di quelli legati a quello esterno (Heikkinen et al., 2010).

Ad ogni modo, efficienza energetica, impatto ambientale e *comfort* termico di solito si influenzano a vicenda, talvolta in modo opposto, ma devono essere tutti inclusi in una visione di sostenibilità. Grazie ai progressi tecnologici è oggi possibile misurare e controllare tutti questi parametri: le abitazioni vengono trasformate dalle tecnologie della domotica e si prevede che questi approcci diventeranno più diffusi in futuro. Nell'Eco distretto di Aspern Seestadt (Vienna) gli edifici sono integrati e collegati in una *grid* per scambiarsi informazioni su consumi e richieste energetiche. Analoga misura è adottata nel District of La Fleuriaye (Nantes, Francia) dove tutti gli edifici sono dotati di misuratori energetici digitali che consentono una immediata lettura dei consumi da parte degli utenti e ne favoriscono il controllo.

Un settore che ancora dipende fortemente dai combustibili fossili è il riscaldamento/raffrescamento. Esistono diversi metodi per generare questa energia senza carbonio. Tra quelli più noti e consolidati, vi è quello dell'ampia gamma del solare termico, che utilizza le radiazioni del sole per il riscaldamento dell'acqua all'interno di sistemi tecnologici ormai molto noti. Un modo altrettanto noto e consolidato è l'utilizzo di *earth pipes* che attraverso lo scambio di calore con il sottosuolo che mantiene temperature costanti rispetto all'aria esterna consente di preriscaldare l'aria in inverno o prerinfrescarla estate sistema spesso combinato con pompe di calore. Questi metodi richiedono l'uso dell'elettricità, che presuppone la sua generazione da fonti energetiche rinnovabili (CIEP, 2017).

Nell'industria dell'UE la maggior parte del consumo energetico proviene da processi di riscaldamento che richiedono la combustione di carburante. Come si sostituiscono questi processi di riscaldamento? Per i processi a bassa temperatura si possono usare il riscaldamento elettrico e le pompe di calore; per processi a temperatura più elevata possono essere utilizzati combustibili alternativi come l'idrogeno o il biogas.

Il teleriscaldamento consente l'utilizzo del calore di scarto dell'industria. I processi industriali spesso richiedono il riscaldamento dei

materiali ad alte temperature, diverse centinaia di gradi centigradi o più. È possibile utilizzare questo calore in modo produttivo. Il calore industriale è solitamente prodotto sotto forma di gas caldi, che possono essere passati attraverso uno scambiatore di calore e/o una pompa di calore per riscaldare l'acqua, che può quindi essere utilizzata per il teleriscaldamento nei quartieri o nelle città vicine. Il teleriscaldamento distribuisce il calore attraverso un sistema di tubi isolati per soddisfare la domanda di riscaldamento residenziale e commerciale. Questa acqua riscaldata può essere utilizzata per il riscaldamento degli ambienti o per il riscaldamento dell'acqua. Poiché i processi industriali funzionano tutto l'anno ciò potrebbe fornire aiuti per la conservazione dell'energia e fornire una fonte rinnovabile di calore disponibile per le case durante l'intero periodo.

È quanto è stato realizzato a Nieuwe Dokken (Ghent, Belgio) dove un terzo del fabbisogno termico viene fornito sulla base dei rifiuti organici e delle acque reflue mentre il calore rimanente proviene da un'azienda vicina. Questa tecnologia si chiama Zawent (Zero AfvalWater met Energie en Nutrienten Terugwinning). L'acqua nera e i rifiuti di cucina contengono elevate quantità di energia e sostanze nutritive, che è possibile recuperare grazie a un reattore a biogas. I microrganismi convertono le molecole organiche in molecole di gas, questo crea biogas che viene bruciato localmente per riscaldare le abitazioni. Durante i fine settimana è possibile passare a un'installazione di *backup* a gas naturale, se necessario. Il calore viene pompato dal seminterrato all'edificio e a tutte le abitazioni, dove viene trasferito tramite una fornitura di calore impostata al riscaldamento a pavimento e al sistema di acqua calda sanitaria. Ogni utente imposta la temperatura desiderata con uno o più termostati.

Bilanciando le esigenze dei diversi settori, delle infrastrutture edilizie, della tipologia insediativa, dei trasporti e della mobilità è possibile contribuire attivamente alla resilienza e all'equilibrio del sistema energetico gestendo le sue interazioni (UNEP, 2020). Tra i principali strumenti figurano la gestione della domanda, l'accoppia-

mento settoriale e lo stoccaggio. Risulta necessario gestire le interazioni tra il distretto urbano/quartiere e il sistema energetico regionale in modo da consentire la neutralità del carbonio e il 100% di energia rinnovabile nel consumo locale e un ulteriore surplus di energia rinnovabile nel corso dell'anno (IRENA, 2017; IEA, 2017).

I sistemi energetici distrettuali forniscono riscaldamento o raffreddamento da un impianto centrale o da un complesso di fonti che distribuiscono energia a molti edifici, spesso a un quartiere tramite una rete di tubi sotterranei. Senza singole caldaie o refrigeratori gli edifici collegati a un sistema energetico distrettuale beneficiano di una maggiore efficienza energetica, flessibilità dei combustibili grazie alle economie di scala e allo spazio produttivo aggiuntivo negli edifici. La migliore efficienza e il basso contenuto di carbonio nei sistemi energetici distrettuali costituiscono una parte fondamentale delle strategie per il cambiamento climatico e le energie rinnovabili in molte città (IRENA, 2019a e b; MISE, 2019).

L'energia distrettuale è una soluzione energetica collaudata, che affonda le sue radici in epoche molto lontane, fino a quelle dove avveniva il riscaldamento di serre e bagni termali dell'antica Roma. Un numero crescente di città ha adottato questo tipo di soluzione con impianti inizialmente alimentati dalla generazione di calore a carbone e petrolio, e progressivamente convertiti in sistemi basati sulla combinazione di calore e altre forme di energia, di biomasse e altre forme di generazione rinnovabile, alla ricerca di maggiore efficienza e sostenibilità. Oggi, in alcune città europee, in primis quelle scandinave, nord-europee, mittel-europee, francofone, quasi tutto il riscaldamento necessario viene fornito attraverso reti energetiche distrettuali a basse emissioni di carbonio. La rete di teleriscaldamento è una delle soluzioni più diffuse nelle azioni di rigenerazione urbana in funzione dell'abbattimento di CO₂ e in ogni contesto si tende a utilizzare il mix energetico rinnovabile maggiormente disponibile (geotermia, solare, fotovoltaico, eolico, ecc.). Si sottolineano, tra le tante ormai in essere, le esperienze della rete di City-Zen

(Amsterdam), di Southwest Ecodistrict (Washington DC) e, per gli sviluppi futuri, della rete di Eikenott Ecodistrict (Gland, Svizzera).

Più recentemente, anche la domanda di teleraffreddamento è in aumento, insieme all'aumento dell'urbanizzazione nei climi più caldi. Il teleraffreddamento funziona secondo un principio simile al teleriscaldamento, ma fornisce acqua refrigerata agli edifici per sostituire le unità di condizionamento tradizionali meno efficienti. Si segnala al riguardo la rete di teleraffreddamento Climespace di Parigi che utilizza refrigeratori elettrici determinando una riduzione del 35% di elettricità utilizzata e un miglioramento del 50% dell'efficienza energetica primaria e il 65% in meno di acqua utilizzata con una riduzione delle emissioni del 50% di CO₂ (McDonald et al., 2016).

I più recenti sistemi energetici distrettuali forniscono servizi di riscaldamento e raffrescamento utilizzando moderne tecnologie come la cogenerazione, le pompe di calore, l'accumulo termico, il recupero del calore 'di scarto' da processi industriali, geotermia, digestione anaerobica ed energia rinnovabile decentralizzata. Nel complesso i sistemi energetici distrettuali sono essenziali per supportare un passaggio trasformativo verso un'energia efficiente, a basse emissioni di carbonio, resiliente e a costi inferiori come l'energia elettrica, il trattamento delle acque reflue, i servizi igienico-sanitari, gestione e trasporto dei rifiuti (C2ES, 2017; REN21, 2019).

Le energie rinnovabili, in particolare l'energia solare ed eolica, contribuiranno in futuro alla quota maggiore di elettricità. Nell'Eco-district La Marine (Parigi) è attuato un *energy mix* molto spinto, con l'annullamento della produzione di energia da combustibili fossili e un'enorme implementazione di fonti rinnovabili, prevalentemente solare integrato con geotermia. Tutto il distretto è stato sottoposto ad attente simulazioni per ottimizzare il comportamento delle fonti rinnovabili. Rispetto allo sviluppo convenzionale del resto della città l'obiettivo è di ridurre le emissioni di carbonio dell'80%. Tutti gli edifici nell'eco-distretto, oltre a essere dotati di sistemi solari fotovoltaici e termici integrati prevalentemente nelle coperture, hanno

un livello altissimo di prestazione energetica con tendenza al modello dello *zero energy* e, in alcuni casi, del *positive energy*.

La produzione di energia rinnovabile comporta tuttavia il superamento di alcuni limiti intrinseci dovuti al disallineamento tra consumo e generazione in quanto la domanda di elettricità può sempre avvenire mentre la sua produzione dipende dalle condizioni meteorologiche. La seconda sfida riguarda la disponibilità geografica. La maggior parte dell'elettricità rinnovabile può essere generata solo in un luogo specifico. Si ha bisogno del trasporto di elettricità per spostare l'elettricità dalla produzione al consumo. La migliore soluzione disponibile attualmente è lo stoccaggio dell'energia.

Le fonti di generazione rinnovabili, quali energia idroelettrica, eolica, solare e biomassa, diventeranno tipiche dopo la transizione energetica. L'energia idroelettrica è una cosiddetta fonte di energia di carico di base e può essere sempre generata. L'energia eolica, invece, dipende dalla disponibilità di vento. Ciò rende la produzione di elettricità di un parco eolico una fonte di energia variabile. Lo stesso vale per l'energia solare, il sole splende solo durante il giorno e ci sono più giornate di sole in estate che in inverno. In Europa, i paesi meridionali produrranno un'energia più elevata dai loro pannelli solari di quelli nordici. Infine, per quanto riguarda la biomassa si ha bisogno della disponibilità di terreni per poterla produrre.

L'energia rinnovabile è quindi prodotta a livello locale e consente una riduzione ottimale delle emissioni di gas serra; tuttavia, la sua produzione è fortemente dipendente dalle condizioni locali. Poiché non si può controllare la produzione di elettricità fino al momento della sua generazione si ha bisogno di altre soluzioni per collegare l'offerta alla domanda, ad esempio agendo sulla flessibilità della domanda di elettricità, sullo stoccaggio di energia, sui sistemi di *smart grid* dinamici, capaci di adattarsi e variare a seconda della domanda e delle esigenze durante il giorno, le stagioni, l'anno.

A questo fine sono disponibili molti tipi di batterie, come quelle agli ioni di litio. In una batteria l'elettricità viene immagazzinata in

forma chimica e successivamente riconvertita in elettricità. Infine, è possibile avere una forma di stoccaggio meccanico mediante l'uso di un sistema idroelettrico di pompaggio per l'accumulo di energia potenziale in un bacino naturale o artificiale utile per l'immagazzinamento a lungo termine con l'utilizzo nel periodo invernale degli eccessi di produzione estivi (WEF, 2020, Melotto et al., 2012).

Tra i mezzi di stoccaggio vi è inoltre la biomassa che può essere immagazzinata e utilizzata per la produzione di elettricità quando necessario. Inoltre, lo stoccaggio di energia può avvenire tramite l'operazione di ricarica di notte dei veicoli elettrici, quando tra l'altro i prezzi dell'elettricità sono più bassi, utilizzando l'energia prodotta in eccesso nei picchi di produzione. Questo tipo di stoccaggio, noto come *vehicle to grid* (V2G) è estremamente vantaggioso per le utility, riduce la necessità di generazione aggiuntiva durante le ore di punta e di ingenti investimenti in un sistema di stoccaggio della batteria su larga scala e infine può anche contribuire alla stabilità della rete in un sistema di energia altamente rinnovabile (EC, 2018).

3.2. Azioni strategiche di *bio-climate responsiveness*

La progettazione bioclimatica ha come obiettivo la valorizzazione dell'ambiente e il miglioramento delle condizioni di vita a scala urbana e di edificio. L'azione combinata del cambiamento climatico e dell'urbanizzazione determina il rapido surriscaldamento urbano che reclama soluzioni di *comfort* termico.

L'architettura caratterizzata da *bio-climate responsiveness* prende in considerazione la stagionalità, la direzione del sole (percorso e posizione solare), l'ombra naturale fornita dalla topografia circostante, i fattori ambientali (come vento, precipitazioni, umidità) e i dati climatici (temperatura, modelli meteorologici storici, ecc.) avvalendosi anche della modellazione energetica e della fluidodinamica computazionale per progettare abitazioni e spazi confortevoli ed efficienti dal punto di vista energetico.

L'ubicazione dell'area di progetto definisce la disponibilità delle risorse climatiche. Il progetto su parti di città e sui singoli edifici determina in che modo queste risorse climatiche influenzano il bilancio energetico. Le informazioni riguardano: sole, terra, vento, acqua e cielo (WEF, 2021; Rambert, 2015).

Per l'edificio la pianificazione della sua posizione è stabilita rispetto al sole e alle direzioni cardinali. L'obiettivo è massimizzare la quantità di sole che riscalda l'ambiente in inverno (con conseguente minor consumo di energia per il riscaldamento), oltre che ridurre la quantità di sole che riscalda in estate (con conseguente minor consumo di energia per il raffreddamento).

Fattori che influenzano l'intensità del calore urbano sono riconducibili ad aspetti urbani (come densità di popolazione, mix di uso del suolo, densità stradale e percentuale di spazi aperti verdi e connessi) e caratteristiche del paesaggio (come spazio, orientamento e posizionamento edifici, spazi verdi e marciapiedi) in quanto condizionano la quantità di luce solare assorbita dalle superfici urbane e l'efficacia con cui il vento si muove negli spazi urbani (C40, 2106).

In generale, le soluzioni passive sono applicabili in quasi tutti i climi. Le città possono affrontare i cambiamenti climatici e il fenomeno di isola di calore adottando un mix di soluzioni tecniche passive atte a dare una risposta bioclimatica mitigando la temperatura e aumentare la loro capacità adattiva:

- aumento della capacità delle superfici urbane di riflettere, piuttosto che assorbire la radiazione solare (superfici riflettenti);
- aumento della quantità di copertura vegetate e arborea (*green infrastructure*);
- aumento della quantità di superfici d'acqua (*blu infrastructure*);
- progettazione di spazi urbani per ridurre al minimo l'accumulo e la ritenzione di calore;
- integrazione di sistemi di riscaldamento o raffreddamento passivo negli edifici e attenzione nella progettazione dell'involucro (progetto passivo dell'edificio).

Lo scenario tipico di sviluppo del *bio-climate responsiveness* è quello realizzato a Southwest Ecodistrict (Washington DC) che si basa su strategie di contesto ambientale e valorizza il patrimonio immobiliare di nuova costruzione o preesistente con processi di riabilitazione, riutilizzo e riqualificazione degli edifici. Sono incorporate strategie attive e passive su scala distrettuale e su scala dell'edificio per ridurre l'uso di energia e acqua, creare energia da fonti rinnovabili, migliorare la gestione delle acque piovane, aumentare la connettività e migliorare le condizioni di *comfort* termo-igrometrico interno agli edifici attraverso tetti verdi e orti urbani in copertura per ridurre il *run-off* e massimizzare la funzione ecologica e pareti verdi negli elementi esterni degli edifici per raffreddare le strutture, diminuire i costi energetici, ridurre l'effetto isola di calore e migliorare strade e piazze.

- Cool surface

Il concetto di creare strutture più fredde utilizzando la capacità di una superficie di riflettere la luce solare e di emettere in modo efficiente calore assorbito è stato applicato sugli edifici da sempre. Ogni superficie urbana opaca (ad esempio, coperture, pareti, pavimentazioni esterne) riflette una certa luce solare e assorbe il resto, trasformandolo in calore. Parte di questo calore contribuisce all'effetto di isola di calore. Riflettere la radiazione solare può ridurre la quantità di guadagno di calore solare nelle città. L'efficacia dei cosiddetti *cool material* è misurata dalla frazione di radiazione solare che riflette rispetto a quella che assorbe e converte in calore (riflettanza solare). Le superfici fredde sono anche misurate in base all'efficienza e alla rapidità con cui perdono calore (emissione termica) (ESMAP, 2020).

L'uso dei materiali urbani può mitigare o peggiorare l'effetto dei flussi energetici presenti in un'area urbana contribuendo a contenere o ad aumentare l'effetto di isola di calore urbana. Le pavimentazioni esterne riflettenti possono ridurre la temperatura dell'aria

ma dovrebbero essere collocate con attenzione in aree urbane dense dove, per effetto delle riflessioni, possono incrementare l'accumulo di calore degli edifici. Le coperture e le pareti altamente riflettenti sono più efficaci nei climi più caldi ma possono anche fornire risparmi energetici netti in climi freddi (Santo et al., 2016).

- Permeabilità delle superfici

L'impermeabilizzazione rappresenta la principale causa di degrado in Europa, comporta un rischio accresciuto di inondazioni, contribuisce ai cambiamenti climatici, minaccia la biodiversità, provoca la perdita di terreni agricoli fertili e aree naturali e seminaturali, contribuisce, insieme alla diffusione urbana, alla progressiva e sistematica distruzione del paesaggio, soprattutto rurale, e alla perdita delle capacità di regolazione dei cicli naturali e di mitigazione degli effetti termici locali (EEA, 2021a e b). L'alta impermeabilizzazione della città edificata ha un impatto considerevole sul microclima urbano, sul *comfort indoor* e *outdoor* e sulla sicurezza idraulica delle aree urbane. La temperatura d'estate va da 2 °C a 6 °C in più rispetto alle aree limitrofe non urbanizzate (ISPRA, 2021). La necessità di promuovere, dove possibile, azioni di *de-sealing* e di *de-paving* deriva dalla considerazione che i suoli permeabili in ambito urbano sono una realtà del tutto residuale e che l'impermeabilizzazione non è sempre dettata da una vera necessità, a differenza della situazione presente nei distretti ecologici come Clichy Batignolles (Parigi) dove le strade impermeabili costituiscono solo il 12% della superficie totale (Takane et al., 2019). Restituire spazi permeabili significa aumentare complessivamente la resilienza della città ai cambiamenti climatici. Con tetti e pareti verdi e *de-paving* si ha un miglioramento complessivo dei servizi ecosistemici del suolo, ovvero una riduzione del *run-off* in caso di pioggia intensa, il filtraggio e la decontaminazione delle acque meteoriche, l'assorbimento e il sequestro di carbonio ma an-

che un miglioramento delle condizioni di *comfort* bioclimatico, di salubrità e vivibilità degli spazi urbani (Cool Coalition, 2021; ISPRA, 2019; SuM4All, 2021; COM, 2020).

Esistono nelle aree urbane ampi spazi asfaltati utilizzati solo in alcuni giorni della settimana e/o solo in alcune ore del giorno. Se questi spazi venissero ripensati e riprogettati, sottraendo asfalto a favore di superfici permeabili e vegetate, potrebbero concorrere a rendere la città più accogliente e a misura d'uomo. I suoli urbani potrebbero così raccogliere e filtrare le acque piovane, contribuire a ridurre le polveri sottili e l'inquinamento e contrastare il fenomeno dell'isola di calore.

Gli spazi più adatti in cui promuovere azioni di sottrazione dell'asfalto sono i parcheggi, le piazze e lungo le strade delle aree urbane realizzate con scarsa attenzione alla qualità e alle prestazioni ambientali dello spazio pubblico (aree artigianali e industriali, aree residenziali). In questi contesti si potranno individuare porzioni di aree asfaltate che, rese nuovamente permeabili, andranno a ricreare piccoli giardini vegetati, anche fruibili dalle persone, e/o scoli filtranti a bordo strada. Le superfici permeabili, con sistemazioni a verde o con soluzioni filtranti, consentono il raffrescamento urbano passivo. Esse comprendono coperture e pareti vegetate, nonché tecnologie di pavimentazione. Le coperture possono essere intensive, se includono piccoli alberi e arbusti, ed estensive, se hanno un sottile strato di vegetazione. Le pareti verdi sono costituite da piante generalmente fissate alla parete o a volte autoportanti. Le pavimentazioni consentono il passaggio dell'acqua piovana che viene immagazzinata in appositi serbatoi e rilasciata successivamente.

Queste superfici si raffreddano tramite evapotraspirazione che abbassa la temperatura dell'aria e aumenta il contenuto di umidità dell'aria e svolgono un'azione di contenimento delle emissioni GHG. Coperture e pareti verdi sono ampiamente applicabili in tutti i climi, anche se funzionano meglio laddove vi sia un accesso adeguato all'acqua. Le pavimentazioni permeabili sono la miglior soluzione dove si desidera sia la gestione delle acque piovane che il raffrescamento urbano.

Nell'incremento di copertura degli alberi è preferibile selezionare specie autoctone che si adattano meglio allo specifico clima. Altre soluzioni passive, come la riduzione del calore di scarto, la pianificazione urbana sensibile al calore e il miglioramento dell'efficienza energetica, sono vantaggiose in tutti gli edifici e in tutti i climi.

- Schermature artificiali e verdi

Si tratta di dispositivi di ombreggiatura spesso usati negli spazi pubblici o per la riqualificazione di involucri attraverso l'allestimento di *green wall* come a Hunziker Areal (Zurigo), la cui funzione è di mitigare il microclima urbano. In particolare le schermature verdi, rispetto ad altri materiali, hanno il vantaggio di mantenere la temperatura superficiale al di sotto della temperatura dell'aria costituendo un soffitto fresco. Esse controllano efficacemente la radiazione solare diretta e parzialmente la radiazione diffusa e riflessa in relazione alla tipologia di schermatura determinando la qualità dell'ombra in termini di quantità di radiazione trasmessa nella parte sottostante.

Queste protezioni difendono uno spazio urbano dalle radiazioni solari ed eventualmente dalla pioggia rappresentando un filtro tra la radiazione solare e la zona occupata dalle persone, modificando i flussi energetici. Le schermature removibili si adattano alle esigenze climatiche stagionali, funzionali e di fruibilità del luogo (Tucci, 2018).

- Involucro degli edifici e dispositivi di ombreggiamento

L'involucro svolge un'importante azione termoregolante. Le facciate a sud dovrebbero utilizzare superfici trasparenti appropriate al loro orientamento con vetri ad alta prestazione a doppia o tripla lastra con un rivestimento Low-E che riduce al minimo la quantità di calore trasmessa nello spazio nei mesi più caldi mantenendo il calore all'interno

durante i mesi invernali più freddi. L'involucro vetrato più esposto alla radiazione solare dovrà essere progettato con schermature solari.

Questi dispositivi sono efficaci nel ridurre gli apporti termici negli edifici perchè intercettano e dissipano la maggior parte del calore prima che raggiunga la superficie dell'edificio (Chetia, Maithel, 2020).

L'alta efficienza dell'involucro edilizio, che ottimizza la disponibilità di luce naturale e controlla i carichi solari e l'uso di materiali basso emissivi migliorando il *comfort* igrometrico dell'ambiente interno, caratterizza tutti gli interventi di rigenerazione urbana improntati alla logica della sostenibilità (Tucci, 2014). Gli edifici presentano un orientamento ottimale e mirano a cogliere tutte le opportunità di contesto per essere definiti *Passivhaus* portando la qualità urbana all'interno degli alloggi con un *comfort* ambientale in estate e in inverno grazie alla buona gestione dei contributi solari e un efficace sistema di ventilazione per raffreddare le abitazioni mediante la ventilazione notturna. Nel distretto Vauban (Friburgo, Germania), che rappresenta uno degli interventi europei più riusciti, le case producono più energia di quella consumata dagli abitanti. Hanno uno spesso strato di isolamento termico esternamente rivestito con doghe di legno e utilizzano un sistema costruttivo in telai ed elementi di tamponatura di legno e tutti i materiali di costruzione utilizzati sono naturali mentre quelli interni sono a basso impatto ecologico, comunque facilmente recuperabili. I balconi sono costruzioni metalliche montate come elementi indipendenti davanti alle facciate sud in modo tale da non creare ponti termici, sono smontabili e riciclabili (Maithel et al., 2020; IEA, 2018; Huston, 2018).

Un innovativo sistema di schermatura è utilizzato nell'edificio Spark One, simbolo del Milano Santa Giulia (Milano), che recupera un'area industriale dismessa in previsione delle Olimpiadi invernali Milano-Cortina del 2026, dove la facciata è caratterizzata da una particolare trama di elementi verticali in grado di offrire protezione dall'irraggiamento solare assicurando un corretto livello di diffusione luminosa ottenuto mediante analisi parametriche per ottimizzare il sistema.

- Sistemi bioclimatici passivi

Gli edifici possono possedere elementi che svolgono un ruolo importante nel microclima dello spazio fornendo protezione dalle variabili climatiche. Tale strumentazione va dai sistemi di ventilazione naturale e di raffrescamento passivo al controllo dell'irraggiamento solare, dalle strategie di miglioramento dell'illuminazione naturale a quelle di riscaldamento passivo, fino alla regolazione naturale dell'umidità. Nelle regioni con estati calde, soluzioni come gallerie, colonnati, portici, all'interno del piano terra degli edifici possono aiutare a migliorare le condizioni di *comfort* termico fornendo protezione dall'eccessiva esposizione alla radiazione solare. In climi freddi e piovosi tale caratteristica può essere importante anche per fornire protezione dalla pioggia o dal vento (Porta, 2002). I *buffer space* sono una componente chiave di molti progetti solari passivi. Quelli rivolti a sud e ovest possono essere progettati per fungere da serre solari, fornendo sia un guadagno di calore solare passivo che uno spazio occupato funzionale. Le serre solari funzionano come collettori solari passivi, intrappolando i guadagni solari.

Essi, se non occupati, come facciate doppie o muri Trombe, sono dispositivi che si aggiungono all'involucro con aperture controllabili tra l'esterno e gli spazi interni. Le aperture sono regolabili sia per ventilare l'intercapedine, sia per trasferire aria tra l'interno e l'esterno. Le facciate doppie possono anche essere progettate per indurre l'effetto camino e ventilare passivamente lo spazio occupato.

I *buffer space* durante l'inverno, aggiungendo uno spazio tampone all'involucro, rallentano la velocità di dispersione del calore tra l'esterno e lo spazio interno. In estate possono essere convertibili in uno spazio completamente esterno per favorire la ventilazione e il raffreddamento dello spazio occupato adiacente. Con avanzati sistemi bioclimatici passivi, quali serre, logge solari e *buffer space*, sono stati progettati gli edifici del City-Zen Amsterdam, integrati a sistemi di schermatura solare in funzione dell'orientamento e dell'esposizione.

Sono diffusi su tutto l'intervento e a tutte le scale a partire dagli involucri degli edifici e dalla dotazione di spazi intermedi flessibili e adattivi tra gli edifici e gli spazi esterni.

- Ventilazione naturale

Consentire ai flussi di vento naturale di muoversi attraverso le aree urbane è un'importante strategia di raffreddamento. Edifici o gruppi di edifici che impediscono il flusso del vento contribuiscono a ridurre la velocità del vento e riducono la capacità di un quartiere di rimuovere il calore e l'aria inquinata. Un interessante gioco di ventilazione naturale è stato progettato a Milano Santa Giulia (Milano) dove in relazione agli elementi costruiti vengono catturati i venti provenienti da sud-ovest creando diverse zone di temperatura (soleggiate e all'ombra) in modo da attivare un movimento naturale d'aria all'interno degli spazi. I corridoi eolici massimizzano il movimento di aria fresca da fonti di raffreddamento naturali (tipicamente acqua, grandi parchi o infrastrutture verdi) verso i punti caldi urbani attraverso l'avvezione. Il flusso del vento può essere migliorato da:

- allineamento dei corridoi eolici con il vento prevalente;
- connessione degli spazi aperti;
- preferenza agli spazi aperti vicino ai corpi idrici;
- sistemazione degli edifici per incanalare il vento;
- aumento delle battute d'arresto dell'edificio per portare più luce e aria;
- riduzione ove possibile dello spazio della parete monolitica;
- incentivare i profili di altezza degli edifici a gradini.

Un edificio può essere raffreddato mediante camini di ventilazione che trasportano l'aria più fredda dalle aperture in basso nell'edificio verso la parte superiore dello stesso. La velocità di movimento dell'a-

ria è funzione della distanza verticale tra le entrate e le uscite, della loro dimensione e della differenza di temperatura (Lovell, 2009).

- Fattore idrico

L'acqua può avere un impatto significativo sul microclima degli spazi pubblici e aumentare la resilienza delle aree urbane rispetto alle piogge intense. Dai canali alle cascate, agli stagni o alle fontane, ai film d'acqua, c'è una vasta gamma di modi per integrare l'acqua nell'ambiente urbano tra cui, ad esempio, i giardini della pioggia (*rain garden*), tipologie di giardini a bordo strada (di forma circolare o lineare) che disegnano aiuole depresse in grado di intercettare acqua piovana proveniente da tetti, strade, parcheggi, piazze.

L'acqua è solitamente più fresca delle superfici dure circostanti e quindi tende a ridurre la temperatura radiante e a migliorare il *comfort*. L'evaporazione dell'acqua consente al calore, che normalmente diventerebbe calore sensibile della superficie, di essere rimosso e utilizzato nel trasferimento di calore latente dell'acqua.

L'influenza delle superfici d'acqua sul microclima urbano risiede nel fatto che la temperatura e l'umidità dell'aria sono influenzate dall'evaporazione. Inoltre, l'acqua è caratterizzata da un'elevata capacità termica e una bassa riflettanza solare che porta all'elevato assorbimento della radiazione solare senza un cambiamento significativo della temperatura a causa dell'inerzia termica e dell'evaporazione con un impatto positivo nei mesi estivi per i climi caldi. In merito alla gestione del suolo e delle risorse idriche si segnalano i progetti di *green blue infrastructure* eseguiti nel District of La Fleuriaye (Nantes, Francia) un'area di 80 ettari a spazi naturali e circa 11.000 specie vegetali, con la realizzazione di *rain garden* e sistemi di stoccaggio delle acque provenienti dalle coperture, parcheggi e dalle *bioswale* e il ripristino dello stagno di Renaudières recuperando il suo carattere ambientale e naturalistico (Kovacic et al., 2015).

3.3. Azioni strategiche di *functional mixité and proximity*

Mettere sotto osservazione le aree urbane consente di valutare in modo ravvicinato i caratteri dell'impianto urbanistico e del disegno urbano ma anche i modi di organizzazione spaziale, sociale ed economica che vi si dispiegano. Nel secolo scorso la separazione tra funzioni (industria, residenza, terziario, spazi verdi) era assunta come un moderno principio di organizzazione della città. Infatti, dividere la città in zone omogenee mettendo le aree in sequenza logica una con l'altra sembrava essere il modo migliore per rendere al meglio ogni specifica funzione (Keena et al., 2020).

Oggi sembra emergere invece un interesse crescente per quei progetti in cui lo spazio della città, del quartiere e dell'abitazione è uno spazio composito e multifunzione. Quali sono i caratteri, le implicazioni e le potenzialità?

Il progetto contemporaneo ha il suo punto di forza nella composizione di caratteristiche diverse, compresenti in percentuali variabili in relazione alle specificità dei singoli contesti che possono essere mixati in infiniti modi. Il termine *mixité* rimanda, quindi, ad una strategia progettuale volta alla creazione di una rete di relazioni e legami trasversali tra aspetti funzionali, sociali e morfologici che fanno riferimento ad ambiti interrelazionati e integrabili (Lucan, 2012). La *mixité* funzionale è un concetto intuitivo che consiste nel mescolare le attività. Oggi viene raccomandato di integrare e ripartire abitazioni, uffici, negozi, centri culturali e associazioni per favorire la diversificazione funzionale degli ambiti. Questo concetto può essere applicato a diverse scale anche ad un solo edificio; tuttavia, la scala urbana costituisce il suo ambito proprio poichè a tale scala si traggono i maggiori benefici e si ha maggior possibilità di intervento. A scala urbana, infatti, si può agire sulla densità, sull'uso del suolo, sulla distribuzione delle funzioni, sulla perequazione dei valori edificatori e indirettamente sul valore o sul costo del costruito.

La *mixité* sociale si presenta come una ripartizione più equilibra-

ta della popolazione. Formalmente essa può essere definita come la coesistenza nel medesimo spazio di gruppi sociali con caratteristiche differenti per cultura, età, origine o nazionalità.

La *mixité* morfologica si configura con un mix di forme urbane.

La *mixité*, nelle sue varie declinazioni (compositiva, morfologica, di funzioni insediate, costruttiva e materica), incarna quindi una ricerca di equilibrio. Si delinea un metodo di composizione *open*, che fa uso della commistione, della variazione e della declinazione della differenza senza rinunciare all'unitarietà del progetto (ITDP, 2017).

La *mixité* incide sulle dinamiche della città e sul modo di vivere e appropriarsi dello spazio da parte dei cittadini, evita il vuoto tipico degli ambiti commerciali o industriali dopo gli orari di lavoro così come il vuoto delle città dormitorio durante la giornata lavorativa, favorendo una vitalità continua dei luoghi ed un maggior senso di sicurezza. Le funzioni sono differenziate e distribuite sia nello sviluppo al suolo (orizzontale) sia nello sviluppo in altezza, creando una sovrapposizione di funzioni distinte (Gehl, Koch 2006).

La possibilità di accedere ad una maggiore varietà di funzioni introduce il vantaggio di prossimità che si traduce in forme di utilità di tipo sociale, economico e ambientale. I soggetti con maggior potere di acquisto tendono a concentrarsi nelle posizioni più vantaggiose, contribuendo allo sviluppo di dinamiche urbane di miglioramento, mentre nelle parti periferiche o meno vantaggiose si concentrano soggetti non competitivi sul mercato (MATTM, 2017).

Lo sviluppo della *mixité* funzionale determina invece un policentrismo diffuso basato sulla sovrapposizione differenziata degli ambiti funzionali; ciò riduce le differenze tra le aree periferiche e quelle centrali, consentendo una distribuzione più omogenea delle posizioni vantaggiose ad un maggior numero di soggetti avvantaggiati che possono accedere a una varietà di funzioni. La coesistenza di spazi dedicati all'abitazione, alle attività e ai servizi di vicinato favorisce un impiego equilibrato dello spazio edificato ed evita – come si è visto – la creazione di aree monofunzionali. Gli insediamenti a uso misto

possono essere inoltre uno strumento efficace per ridurre al minimo le esigenze di trasporto (IEA, 2021; IPCC, 2018; ICTT, 2021 a e b).

La componente residenziale è essenziale per rendere vivi i territori, per riempire attraverso le relazioni umane un posto e renderlo luogo nel senso definito da Marc Augè, cui è necessario aggiungere il commercio per garantire un continuo scambio di merci, prodotti e servizi. Fondamentale poi, nella vita di una città e dei suoi cittadini, è l'organizzazione del tempo libero. Uno spazio ben progettato offre ai suoi abitanti una ricca offerta culturale e creativa, che possa stimolare le persone a vivere ancor più nel profondo un luogo (Augè, 1993).

A queste categorie bisogna aggiungere le infrastrutture che rappresentano lo schema connettivo di un progetto, garantendo collegamenti, accessibilità e interazione tra le diverse componenti che rappresentano di per sé una parte del contesto urbano. Infine, e non meno importante, è la componente naturalistica, il paesaggio che l'uomo ha riportato all'interno dello scenario urbano.

Uno spazio multifunzionale favorisce l'accoglienza di differenti funzioni e rende possibile la presenza, anche alternata, di attrezzature per lo svolgimento di diverse attività durante tutto l'arco del giorno, perciò deve essere attrezzato e bene illuminato per dare alle persone sempre un accettabile grado di sicurezza. Questo spazio, inoltre, accoglie frequentatori che lo rendono vitale in ogni momento del giorno e dell'anno e contribuiscono ad attivare ulteriori flussi e presenze di altre persone ed attività. In tal senso, spazi come i mercati e le piazze urbane possono essere attrezzati con pergole, pensiline, strutture per l'ombra e la seduta per essere utilizzati da più utenti e per diverse attività durante l'arco della settimana e della giornata, così da accogliere eventi, anche temporanei, lasciare spazio all'esibizione degli artisti (cantanti, scultori, ballerini, ecc.) e al passeggio delle persone (Gabrielli et al, 2020).

Una vita di quartiere ricca di relazioni ed equilibrata è agevolata dal *mix* intergenerazionale e dalla coesione sociale. La diversificazione degli alloggi in base a dimensione, tipologia spaziale e

standard permette di accogliere un pubblico più ampio (studenti, persone sole, famiglie, prepensionati, pensionati, persone con mobilità ridotta ecc.). Una particolare attenzione deve essere riservata a soluzioni in grado di favorire la convivenza di culture diverse, ad esempio: strutture di accoglienza per l'età prescolastica (asili, locali di accoglienza extra-scolastica), spazi destinati a essere luogo di scambio fra gli abitanti (centri di quartiere, bar, spazi di incontro, biblioteche, laboratori di animazione) o possibili attività di svago (spazi culturali, orti famigliari, impianti sportivi) (Druot, Vassal, Laccaton, 2007; GCCA, 2012).

La *mixité* funzionale dell'offerta di alloggi a Clichy-Batignolles (Parigi) si traduce in una vasta gamma di soluzioni adattabili e flessibili per soddisfare diversi bisogni, in particolare delle persone che hanno più difficoltà a trovare un alloggio: anziani, studenti, giovani lavoratori, famiglie numerose e persone con basso reddito. Il 50% dei 3.400 appartamenti è dedicato al *social housing*, il 20% ha un prezzo controllato e il 30% è a prezzi di mercato. Tuttavia, con 140.000 metri quadrati di spazio per uffici, Clichy-Batignolles diventerà un importante centro per il settore terziario della città.

La multifunzionalità ha interessato anche l'agricoltura urbana, intesa come la capacità di produrre beni e servizi, che assolve non solo alla funzione produttiva, ma risponde anche a esigenze ambientali, sociali e territoriali, ed è proprio alle attività agricole che è stata riconosciuta la capacità di ottenere beni e servizi non solo per l'autoconsumo ma anche per lo scambio sul mercato (Santo, Palmer, Kim, 2016).

L'idea di città produttiva sostiene, tra le altre cose, che è possibile organizzare e gestire lo spazio urbano in modo che gli spazi aperti, attraverso una visione multifunzionale, possano avere diverse funzioni, ad esempio la produzione di cibo su scala locale al fine di essere inclusi nelle dinamiche economiche e nelle politiche pubbliche della città (de Zeeuw, Drechsel, 2015).

L'agricoltura urbana può fungere da strategia efficace per ridurre la catena di approvvigionamento di beni alimentari per il consumo

urbano e facilitare l'aumento del consumo di alimenti sani e di prodotti in modo sostenibile. Lo sviluppo di strategie per facilitare le iniziative agricole urbane può facilitare la partecipazione e l'apprezzamento per le scelte alimentari sostenibili all'interno della città e ringiovanire i lotti abbandonati (Viljoen, Bohn, Howe, 2005).

La città può sostenere l'agricoltura urbana, ad esempio, promuovendo direttamente iniziative di agricoltura urbana attraverso *partnership* senza scopo di lucro. In effetti, l'agricoltura urbana è un'importante strategia di inclusione sociale dei diversi gruppi con minori possibilità di inserimento, come la popolazione a basso reddito, gli immigrati e i rifugiati (Ferrini et al., 2020).

La *mixité* funzionale rappresenta la soluzione a cui tendono gli interventi di trasformazione urbana che considerano ambiti residenziali periferici e mono-funzionali, carenti di attività, mal serviti dai mezzi pubblici e di interesse nullo per chiunque non sia residente. Le strategie funzionalmente miste vengono proposte non solo negli interventi di espansione ma in tutti quegli ambiti di riqualificazione e *infilling*, che possono essere periferie o vuoti urbani (Deboulet, Leleuvrier, 2014).

3.4. Azioni strategiche di *resources circularity and self-sufficiency*

Un'economia circolare è un'economia in cui non vengono consumate le risorse della Terra e dove la stessa fonte di energia è usata e riutilizzata molte volte come può essere l'energia che viene dal sole. Questi benefici non sono ancora interiorizzati nell'economia. L'estrazione e la trasformazione delle risorse sono all'origine della metà delle emissioni totali di gas a effetto serra e di oltre il 90% della perdita di biodiversità e dello stress idrico; il consumo di risorse aumenterà ulteriormente entro il 2050, data fissata dalla UE per il raggiungimento della neutralità climatica. Dall'economia circolare si attende un grande contributo per pervenire a un progressivo modello di crescita rigenerativo che restituisca al pianeta più di quanto

si prenda e che miri ad aumentare l'efficienza nell'uso delle risorse e a ridurre l'impatto sull'ambiente sviluppando il benessere degli individui (EIT Climate KIC, 2020).

I modelli innovativi prevedono il rafforzamento della base industriale e la creazione di nuovi posti di lavoro e saranno basati su una relazione più stretta con i clienti, una personalizzazione dei prodotti e un nuovo rapporto collaborativo fra produttori e consumatori, supportati dalle tecnologie digitali, come l'Internet delle cose, i *big data*, la *blockchain* e l'intelligenza artificiale, che accelereranno non solo la circolarità ma anche la dematerializzazione della nostra economia, consentendo all'Europa di ridurre la dipendenza dalle materie prime (Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment, SUN, 2015).

I cittadini potranno fruire di prodotti sostenibili di elevata qualità e maggiore durabilità che potranno essere riutilizzati, riparati e riciclati per assicurare loro una nuova vita, dando sempre più agli acquirenti la possibilità di operare scelte informate, associate a *product as service* e soluzioni digitali che consentiranno di migliorare la qualità di vita. La circolarità determinerà risparmi di materie prime in tutte le catene di valore e nei processi produttivi generando valore aggiunto e nuove opportunità economiche attraverso l'integrazione delle pratiche di economia circolare, l'istituzione di un sistema di comunicazione e certificazione mediante la promozione del settore della bioeconomia sostenibile e dell'uso delle tecnologie digitali per la tracciabilità, della mappatura delle risorse e della registrazione del marchio di certificazione UE di verifica delle tecnologie ambientali (Ford et al., 1996).

Un quartiere sostenibile è concepito in modo da ridurre il consumo di risorse non rinnovabili (suolo, energia, acqua, biodiversità) e da minimizzare il suo impatto ambientale. In concreto si tratta di adottare soluzioni architettoniche bioclimatiche e tecnologie performanti (impianti, equipaggiamenti e apparecchi), valorizzando inoltre le energie rinnovabili (solare, legna, geotermia, biomassa) e l'impiego di materiali rispettosi dell'ambiente. Questi interventi includono pure

le analisi sull'intero ciclo di vita degli edifici, oltre al monitoraggio delle prestazioni, senza dimenticare la sensibilizzazione degli utenti su queste tematiche (Arup, 2016a e b).

L'integrazione dei principi dell'economia circolare in tutte le fasi del ciclo di un edificio può funzionare per soddisfare le esigenze urbane di spazio costruito. I principali vantaggi urbani di un percorso di sviluppo dell'economia circolare includono la possibilità di ridurre la necessità di nuove costruzioni, di migliorare l'uso del suolo urbano, di diminuire i costi di costruzione e operativi e di aumentare l'efficienza delle risorse, rafforzando nel contempo l'economia locale. Un edificio può essere utilizzato per oltre un secolo, il che significa che il modo in cui le città affrontano oggi le loro esigenze abitative urbane definirà lo sviluppo urbano per i decenni a venire. Le innovazioni nei settori dell'edilizia e di quella abitativa possono, se applicate con un approccio di economia circolare, fornire adeguate soluzioni (GBC Italia, 2019). La pianificazione dello spazio costruito costituisce un momento chiave per gettare le basi per futuri flussi circolari di materiali e per l'autosufficienza delle risorse. Integrando i principi dell'economia circolare nelle prime fasi del processo di sviluppo urbano i pianificatori possono garantire che la struttura fisica della città e le sue infrastrutture favoriscano il riutilizzo, la raccolta e la redistribuzione di risorse quali acqua, sostanze organiche, sottoprodotti industriali, costruzioni, elementi riciclabili e casalinghi.

Amsterdam è una delle città che si è posta l'obiettivo di avere entro il 2050 una gestione completamente circolare, il che significa che vi sarà circolarità su tutte le sue risorse: energia, acqua, materiali, cibo, e scarti/rifiuti a loro associati. La città sarà pulita, con azzeramento di fumi nocivi o tossici e con calcolata riduzione della perdita di aspettativa di vita legata alle polveri sottili. Grazie a un sistema circolare di nutrienti la città e la sua regione puntano a diventare particolarmente efficaci anche nella produzione di cibo e acqua pulita, compreso un sistematico *urban farming* che sta cominciando fin d'ora a essere realizzato in spazi liberi esterni, sui tetti degli edifici e in edifici sfitti o in

disuso sotto forma di *vertical farming*, anche a servizio del bisogno di spazi verdi all'aperto e di biodiversità.' È in programma inoltre una politica di arricchimento di impollinatori essenziali, come api e bombi.

3.4.1. Resources circularity e suolo

Il suolo è un ecosistema essenziale per l'esistenza umana e delle specie animali e vegetali, rappresenta un elemento centrale del paesaggio e svolge un ruolo fondamentale come habitat. L'integrità dei processi naturali è fortemente compromessa dagli effetti delle attività dell'uomo. Nel tempo si è avuto un crescente impatto sull'ambiente naturale in conseguenza della crescita della popolazione, dell'urbanizzazione e dello sviluppo economico e tecnologico (Bogenstätter, 2000)

La crescita della popolazione e l'industrializzazione hanno accresciuto la domanda di prodotti agricoli, di energia e di altre risorse naturali. Le innovazioni tecnologiche hanno consentito di far fronte alla crescente domanda di risorse naturali grazie a una più efficiente utilizzazione della terra e delle risorse energetiche, degradando l'ambiente. Da ciò consegue l'importanza di proteggere il suolo e di promuoverne la sua salute tenendo conto della perdita di biodiversità e della capacità di fornire i servizi ecosistemici nonché del fatto che si tratta di una risorsa non rinnovabile (EEA, 2016).

I processi di trasformazione del territorio vengono evidenziati dal consumo di suolo dovuto all'occupazione di una superficie agricola o naturale con una copertura artificiale utilizzando materiali quali asfalto e calcestruzzo tali da eliminare o ridurre la permeabilità. Questo fenomeno è connesso alle dinamiche insediative e infrastrutturali ed è prevalentemente dovuto alla costruzione di nuovi edifici, fabbricati o insediamenti, all'espansione e alla densificazione delle città. Nel 2020, nonostante il blocco delle attività produttive dovuto alla pandemia, il consumo di suolo è stato in linea con quello rilevato in passato e ha riguardato un incremento di 56,7 kmq, più di 15 ettari al giorno,

equivalenti a quasi 2 mq di suolo ogni secondo (ISPRA, 2021). Tale crescita è in parte compensata dal ripristino di aree naturali pari a 5 kmq (in genere recupero di aree di cantiere o superfici già classificate come consumo di suolo reversibile) ma si deve considerare che 8,2 kmq sono passati da suolo consumato reversibile a suolo consumato permanente. Le nuove coperture artificiali non hanno risparmiato le aree protette e le aree vincolate per la tutela paesaggistica e hanno riguardato in particolare la Lombardia, il Veneto, le pianure del Nord, lungo la costa adriatica, le coste siciliane e della Puglia meridionale e le aree metropolitane di Roma, Napoli, Bari e Bologna. Le aree impermeabilizzate sono arrivate al 7,11% (7,02% nel 2015, 6,67% nel 2006, la media EU è del 4,2% (ISPRA, 2021).

Anche l'Europa ha fatto registrare in questo ambito qualche distrazione ma la situazione nazionale è imbarazzante, addirittura manca ancora una legge quadro per la tutela dell'ambiente, del territorio e del paesaggio italiano e le Regioni presentano, come commenta l'ISPRA, 'un panorama complessivamente piuttosto eterogeneo' dove, la stessa 'definizione di consumo di suolo non è coerente con quella europea e nazionale o, comunque, sono presenti deroghe o eccezioni significative relative a tipologie di interventi e di trasformazioni del territorio che non vengono inclusi nel computo ma che sono in realtà causa evidente di consumo di suolo'. Le caratteristiche morfologiche e idrogeologiche del territorio ne evidenziano la fragilità con ampie aree di pericolosità per frane e alluvioni, zone a rischio sismico, aree soggette al fuoco 'amico' e la presenza di siti contaminati, piccoli fiumi spesso a carattere torrentizio, la fascia costiera, le pendenze delle zone altimetriche. Questa situazione presta il fianco ai cambiamenti climatici i cui effetti possono essere disastrosi. Costituiscono esempi gli eventi di recente avvenuti nel Nord-Ovest della Germania, nel Sud del Belgio e dell'Olanda, dove un'inondazione ha prodotto ingenti danni e vittime ed è considerato il disastro più grave degli ultimi 50 anni, o gli incendi in Oregon al confine con la California con migliaia di evacuati e temperature ben oltre 50 °C (Fondazione per lo sviluppo Sostenibile, 2000).

3.4.2. Resources circularity e prodotti alimentari

La superficie agricola subisce continue contrazioni a causa della sottrazione del suolo in larga parte irreversibile e, di pari passo, si registra una perdita delle produzioni agricole sotto l'aspetto quantitativo e anche qualitativo e del valore della produzione in funzione della quantità di fertilizzanti e fitofarmaci, che tra l'altro producono un impatto ambientale e perdita di biodiversità per la prevalenza delle monocolture (ENEA, 2020).

Il cibo genera il più grande *input* materiale delle famiglie e ha un rilevante impatto. Peraltro, si stima che il 20% del totale dei prodotti alimentari vada perso. Sebbene una parte dei rifiuti alimentari sia inevitabile e inadatta al consumo umano, come i rifiuti di preparazione e altri componenti non commestibili, esiste una quantità apprezzabile di rifiuti organici residui che sono commestibili e possono essere reindirizzati (ASVIS, 2020).

Un'applicazione digitale può fornire alle famiglie l'opportunità di elencare i loro prodotti alimentari in eccedenza, consentendo ad altre famiglie di acquistare o raccogliere questi articoli, come nel caso dell'app OLIO sviluppata in Inghilterra, ovvero donandoli in favore di organizzazioni che provvedono a preparare pasti per persone che non riescono a provvedervi. Diventa fondamentale in ogni caso ridurre questi sprechi e aumentare la sostenibilità della distribuzione e del consumo dei prodotti alimentari, in particolare per quanto riguarda gli imballaggi e gli oggetti per il servizio da tavola e le posate monouso con prodotti riutilizzabili. Il principio da seguire è che tutto il cibo consumato dalle famiglie deve essere prodotto in modo sostenibile, sano e locale, per ridurre al minimo gli impatti ambientali negativi. Nel garantire la continuità ecosistemica e tutelare la risorsa suolo duole osservare campi di coltivazione fotovoltaica che diventano sempre più numerosi ed estesi con un danno enorme al paesaggio che con grande 'lungimiranza' anni fa sono stati incentivati e che ora grazie alla caduta dei costi di produzione

dei pannelli solari sono sostenuti dai ricavi derivanti dalla vendita di energia. Sottrarre suolo produttivo agricolo sia pure a vantaggio di una fonte rinnovabile non è proprio un grande affare per la collettività.

L'agricoltura urbana può fungere da strategia efficace per accorciare la catena di approvvigionamento di beni alimentari per il consumo urbano e facilitare l'aumento del consumo di alimenti sani e prodotti in modo sostenibile. Lo sviluppo di strategie per facilitare le iniziative agricole urbane può aumentare la partecipazione e l'apprezzamento per le scelte alimentari sostenibili all'interno della città e ringiovanire i lotti abbandonati (COM, 2020).

3.4.3. Resources circularity, *acqua ed energia*

La disponibilità di acqua, sia in termini di qualità che di volume, interessa settori che vanno dalla produzione di energia all'agricoltura, alla sanità, ai consumi domestici, quindi è necessario ridurre gli sprechi e migliorare l'efficienza idrica, riutilizzare l'acqua nelle abitazioni, in agricoltura e nei processi industriali e recuperare e gestire i nutrienti delle acque reflue e dei fanghi di depurazione (McMahon, Price, 2011).

Ridurre il consumo di energia e acqua negli edifici è importante per migliorare l'uso delle risorse, ridurre i costi operativi e migliorare l'accessibilità. A Nieuwe Dokken (Ghent, Belgio) è stato realizzato il seguente sistema di recupero delle acque reflue. Le acque nere dei WC sottovuoto e dei rifiuti delle cucine vengono raccolte tramite un sistema di aspirazione. Si tratta di un sistema di trasporto basato sull'aria che raccoglie le acque reflue, e grazie al quale gli odori nell'aria vengono purificati con un filtro a carboni attivi (una *toilette* sottovuoto utilizza pochissima acqua di scarico rispetto a una standard grazie all'utilizzo di circa un litro e mezzo di acqua per scarico, facendo risparmiare all'intero distretto fino a 15 milioni di litri d'acqua l'anno). L'acqua nera e i rifiuti di cucina contengono

elevate quantità di energia e sostanze nutritive, recuperabili grazie a un reattore a biogas. Le acque ripulite rientrano in circolo dedicato e vengono utilizzate per gli scarichi o per irrigare giardini o per il lavaggio delle auto.

Si sta sempre più acquisendo la consapevolezza che la manutenzione predittiva e tempestiva previene il deterioramento e mantiene i materiali e i componenti in corretto uso. Per il nuovo patrimonio edilizio e per la riqualificazione degli edifici esistenti intraprendere azioni appropriate in fase di progettazione può agevolare la manutenzione e garantire che gli edifici siano efficienti dal punto di vista energetico e idrico, garantendo un buon funzionamento. Ciò può essere reso possibile attraverso modelli di *business* in cui è incentivata la manutenzione e mediante tecnologie digitali intelligenti (ARUP, 2019).

Un importante recupero di acqua si può avere attraverso la gestione del deflusso di acqua piovana in ambito urbano prima che raggiunga rapidamente le reti di scolo senza essere filtrata e trattata dal suolo. Una gestione sostenibile delle acque meteoriche prevede:

- il ripristino di aree permeabili (*de-sealing*);
- il contenimento dei flussi superficiali per limitare il rischio di inondazione;
- il ripristino della funzione di filtraggio naturale dei suoli per ridurre l'inquinamento delle acque e favorire la ricarica della falda acquifera per filtrazione.

Con questo sistema l'acqua raggiunge il sottosuolo o le condotte più lentamente in quanto attraversa vari strati drenanti prima di tornare nel sottosuolo o di arrivare all'impianto fognario, rallentando il flusso idrico e contrastando fenomeni di allagamento.

La capacità di trattenere e immagazzinare acqua è una dei più importanti servizi ecosistemici di regolazione forniti dai suoli perchè da questo dipendono la mitigazione di inondazioni, la regolazione

del clima, l'approvvigionamento idrico, la riserva, lo stoccaggio e la fornitura di nutrienti, il mantenimento della biodiversità.

Il cuore del progetto di Aspern Seestadt (Vienna), il Lakeside Park, un lago di 50.000 mq balneabile con una grande area a verde che contribuisce attivamente alla sottrazione di CO₂ dall'atmosfera, rappresenta un esempio di gestione dell'acqua perchè funge anche da dispositivo tecnologico ambientale in quanto regola le acque piovane provenienti dalle coperture degli edifici e dalle sedi viarie fornendo flussi idrici in periodi di scarse piogge senza mai essere integrato da acqua potabile.

3.4.4. Resources circularity, *rigenerazione e riconversione degli edifici e dei distretti*

Gli edifici possono essere adattati e riconfigurati per servire un nuovo scopo. Ad esempio, gli edifici commerciali o pubblici possono essere convertiti in spazi nuovi, tra cui abitazioni, spazi per i produttori e uffici per funzionare in modo più efficiente. La ristrutturazione del parco immobiliare esistente può migliorare l'efficienza con cui gli edifici vengono utilizzati e gestiti. Essa richiede generalmente meno risorse rispetto alla sostituzione di vecchi edifici con nuovi ed è quindi particolarmente importante nelle città consolidate dove l'urbanizzazione ha raggiunto il picco e la maggior parte del parco immobiliare è già stata costruita (ARUP, 2015).

A questo fine emblematico è l'eco-distretto Caserme De Bonne (Grenoble) il cui nucleo centrale è rappresentato dalla riutilizzazione di infrastrutture militari costituite di tre caserme e della relativa area di pertinenza per un totale di 8,5 ettari sita in un'appetibile zona nel centro di Grenoble dove il Comune ha realizzato un intero quartiere green per migliorare la vivibilità degli abitanti a cui questo spazio era precluso immettendo negozi, ristoranti, uffici, edilizia residenziale, spazi pubblici, infrastrutture e servizi. Il progetto

ha mantenuto il cortile principale e i tre edifici che lo sovrastano riqualificandoli sul piano della sostenibilità e del risparmio energetico ottenendo un ambiente di alta qualità, dinamico, piacevole e attraente. Scopo del progetto è stato quello di favorire la diversità spaziale e funzionale dei luoghi e promuovere un mix socio-economico, culturale e generazionale per stimolare l'inclusione e lo spirito di convivenza (Evans et al., 2017)

La riqualificazione degli edifici è in ogni caso una misura molto importante ai fini della decarbonizzazione visto che la maggior parte del patrimonio immobiliare europeo è vecchio e inefficiente. Di rilievo è pertanto l'indicazione del FitFor55 che prevede per il settore pubblico di ciascun Stato di rinnovare il 3% dei suoi edifici ogni anno per pilotare il processo di rigenerazione e ridurre il consumo di energia.

La sensibilizzazione verso i temi ambientali è ormai imprescindibile nel definire gli spazi dell'abitare contemporanei e contestualmente le necessità di risparmio energetico inducono a un ripensamento delle strategie impiantistiche e delle stratigrafie degli involucri.

I vuoti urbani (aree disponibili per obsolescenza o cambio di destinazione d'uso) rappresentano il margine di trasformazione di ambiti consolidati; a piccola scala, possono corrispondere a parcheggi, aree indistinte, verde non attrezzato, rappresentando una pausa, una barriera nel tessuto urbano. Le potenzialità di tali ambiti sono date dalla possibilità di inserirsi in un tessuto già consolidato volto a riappropriarsi dello spazio e massimizzarne le suscettività di sviluppo. Ambiti dismessi o scollegati dal tessuto urbano circostante vengono a integrarsi, arricchendo l'esistente (Reale, 2008).

Un tessuto urbano già fitto e denso, con occupazione del suolo totale, risulta rigido alle trasformazioni, a meno di una progettazione flessibile che consenta agevolmente il cambio d'uso. La trasformazione dei quartieri moderni degradati può avvenire attraverso il loro adattamento alle mutate esigenze dell'abitare contemporaneo articolando tipologie e spazi nuovi in contesti dotati di quell'intensità e complessità tipiche dei contesti urbani stratificati.

Nelle misure di riorganizzazione dei tessuti urbanizzati estensivi e di 'ibridazione' delle aree monofunzionali risulta possibile intervenire determinandone la trasformazione con l'inserimento di destinazioni d'uso compatibili e complementari, compresi spazi per usi collettivi e una più diffusa offerta di servizi. Particolare attenzione va dedicata anche agli spazi intermedi – corti, cortili, giardini condominiali, terrazzi condivisi, logge, ecc. – per migliorare la qualità dell'abitare, interno ed esterno all'abitazione, e la socialità di vicinato.

Nei programmi di rigenerazione urbana la realizzazione di interventi di riqualificazione – o di nuova costruzione – di *m* sociale deve garantire, insieme al soddisfacimento della domanda di alloggi, benessere abitativo e integrazione sociale, con supporti alla costruzione di comunità di residenti anche con la progettazione di spazi collettivi condivisi e aperti, e con la promozione di mix funzionale e dotazione di servizi e spazi intermedi (Masbounji, 2005).

3.4.5. Resources circularity e materiali da costruzione

Il comparto edilizio ha un impatto significativo su molti settori dell'economia e comporta il 35% di emissioni di gas serra che potrebbero essere ridotte dell'80% migliorando l'efficienza dei materiali usati. La strategia di attacco riguarda la sostenibilità dei prodotti da costruzione tra cui i requisiti in materia di materiali riciclati o da riuso, promuovendo la durabilità dei beni edificati e predisponendo registri digitali per gli edifici nella logica della circolarità. Occorre, inoltre, riconsiderare gli obiettivi di recupero dei materiali già fissati per i rifiuti da costruzione e demolizione prestando particolare attenzione ai materiali isolanti e all'uso sicuro, sostenibile e circolare del materiale da scavo (terreno, pietra e ghiaia). Tutte le attività di costruzione e demolizione all'interno della città devono adottare materiali, tecnologie e *design* circolari per chiudere, direttamente e indirettamente, i cicli di materiali. In una città circolare ideale tutti

i materiali consumati dal settore delle costruzioni proverranno da fonti rinnovabili e/o riutilizzate/riciclate con un impatto ambientale minimo e saranno monitorati durante tutto il loro ciclo di vita per consentire un efficace processo di circolazione dei materiali. Attualmente solo il 10% dei materiali da costruzione proviene da fonti secondarie mentre il restante 90% da materie prime. Esiste pertanto un'opportunità per il settore delle costruzioni di aumentare la quota complessiva di materiali consumati da fonti secondarie per ridurre l'impronta ambientale complessiva del settore (GBC Italia, 2020).

In questo senso si sono adoperati a Tassafaronga Village (Oakland, USA) dove tutti i materiali sono stati considerati per il riutilizzo, il riciclaggio, il recupero, il trasporto e gli impatti sulla salute. L'88% dei detriti di demolizione è stato smistato e deviato dalla discarica, compreso il calcestruzzo che è stato frantumato e utilizzato come sottofondo stradale. Il 93% dei componenti (in peso) di un ex pastificio – acciaio strutturale, intelaiature e rivestimenti e la maggior parte dei muri esterni – sono stati sottoposti a demolizione selettiva e riciclati. Il pavimento in legno della struttura è stato immagazzinato per essere utilizzato in più progetti locali successivi. I piccoli ponti privati all'interno delle aree paesaggistiche sono stati realizzati con legname riutilizzato, alternato ad aree di pavimentazione in granito frantumato permeabile.

Un'altra azione importante è il monitoraggio dei materiali da costruzione durante tutto il loro ciclo di vita per consentire un efficace processo decisionale di fine vita e per aumentare la circolazione dei materiali. Una buona pratica è il passaporto dei materiali adottato nel progetto Madaster in Olanda che identifica quali materiali sono stati utilizzati in un edificio e in quali quantità. Inoltre, esso contiene informazioni sulla qualità dei materiali, l'ubicazione e il valore finanziario e circolare. Tale piattaforma digitale può fungere da biblioteca pubblica *online* di materiali nell'ambiente costruito per facilitare una maggiore conoscenza dei materiali utilizzati nel settore edile e incentivare un maggiore riutilizzo dei materiali secondari.

Infine, le città possono influenzare la domanda di progettazione circolare e le pratiche di costruzione attraverso l'inserimento di criteri circolari nelle di gare di appalto dei lavori. Non esiste un approccio uniforme all'adozione di criteri circolari nei progetti di edilizia pubblici, ogni città ha propri obiettivi e priorità e ogni progetto presenta opportunità uniche per chiudere i cicli dei materiali e ridurre l'impatto ambientale del settore. Gli appalti circolari sono sempre più adottati dalle città di tutta Europa, come nel caso di Copenaghen che ha richiesto l'uso di mattoni riutilizzati nella ristrutturazione di una scuola. I mattoni, provenienti dalla demolizione degli ospedali locali, hanno permesso di ridurre il costo totale del ciclo vita e di tagliare le emissioni di CO₂ di 70 tonnellate. Berlino ha invece prescritto l'uso del calcestruzzo riciclato nella costruzione di un nuovo edificio universitario per superare i pregiudizi e stimolare la domanda di calcestruzzo riciclato in edilizia. La gara ha evitato il consumo di 880 mq di materiali vergini, oltre ad aver ridotto del 66% il fabbisogno energetico.

3.4.6. Resources circularity e gestione dei rifiuti e degli scarti

Un requisito indispensabile per la riduzione dei rifiuti è la prevenzione della loro formazione e la corretta gestione, che include l'aumento del contenuto riciclato. A questo fine è indispensabile la raccolta differenziata e la collaborazione dei cittadini, delle imprese e di tutti i portatori di interesse della catena di valore. Si rende pertanto necessario armonizzare i sistemi di raccolta differenziata e facilitare l'operazione uniformando i colori dei contenitori e dei simboli per i principali tipi di rifiuti, e a supporto dell'iniziativa svolgere campagne di informazione e di sensibilizzazione (ISPRA, 2019). Inoltre, il costo di ogni prodotto dovrebbe essere comprensivo del suo smaltimento ridisegnando l'attuale sistema di tassazione e le etichette dei prodotti dovrebbero contenere precise indicazioni sulla corretta differenziazione dei vari componenti.

Esistono diversi sistemi di gestione dei rifiuti a vari livelli tecnologici, tutti dovrebbero essere efficienti e soprattutto efficaci in quanto è il sistema di gestione che detta i tempi di tutta l'operazione di raccolta e della stessa differenziazione dei rifiuti. Fra i più evoluti è quello realizzato a Clichy-Batignolles (Parigi) dove i rifiuti vengono raccolti tramite tubi pneumatici sotterranei che li conferiscono a un centro di smistamento. Quello che può essere recuperato viene riciclato e in minima parte viene destinato a un inceneritore. Grazie a questo sistema non sono necessari camion per la raccolta dei rifiuti ed è possibile ottenere numerosi vantaggi per l'ambiente, si stima una riduzione del 42% delle emissioni di gas serra e una riduzione del 98% delle emissioni di monossido di carbonio, dell'86% di ossidi di azoto e una riduzione del 90% delle emissioni di particolato rispetto a un sistema tradizionale di raccolta dei rifiuti (Cochran et al., 2012).

Affinchè si sviluppi il riciclo dei prodotti è in ogni caso necessaria l'introduzione di obblighi concernenti il contenuto del riciclo e avere un mercato efficiente per le materie prime secondarie con l'indicazione delle prestazioni e la segnalazione della presenza di eventuali limiti. La città di Austin (Texas, USA), che si è posta come obiettivo di raggiungere zero rifiuti entro il 2040 e di generare valore dai materiali di scarto, ha predisposto una piattaforma di scambio *online* ad accesso aperto (Austin Materials Marketplace) per facilitare la crescita del mercato dei materiali secondari all'interno della città abbinando i flussi di materiale residuo alla domanda. La maggiore accessibilità alle informazioni sulle materie prime secondarie può aumentare l'uso di questi materiali nei progetti di costruzione.

La normativa UE è attenta ad individuare sostanze problematiche per la salute, tuttavia si tratta di un settore in cui la preoccupazione non è mai abbastanza e, in linea con i progressi scientifici e tecnici e la tecnologia digitale ora disponibile, si può pervenire ad un tracciamento e mappatura in materia di sostanze chimiche, prodotti e rifiuti pericolosi rafforzando le sinergie con l'economia circolare.

Una valida strategia per aumentare il riutilizzo dei beni di con-

sumo è la creazione di centri di riutilizzo (*Circular shopping centre*) fornendo spazi per la vendita/locazione di articoli riutilizzabili, oltre a ospitare attività circolari supplementari, come la riparazione (*ReUse Hub*), i laboratori (*upcycling*) e i programmi didattici. Questi *Hub* non solo forniscono luoghi attraenti e accessibili ai cittadini per depositare oggetti indesiderati, ma veicolano modelli, stili di vita e di consumo più circolari che tendono a estendere il più a lungo possibile il valore dei prodotti e dei materiali (Ciuffini et al., 2020).

3.5. Azioni strategiche di *sustainable mobility*

In Italia la mobilità ha alcuni elementi peculiari rispetto agli altri paesi europei. Innanzitutto, un uso dell'automobile più diffuso, una rete debole di piste ciclabili e pedonali urbane, anche a causa della morfologia di molte città, di consolidate abitudini e di un ritardo nell'attuazione di adeguati strumenti di governo. Il settore dei trasporti è responsabile al 2020 del 30,5% del totale delle emissioni e circa il 40% è dovuto alla mobilità urbana (COM, 2019).

In generale, la maggior parte dei trasporti funziona con carburanti fossili ma si sta comunque assistendo a un aumento del numero di veicoli elettrici per le strade di molte città europee. Di ultima generazione sono i veicoli elettrici commerciali e professionali che possono assolvere numerose funzioni tra cui anche la raccolta dei rifiuti. Tuttavia, l'introduzione di veicoli elettrici è attualmente costosa e richiede di cambiare l'infrastruttura di rifornimento per le automobili. Fra i veicoli elettrici si possono includere i veicoli *range extender* o gli ibridi *plug-in* (COM, 2020).

Al riguardo, si segnala che all'interno del *Green Deal* la Commissione Europea, con il Piano Clima FitFor55 ha stabilito che dal 2035 le nuove auto immatricolate dovranno essere a emissioni zero e questo dà un ulteriore impulso all'elettrico e allo sviluppo di nuove tecnologie. Inoltre, dovranno essere installati sulle principali strade

punti di ricarica e di rifornimento: ogni 60 km per colonnine elettriche e ogni 150 km per l'idrogeno. Si tratta di una decisione dagli effetti non immediati ma destinata a stravolgere il settore automobilistico. A partire dal 2023 la Commissione propone anche di cambiare la tassazione sui carburanti in base al contenuto energetico e non sui volumi per incoraggiare l'uso di combustibili più ecologici e verranno eliminate esenzioni obsolete e aliquote ridotte che incoraggiano l'uso di combustibili fossili. Sempre nel settore dei trasporti vengono incoraggiati l'utilizzo di carburanti sostenibili nell'aviazione e nel trasporto marittimo. Queste misure devono essere approvate dai governi dei Paesi UE e del Parlamento europeo (EASAC, 2019).

Per lunghe distanze e per il trasporto di merci attualmente molti paesi stanno sostenendo iniziative volte ad aumentare la quota di biocarburanti nella benzina per renderla più sostenibile. Tuttavia, a lungo termine saranno necessari carburanti alternativi a zero emissioni di carbonio per sostituire la benzina o il diesel (De Matteis, Norsa, 2011).

Ci sono diverse alternative per i combustibili a zero emissioni di carbonio che possono essere utilizzate. Il combustibile più pulito è l'idrogeno. La sua combustione non produce alcuna emissione di carbonio. L'idrogeno può essere prodotto dividendo l'acqua in ossigeno e idrogeno. L'elettricità necessaria a tal fine può provenire da fonti energetiche rinnovabili. L'idrogeno può quindi essere bruciato in sicurezza per produrre energia e l'unico prodotto è l'acqua. Tuttavia, il combustibile a idrogeno è ancora in fase di sviluppo (H2IT, 2019).

Un'altra possibilità è quella di utilizzare gas sintetico, che viene generato nelle fabbriche piuttosto che essere estratto dal terreno. Il gas sintetico può essere un combustibile neutro dal punto di vista del carbonio se viene creato attraverso la lavorazione dell'anidride carbonica estratta dall'aria. Infine, vi sono i biocarburanti: si tratta di combustibili generati dalla lavorazione di prodotti coltivati naturalmente, come il legno, o il mais. Sussistono, tuttavia, problemi con i biocarburanti in quanto producono ancora una grande quantità di anidride carbonica nella lavorazione. Inoltre, per coltivare il prodot-

to è necessario utilizzare terreni agricoli che così vengono sottratti alla produzione del cibo (Chi Xu et al., 2020).

Insomma per la mobilità sostenibile l'opzione più forte sembra essere il motore elettrico a patto naturalmente che l'elettricità immagazzinata sia generata da fonti rinnovabili. Un ruolo positivo può essere svolto dalle città adeguando il sistema dei trasporti e delle infrastrutture della distribuzione dei servizi che permettano di ridurre l'impatto sull'ambiente, rendendo al contempo gli spostamenti più efficienti. La mobilità elettrica si sta affermando in molte città attraverso il rinnovo del patrimonio del trasporto pubblico e l'installazione di colonnine per la ricarica delle auto private così come si stanno consolidando le iniziative di *sharing*, dalle auto, agli scooter, alle bici, ai monopattini, volte a ridurre il tasso di motorizzazione privata delle città (H2IT, 2019). L'eco-quartiere La Marine (Parigi) è prevalentemente pedonale: l'80% delle strade interne è riservato al traffico leggero, alla mobilità tramviaria pubblica su ferro, e lo spazio pubblico per i parcheggi delle auto è ridotto allo stretto necessario. Questa scelta rafforza fortemente la qualità della vita nel quartiere e costituisce uno degli assi portanti per concorrere all'obiettivo di tagliare drasticamente le emissioni di CO₂.

La mobilità è il risultato della domanda di spostamento da parte dei residenti che si traduce anche in una grande quantità di parcheggi. Una importante fonte di risparmio è costituita dall'ottimizzazione della mobilità locale. Gli *asset* per ripensare la mobilità delle città del futuro sono: ridurre la necessità di spostamenti e scoraggiare il trasporto privato, limitando lo spazio destinato ai parcheggi, tassando gli autoveicoli in base alla differenziazione ambientale, sviluppando le infrastrutture per i veicoli elettrici e incentivi per il trasporto a basse emissioni. L'aspetto di rilievo di questo processo è costituito dalla riduzione della domanda globale di trasporto personale massimizzando l'accessibilità ai servizi e garantendo un buon mix di zone di vita e di lavoro. Le città compatte riducono la domanda di mobilità all'interno delle città e creano ambienti urbani più

socievoli, equi ed economici e hanno un più contenuto impatto ambientale perchè offrono distanze di viaggio ridotte e aumentano la fattibilità per il trasporto pubblico e gli spostamenti attivi, riducendo la dipendenza dalla mobilità pubblica e dall'auto per le esigenze elementari, preservano inoltre le aree verdi e rurali, importanti per il sequestro del carbonio (Alshayeb et al., 2018).

Il disegno degli spazi e delle funzioni delle infrastrutture della mobilità deve essere ripensato per consentire una mobilità che sia attiva e collettiva. Se una città offre un buon trasporto pubblico, percorsi ciclabili e pedonabili ciò può portare a una riduzione dell'uso di auto private e delle relative emissioni di gas serra. E' necessaria quindi una nuova concezione urbanistica e una pianificazione coordinata con la mobilità (Harvard University, 2020).

La città deve avere uno sviluppo equilibrato in tutti i quartieri in cui si articola. Il quartiere deve essere denso e con mix funzionale, in cui l'accesso ai trasporti pubblici renda vantaggiosa la mobilità sostenibile. Per integrare queste diverse funzioni particolare attenzione va riservata alla mobilità dolce e alla realizzazione di una rete dedicata di percorsi a piedi e in bicicletta che consentono di raggiungere la metropolitana, *hub* di trasporto su gomma, scuole, strutture sportive e culturali, nonché spazi pubblici. La bicicletta diventa il mezzo ideale per il percorso casa-lavoro o scuola e prendono piede mezzi di trasporto alternativi per le brevi distanze quali pattini, monopattini o *skateboard*. La riduzione delle percorrenze favorisce la pedonalizzazione, la vivibilità e la godibilità dello spazio urbano ampliando il loro ambito di azione e relazione (Di Biagi, 2009). Buoni collegamenti di trasporto locale e una maggiore tutela riservata a pedoni e ciclisti sono fondamentali affinché una città funzioni in modo sostenibile.

A Parigi, da alcuni anni un modello di mobilità lenta ha radicalmente orientato l'agenda politica della città, si è iniziato a costruire una ciclabile in ogni strada dell'area urbana. Una 'Parigi 100% ciclabile al 2024' è una città di prossimità, a misura di persona, in cui

pedoni e ciclisti potranno muoversi ovunque in sicurezza, e vuole esserlo eliminando lo spazio destinato a parcheggi. A questo si aggiunge il più recente obiettivo della 'città in 15 minuti', dove per tutti gli abitanti sia possibile raggiungere i principali servizi di base in meno di 15 minuti, a piedi o in bicicletta. (Moreno, 2020)

A Barcellona, invece, l'obiettivo è restituire lo spazio della mobilità e della sosta ai residenti pedonalizzando piccole porzioni diffuse della città. L'idea, sulla scia delle sperimentazioni avviate già negli anni '80, è quella di sfruttare la caratteristica trama urbana della capitale catalana per formare delle *Superillas*, ovvero un insieme di nove isolati – un quadrato di 400×400 m – le cui strade interne vengono chiuse al traffico, se non per i residenti a una velocità di 10 km orari. L'obiettivo è molteplice: aumentare le aree verdi della città, favorire l'attività motoria, ridurre l'inquinamento e riscoprire il rapporto e i servizi di prossimità. Ad oggi ne sono stati completati meno di una decina ma l'obiettivo è realizzarne molti di più.

Molte città hanno adottato piani per il trasporto locale, dove gli obiettivi ambientali, sociali e i traguardi economici sono congiuntamente perseguiti, sono state promosse misure per promuovere la mobilità sostenibile, in particolare quella dolce e privilegiata la bicicletta e i percorsi a piedi. In ogni caso la pianificazione dei trasporti e l'uso del suolo è integrata. Un buon esempio è il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile presentato da Vienna (Virag D. et al., 2021).

Si sintetizzano di seguito, per punti, le principali categorie di azioni strategiche elaborate dal Gruppo di Lavoro 4 'Mobilità urbana sostenibile' (Anna Donati, Giandomenico Meduri, Giovanna Rossi) del Gruppo Internazionale degli Esperti (coordinato da Fabrizio Tucci) del Green City Network promosso dalla Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile:

1. *Limitazione della circolazione delle auto private in città e promozione della circolazione tramite mezzi pubblici:*
 - disincentivare, nei piani urbani per la mobilità sostenibile, l'uso dell'auto privata per gli spostamenti in città,

limitando le aree di sosta e ricorrendo a controlli anche informatizzati, estendere le limitazioni alla circolazione in determinate zone e gli accessi e le soste a pagamento;

- aumentare le aree pedonalizzate, le Zone a Traffico Limitato e quelle con accesso consentito solo a biciclette e mezzi pubblici;
- promuovere iniziative per valorizzare l'utilizzo di strade e piazze chiuse al traffico come luoghi di incontro, di aggregazione e di convivialità;
- rafforzare e innovare le flotta dei mezzi pubblici a basse emissioni, puntando decisamente sull'aumento dei mezzi pubblici elettrici, nonché su accessi, sedi e corsie riservate.

2. *Incremento delle reti di percorsi ciclabili e pedonali tramite infrastrutture lineari esistenti e nuove:*

- predisposizione di piani urbani della mobilità ciclistica;
- incrementare e migliorare la rete ciclopedonale;
- sviluppare le connessioni e i nodi di scambio intermodali fra la rete ciclopedonale e quella del trasporto pubblico locale, con attenzione ai collegamenti con i punti di interesse e di ritrovo pubblico;
- sviluppare di attività complementari quali i ciclo-parcheggi, il *bike sharing*, i *bike hotel*, la localizzazione su mappa delle ciclofficine, il servizio S.O.S.-bici, e la creazione dei *bike grill*;
- realizzare campagne di promozione della mobilità in bicicletta;
- incentivare l'acquisto di *e-bike* e di *cargo bike* a pedalata assistita.

3. *Promozione della sharing mobility in un'ottica di avanzamento tecnologico anche con sistemi ITC ed ITS:*

- promuovere servizi *car sharing*, *free floating* e *station-based*, servizi di *scooter sharing* e di *bikesharing elettrico*, servizi di *car-pooling* aziendale e di *vansharing*;

- realizzare piattaforme ITS integrata per la raccolta e condivisione dei dati relativi alla mobilità, per i servizi digitali di pianificazione degli spostamenti integrando i servizi di sharing con il trasporto pubblico locale;
 - realizzare piattaforme per l'integrazione commerciale tra servizi di mobilità, con interoperabilità dei rispettivi sistemi di pagamento;
4. *Incentivazione dell'uso di auto elettriche, ibride e biometano:*
- incentivare all'acquisto di auto elettriche, ibride e a biometano e agevolarne la circolazione e la sosta;
 - sviluppare infrastrutture e reti interoperabili per la ricarica elettrica delle auto e la produzione e la distribuzione del biometano, anche in forma liquida.

3.6. Azioni strategiche di *green and gray CO₂ subtraction and storage solutions*

Fra le misure di rigenerazione urbana a valenza multipla le soluzioni basate sulla natura in qualità della capacità di assorbire inquinanti sono un mezzo sempre più popolare per affrontare le sfide della sostenibilità. In quest'ottica si muove il Piano Clima FitFor55 della Commissione Europea che mira a migliorare la qualità, la quantità e la resilienza delle superfici verdi con il rimboschimento delle foreste europee di 3 miliardi di alberi da piantare entro il 2030 e saranno fissati a ciascun Stato membro obiettivi specifici nazionali di espansione dei depositi naturali di carbonio (Bionova, 2018).

Le piante sono gli unici esseri viventi che producono ossigeno a differenza degli animali che lo utilizzano senza reintegrarlo ed emettendo CO₂. Gli scienziati ritengono che un singolo albero può assorbire anidride carbonica a una velocità di 21,8 kg/anno e rilasciare abbastanza ossigeno nell'atmosfera per sostenere 2 esseri umani ma non di certo non i loro veicoli e attività (Salomoni, 2017).

L'idea di usare la natura per migliorare la sostenibilità urbana attraverso la creazione di *green infrastructure*, parchi e giardini, aree verdi, ripristino di fiumi e di ecosistemi è sempre più vitale per affrontare queste sfide in modo efficace e adattivo.

Il Martin Luther King Park (Parigi) è una delle aree (10 ettari di parco insieme ai 6.500 mq di verde privato e ai 16.000 mq di tetti verdi) pensata come parte di un'infrastruttura naturale, una rete a sostegno della biodiversità e della resilienza della città, di contrasto al fenomeno di isola di calore.

Il parco è gestito utilizzando un approccio sostenibile, altamente differenziato, adattato a ogni specifico tipo di vegetazione, vi sono quasi 500 specie di piante e funge da vero e proprio 'condizionatore' urbano grazie all'ombra degli alberi e al naturale fenomeno di evapotraspirazione generato dalle specie arboree (Cool Coalition, 2021).

Gli alberi, infatti, con le loro chiome e il loro ombreggiamento, costituiscono la più efficace arma a disposizione delle città per favorire il raffrescamento diffuso ed evitare l'assorbimento del calore durante il giorno e il suo rilascio in atmosfera durante la notte. In questo modo parchi, giardini, filari ma anche alberi in vaso agiscono contro le principali cause dei cambiamenti climatici, generando al tempo stesso qualità e vivibilità degli spazi pubblici delle città (EEA, 2017).

Il potere mitigante delle specie vegetali rispetto agli inquinanti è tuttavia differenziato in relazione alle singole caratteristiche di cui sono dotate, che possono configurarsi in attitudini allo svolgimento di specifiche azioni:

- riduzione degli inquinanti presenti in atmosfera attraverso il meccanismo della fotosintesi, i composti inquinanti sono eliminati tramite assorbimento e successiva metabolizzazione;
- cattura delle polveri sottili (PM_{10} , PM_{5} , $PM_{2,5}$) grazie alla presenza di peli, rugosità e cere della superficie fogliare che funzionano come un filtro biologico;
- fitorimediazione, consistente nell'estrazione dal suolo dei composti inquinanti per accumularli nelle radici e nelle foglie (fitoestra-

zione) o nella biodegradazione dei contaminanti organici dei terreni sfruttando la sinergia con i microrganismi presenti intorno e all'interno delle loro radici (fitorizodegradazione), che determina la cosiddetta 'fitostabilizzazione';

- fitodepurazione, consistente nella cattura e stabilizzazione/demolizione degli inquinanti delle acque.

Queste soluzioni hanno il vantaggio di fornire contemporaneamente benefici ambientali, sociali ed economici e di contribuire a costruire la resilienza. Si tratta di azioni ispirate, sostenute o copiate dalla natura. L'uso e la valorizzazione di queste soluzioni sono affidati per lo più a meccanismi di sviluppo di cui sono noti gli effetti, ma sempre più spesso vengono esplorate situazioni nuove imitando il modo in cui gli organismi e le comunità non umane affrontano eventi estremi (Antonini, Tucci, 2017).

Le soluzioni basate sulla natura utilizzano le caratteristiche e i complessi processi di sistema della natura, come la sua capacità di immagazzinare carbonio e regolare il flusso d'acqua al fine di ottenere i risultati desiderati, come la riduzione del rischio di disastri, il miglioramento del benessere umano e la crescita verde socialmente inclusiva. Queste soluzioni basate sulla natura sono idealmente efficienti, dal punto di vista energetico e sotto il profilo delle risorse, e resilienti al cambiamento. Tali conoscenze permettono di svelare come funziona la natura, a vantaggio di tutte le persone e trasformando queste sfide in azioni per una crescita sostenibile e verde, il cui successo è però subordinato al grado di adattamento alle condizioni locali.

La strategia su cui implementare i diversi interventi è la seguente:

- tenere i rischi climatici lontani dagli insediamenti umani;
- ridurre la vulnerabilità dell'area esposta creando un ambiente in grado di convivere con i pericoli;
- garantire una risposta efficace ai rischi climatici;
- garantire un recupero efficace dagli impatti di un pericolo.

Naturalmente i meccanismi e le strutture di recupero devono essere approntati prima che si presenti un potenziale pericolo.

Per ridurre la pressione sulla città possono essere necessari nuovi sistemi idrici e fognari in sostituzione di quelli vecchi costruiti per una popolazione molto più piccola e si può pensare anche a soluzioni urbane verdi come parchi, alberi di strada, stagni, tetti verdi, giardini urbani e domestici (Bussi et al., 2017).

L'esposizione ai pericoli può essere arginata attraverso la creazione di aree o parchi di protezione della natura e inibito lo sviluppo di abitazioni in aree a rischio mentre si può ridurre l'esposizione alle inondazioni riducendo l'erosione attraverso un nutrimento della spiaggia, ripristinando o gestendo le formazioni vegetali lungo i litorali o migliorando la gestione delle acque nelle periferie delle aree urbane. In caso di frane si può stabilizzare il pendio piantando nuovi alberi per mantenere il terreno in posizione.

Per quanto riguarda la riduzione della vulnerabilità alle alluvioni esempi sono la creazione di zone cuscinetto, la promozione di tetti verdi, agricoltura urbana o vicoli di inverdimento, l'aumento dell'estensione delle superfici permeabili, la creazione di stagni di ritenzione. Al riguardo, uno stagno può non solo contribuire alla gestione delle acque piovane ed accrescere la biodiversità ma può fornire benefici sociali divenendo un'opportunità per attività ricreative, sociali e sportive.

Per quanto attiene la vulnerabilità al calore si può far ricorso invece all'uso di piante resistenti alla siccità e/o realizzare un migliore isolamento termico attraverso, ad esempio, pareti verdi. Un altro importante elemento di riduzione della vulnerabilità è la diminuzione della dipendenza da un solo sistema urbano, come sistemi di riscaldamento, trasporto o drenaggio.

Circa le misure di preparazione per affrontare alcuni eventi quelle più ricorrenti sono i sistemi di allarme rapido e i preparativi per il rifugio temporaneo che possono essere forniti dalle aree verdi. Un altro esempio è la preparazione di meccanismi o strutture che

forniscono raffreddamento, quali i sistemi di piantagione mobili o le fontane che possono essere utilizzate durante le ondate di calore. Per prepararsi al recupero si può far ricorso a elementi infrastrutturali verdi che possono essere facilmente recuperati o sostituiti dopo gli impatti climatici. Inoltre, è necessario prepararsi per l'assistenza *post-catastrofe* attraverso l'individuazione di aree verdi da utilizzare per alloggi temporanei durante la ricostruzione. Nel contesto della ripresa il sostegno all'inverdimento delle trame private rappresenta una misura polivalente con un impatto positivo sulla salute e sulla psicologia. Altre misure di preparazione sono le campagne di sensibilizzazione e orientamento su cosa fare dopo determinati eventi climatici opportunamente pubblicizzate (EEA, 2017).

Bisogna anche considerare gli impatti negativi che possono essere creati da soluzioni basate sulla natura e come affrontarli. Inoltre, per fare valutazioni si ha bisogno di indicatori scientifici e pertinenti. La natura e la tipologia dei dati sono legati all'oggetto della valutazione. La portabilità di un dato da un luogo all'altro a volte è possibile. Spesso, tuttavia, non è utile attribuire lo stesso risultato in diversi contesti. In particolare, i benefici culturali non sono esportabili. Se non è possibile adottare gli stessi risultati si possono però generalizzare i metodi di valutazione in contesti diversi.

Esistono, come si è visto, mezzi naturali per rimuovere i gas serra dall'atmosfera. Questi includono il sequestro del carbonio attraverso la fotosintesi, l'accumulo di materia organica nel suolo, l'assorbimento di carbonio negli ecosistemi acquatici e processi geologici lenti, come l'erosione delle rocce. Tuttavia, esistono anche numerose tecnologie esistenti ed emergenti per la rimozione dell'anidride carbonica (CDR) o tecnologie a emissione negativa (NET) per rimuovere la CO₂ dall'atmosfera. Alcune tecnologie a emissione negativa fissano la CO₂ ambientale attraverso il passaggio a composti stabili. Altri producono un flusso di CO₂ gassosa o liquida ad alta concentrazione che può essere immagazzinata o utilizzata per i prodotti. Alcuni sono già in uso, molti hanno il potenziale per essere ampliati,

mentre altri sembrano attualmente solo teorici (Kuittinen, et al., 2021).

La soluzione del Carbon Capture and Storage (CCS) fa riferimento alla cattura meccanica delle emissioni di CO₂ dalle fonti dei settori industriale ed energetico, come la produzione di cemento e acciaio, che avviene generalmente per mezzo di un filtro assorbente prima che le emissioni lascino i camini degli impianti industriali. La CO₂ liquida è quindi pompata in falde acquifere sotterranee per lo stoccaggio a lungo termine. Sviluppato originariamente dall'industria petrolifera per recuperare le riserve residue di petrolio, pompando gas pressurizzato in pozzi vuoti, il CCS non è al momento economicamente conveniente e i vari impianti sperimentali e operativi vivono grazie a incentivi statali. Se utilizzato come tecnica di recupero di petrolio, il CCS potrebbe promuovere un ulteriore sfruttamento del petrolio. La capacità delle tecnologie CCS di sequestrare in modo permanente il carbonio è ampiamente dibattuta. Il carbonio catturato potrebbe essere rilasciato in atmosfera per molte ragioni: costruzione difettosa degli impianti, terremoti o altri movimenti sotterranei. A queste concentrazioni, la CO₂ è molto tossica per la vita animale e vegetale (Selosse, Ricci, 2017).

Una variante del CCS è il CCUS (Carbon capture, utilisation and storage). L'idea alla base del CCUS è che la CO₂ catturata, sia dai processi industriali sia direttamente dall'atmosfera, possa essere utilizzata come materia prima per la produzione industriale, in teoria stoccando la CO₂ in manufatti. Un esempio di CCUS è produrre materiali di qualità e a basso costo da impiegare in edilizia e nella cantieristica stradale come sottofondi o manti stradali o materiali da costruzione a base biologica, come il legno, che hanno un'importante funzione nello stoccaggio di carbonio e che può essere estesa oltre il ciclo di vita dell'edificio grazie alla facilità di essere riutilizzato senza perdere il contenuto di carbonio. Altri esempi sono l'accrescimento delle alghe, la cui massa biologica è impiegata poi per la produzione di biocarburanti, o il processo di mineralizzazione della CO₂ per reazione con matrici contenenti metalli alcalino-terrosi al

fine di produrre carbonati praticamente insolubili in acqua e quindi chimicamente stabili. Questo processo, detto di carbonatazione, può essere realizzato impiegando sia minerali puri sia di scarto, nonché residui solidi alcalini derivanti da lavorazioni industriali di tecnologia varia.

La CO₂ così catturata può portare all'ottenimento di materiale inerte utile nel settore delle costruzioni o può essere utilizzata come reagente per la produzione di polimeri, in particolare policarbonato con proprietà tecnologiche innovative rispetto al materiale esistente, o anche per le tecnologie di stoccaggio dell'energia che successivamente trasforma la CO₂ in metanolo, un composto liquido e di facile gestione e trasporto che trova largo impiego come semilavorato dell'industria chimica e direttamente come combustibile.

Una varietà di materie plastiche può essere prodotta dalla biomassa o dalla CO₂ catturata che può essere utilizzata per produrre policarbonati, poliuretano e bioplastiche in genere.

Il CCUS ha un impatto simile a quello delle tecniche CCS, ma con un maggior rischio per le emissioni di CO₂, nei processi e dai prodotti finali. Il CCUS può anche avere un equilibrio energetico (e di emissioni) discutibile qualora venga considerata l'energia totale necessaria per il trasporto e lo stesso processo, nonché le considerazioni su *end-of-life*. In definitiva ci può essere un bilancio netto a favore delle emissioni di gas-serra piuttosto che di sequestro.

Per contribuire a mitigare l'impatto del settore dei trasporti è allo studio (ENI) una tecnologia che consente di catturare una parte della CO₂ generata dal motore direttamente sul veicolo immagazzinandola in forma liquida o compressa prima di poterla scaricare presso la stazione di servizio durante le normali operazioni di rifornimento.

Riferimenti bibliografici

- Alshayeb M. and Chang J. (2018), 'Variations of PV Panel Performance Installed over a Vegetated Roof and a Conventional Black Roof', *Energies* 11(5), 1-14
- Antonini E., Tucci F. (eds.) (2017), *Architettura, Città e Territorio verso la Green Eco-*

- nomy. La costruzione di un Manifesto della Green Economy per l'Architettura e la Città del Futuro* | *Architecture, City and Territory towards a Green Economy. Building a Manifesto of the Green Economy for the Architecture and the City of the Future*, Edizioni Ambiente, Milano
- ARUP (2019), *The City Water Resilience Approach*, available at https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/c/cwra_city_water_resilience_approach.pdf
- ARUP (2016a), *Circular Economy in the Built Environment*, available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>
- ARUP (2016b), *Word energy council. Prospective input into the World Energy Council Scenarios: 'Innovation Urban Energy*, available at <https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/p/wec-innovating-urban-energy-v3.pdf>
- ARUP (2015), *The future of energy*, available at <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/the-future-of-energy-2035>
- ASVIS (alleanza italiana, per lo sviluppo sostenibile) (2020), *Cibo, Città, Sostenibilità. Un tema strategico per l'Agenda 2030*, available at https://asvis.it/public/asvis2/files/Approfondimenti/PositionPaperGdL_Goal_2FINAL.pdf
- Augé M. (1993), *Nonluoghi. Introduzione a una antropologia della surmodernità*, Elèuthera editrice, Milano
- Bassi S., Carvahlo M., Doda B., Fankhauser S. (2017), *Decarbonising the European Union credibly, effectively and acceptably*, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and Centre for Climate Change Economics and Policy, London, available at <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2017/11/Decarbonising-the-European-Union-credibly-affordably-and-acceptably.pdf>
- Bionova, 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/wp-content/uploads/2018/12/Embodied_Carbon_Review_2018.pdf
- Bogenstätter U. (2000), 'Prediction and Optimization of Life-Cycle Costs in Early Design,' *Building Research & Information* 28 (5-6), 376-86
- C2ES (2017), *Microgrids: what every city should know*, available at <https://www.c2es.org/site/assets/uploads/2017/06/microgrids-what-every-city-should-know.pdf>
- C40 (2016), *Cool city, London*, available at https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/good_practice_briefings/images/4_C40_GPG_CCN.original.pdf?1456788797
- Chetia S., Maithel S. (2020), *Building Envelope, ENS and Cooler Homes*, https://www.beepindia.org/wp-content/uploads/2020/05/SEEM_GKSPL.pdf
- Chi Xu et al (2020), 'Future of the Human Climate Niche', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (21), 11350-11355
- CIEP (2017), *The transition of the residential heating system. The transition of the residential*

- heating system*, Tom Johanson, Hague, Netherlands, available at https://www.clingendaelenergy.com/inc/upload/files/CIEP_paper_2017-01_web.pdf
- Ciuffini M., Asperti S., Gentili V., Orsini R., Refrigeri L. (2020), *4° Rapporto nazionale sulla Sharing Mobility*, Osservatorio Nazionale Sharing Mobility della Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, available at <http://osservatoriosharingmobility.it/wp-content/uploads/2020/12/IV-rapporto-sharing-mobility.pdf>
- Cochran J., Bird L., Heeter J., Arent D. J. (2012), *Integrating Variable Renewable Energy in Electric Power Markets*, U.S. Department of Energy, available at <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/53732.pdf>
- COM (2020), 'Una strategia Dal produttore al consumatore per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente', Bruxelles, 20.5.2020, 381 final, available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0381&from=EN>
- COM (2019), Il Green Deal europeo. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni
- Cool Coalition, KCEP, SEforALL, CEA Consulting (2021), *Not passing on passive cooling: how philanthropy can help accelerate passive cooling solutions and their climate benefits*, available at <https://coolcoalition.org/not-passing-on-passive-cooling-how-philanthropy-can-help-accelerate-passive-cooling-solutions-and-their-climate-benefits/>
- De Matteis M., Norsa A. (2011), 'Strategie di rigenerazione urbana e progetti sullo spazio aperto per i quartieri pubblici', *L'Ufficio Tecnico* n° 6, Maggioli Editore, Milano
- de Zeeuw H., Drechsel P. (eds) (2015), *Cities and Agriculture: Developing Resilient Food Systems*, Earthscan, New York
- Deboulet A., Lelévrier C. (2014) (a cura di). *Rénovations urbaines en Europe*, Presses universitaires de Rennes, Rennes
- Di Biagi P. (a cura di) (2009), *Città pubbliche – Linee guida per la riqualificazione urbana*, Bruno Mondadori, Milano
- Druot F., Vassal J. Lacaton A. (2007), *Plus: la vivienda colectiva, territorio de excepcion*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona
- EASAC (European Academies Science Advisory Council) (2019), *Decarbonisation of transport: options and challenges*, Schaefer Druck und Verlag GmbH, Teutschenthal, available at https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Decarbonisation_of_Transport/EASAC_Decarbonisation_of_Transport_FINAL_March_2019.pdf
- EC (European Commission) (2021), 'Legislative train schedule. Fit for 55 Package under the European Green Deal', available at <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/package-fit-for-55>
- EC (European Commission) (2018), 'Batteries a major opportunity for a sustainable society', available at: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/ki0417441enn.en_.pdf

- EEA (2021a), 'Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction', available at <https://www.eea.europa.eu/publications/nature-based-solutions-in-europe>
- EEA (2021b), 'Urban sustainability in Europe – opportunities for challenging times', available at <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-sustainability-in-europe>
- EEA (2017), 'Green infrastructure and flood management. Promoting cost-efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions', EEA Report No 14, available at <https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-flood-management>
- EEA/FOEN (Swiss Federal Office for the Environment) (2016), 'Urban Sprawl in Europe', EEA Report No 11, Luxembourg, available at <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-sprawl-in-europe>
- EIT Climate KIC (2020), 'Annual report 2019', available at <https://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2020/04/EIT-Climate-KIC-Annual-Report-2019-web.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment, SUN (2015), *Growth Within: A circular economy vision for a competitive Europe*, available at https://www.mckinsey.de/sites/mck_files/files/growth_within_report_circular_economy_in_europe.pdf.
- ENEA, INEC, ACR+, European Environmental Bureau, ECOPRENEUR (2020), 'European Circular Economy Stakeholder Platform (ECESP) Coordination Group - Leadership Group on Construction, Orientation paper', available at <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/leadership-group-construction.pdf>.
- ESMAP (2020), *Primer for Cool Cities: Reducing Excessive Urban Heat – With a Focus on Passive Measures*. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP); Knowledge series 03, World Bank Group, Washington, D.C, available at <http://documents.worldbank.org/curated/en/605601595393390081/Primer-for-Cool-Cities-Reducing-Excessive-Urban-Heat-With-a-Focus-on-Passive-Measures>
- Evans M., Roshchanka V., Graham P. (2017), 'An International Survey of Building Energy Codes and Their Implementation,' *Journal of Cleaner Production* 158 (August), 382-89
- Ferrini F., et al. (2020), 'Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context', *Sustainability*, 12 (10), 1-22
- Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (2020), *Italy Outlook 2019: Verso la decarbonizzazione dell'economia, Italia*, available at https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/italyoutlook2019_Verso-la-decarbonizzazione-delleconomia.pdf.
- Ford B., Hewitt M. (1996), 'Cooling without Air Conditioning – Lessons from India,' *Architectural Research Quarterly*, 1(4), 60-69
- Gabrielli P., et al. (2020), 'The Role of Carbon Capture and Utilization, Carbon Capture and Storage, and Biomass to Enable a NetZero-CO2 Emissions Chemical Industry', *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59 (15), 7033-7045

- GBC Italia (2020), 'Linee guida per la progettazione circolare di edifici', available at https://www.gbctalia.org/documents/20182/565254/GBC+Italia_Linee+Guida+Economia+Circolare.pdf
- GBC Italia (2019), 'Economia circolare in edilizia', available at https://gbctalia.org/documents/20182/565254/GBC+Italia_Position+Paper+EC_04.pdf
- CCCA (2012), 'A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements', available at https://www.c40knowledgehub.org/s/article/A-Practical-Guide-to-Cool-Roofs-and-Cool-Pavements?language=en_US
- Gehl J., Koch J. (2006), *Life between buildings: using public space*, The danish architectural press, Copenhagen
- H2IT Associazione Italiana idrogeno e celle a combustibile (2019), 'Piano nazionale mobilità idrogeno Italia', available at https://www.h2it.it/wp-content/uploads/2019/12/Piano-Nazionale_Mobilita-Idrogeno_integrale_2019_FINALE.pdf
- Harvard University (2020) 'COVID-19 PM2.5. A national study on long-term exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States', available at <https://projects.iq.harvard.edu/covid-pm>
- Heikkinen P., Kaufmann H., Winter S., Larsen K. (2010), 'TES EnergyFaçade—prefabricated timber-based building system for improving the energy efficiency of the building envelope', available at <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1355420/287313.pdf>
- Huston S. (2018), *Smart Urban Regeneration: Visions, Institutions and Mechanisms for Real Estate*, Routledge, London
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2021a), 'Transport could burn up the EU's entire carbon budget', available at <https://theicct.org/blog/staff/eu-carbon-budget-apr2021>
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2021b), 'The role of the European Union's vehicle CO2 standards in achieving the European Green Deal', available at <https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-vehicle-standards-green-deal-mar21.pdf>
- IEA (2021), 'Global EV outlook 2021', available at <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcba637/GlobalEVOutlook2021.pdf>
- IEA (2018), 'The Future of Cooling', available at <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>
- IEA (2017), 'Energy Technology Perspectives 2017', available at <https://www.iea.org/reports/energytechnologyperspectives-2017>
- IPCC (2018), 'Global warming of 1.5 °C', available at <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IRENA (2019a), 'Solutions to integrate high shares of variable renewable energy (Report to the G20 Energy Transitions Working Group (ETWG))', International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, available at https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_G20_grid_integration_2019.pdf
- IRENA (2019b), 'Renewable Power Generation Costs in 2018', International Renew-

- able Energy Agency, Abu Dhabi. available at https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf
- IRENA (2017), 'E Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030', International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. available at https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf
- ISPRA (2021), 'Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici', available at <https://www.isprambiente.gov.it/it/events/presentazione-del-rapporto-consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2021>
- ISPRA (2019), 'Rapporto rifiuti urbani', available at https://www.isprambiente.gov.it/files2019/pubblicazioni/rapporti/RapportoRifiutiUrbani_VersioneIntegrata-313_2019.pdf
- ITDP (Institute for Transportation & Development Policy) (2017), *Three revolutions in urban transportation*, available at <https://www.itdp.org/publication/3rs-in-urban-transport/>
- Keena et al. (2020), *Transitioning to a Circular Built Future in the Global South with Low-Carbon Bio-Based Renewable Materials*, Forest Policy and Economics Vol 110, January, 101872 available at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934118303708>
- Kovacic I., Zoller V. (2015), 'Building Life Cycle Optimization Tools for Early Design Phases,' *Energy*, 92(3), 409–19
- Kuittinen M., Zernicke C., Slabik S., & Hafner A. (2021), 'How can carbon be stored in the built environment? A review of potential options', *Architectural science review*, available at <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00038628.2021.1896471>
- Lovell S. T. and Johnston D. M. (2009), 'Designing landscapes for performance based on emerging principles in landscape ecology', *Ecology and Society*, 14(1), 44
- Lucan J. (2012), *Où va la ville aujourd'hui? Formes urbaines et mixités*, Éditions de la Villette, Paris
- Maithel S. et al. (2020), *Developing Cost-Effective and Low-Carbon Options to Meet India's Space Cooling Demand in Urban Residential Buildings Through 2050*, India Energy Transportation Platform
- Masboungi A. (a cura di) (2005), *Régénérer les grands ensemble*, Éditions De la Villette et DGUHC, Paris
- MATTM (2017), 'Verso un modello di economia circolare per l'Italia', available at https://www.labparlamento.it/wp-content/uploads/2017/12/Verso-un-modello-di-Economia-Circolare_MinAmbiente.pdf
- McDonald R. et al. (2016), 'Planting Healthy Air', *The Nature Conservancy*, available at https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/20160825_PHA_Report_Final.pdf

- McKinsey and Company (2016), 'Accelerating the energy transition: cost or opportunity?', McKinsey & Company, Amsterdam, Netherlands, available at <http://www.nvde.nl/wp-content/uploads/2016/09/Accelerating-the-energy-transition-McKinsey.pdf>
- McMahon J.E., Price S.K. (2011), *Water and Energy Interactions*, Lawrence Berkley National Laboratory, Berkeley, CA
- Melotto B., Pierini O. S. (2012), *Housing primer: le forme della residenza nella città contemporanea*. Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- MISE (2019), 'Piano Nazionale integrato per l'energia e il clima – PNIEC', available at https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf
- Moreno C. (2020), *Dorit de citè*, Humensis, Paris
- NOAA (National Centers for Environmental Information) (2020), 'State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019', available at <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>
- Park J. et al.(2020), 'Heat and Learning,' *American Economic Journal: Economic Policy*, 12 (2), 306-339
- PEEB (Programme for Energy Efficiency in Building) (2020), 'Better Design for Cool Buildings', available at <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/publications/better-design-for-cool-buildings-how-improved-building-design-can-reduce-the-massive-need-for-space-cooling-in-hot-climates>
- Porta S. (2002) , *Dancing streets: scena pubblica urbana e vita sociale*, UNICOPLI, Milano.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2021), 'Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)-#NextGenerationItalia', Roma, available at <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
- Rambert F., Colombet M., Carboni C. (a cura di) (2015), *Un bâtiment, combien de vies? La transformation comme acte de création*, Silvana Editore, Milano
- Reale L. (2008), *Densità, città, residenza. Tecniche di densificazione e strategie anti-sprawl*, Gangemi Editore, Roma
- REN21 (2019), 'Renewables 2019 Global Status Report', REN21, Paris, available at https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf
- Roberts D. (2020), 'Sustainable Building: The Hottest New Material Is, Uh, Wood', available at <https://www.vox.com/energy-and-environment/2020/1/15/21058051/climate-change-building-materials-masstimber-crosslaminated-clt>
- Salomoni M. T. (2017), 'Gli alberi e la città', REBUS (Renovation of public buildings and urban spaces, available at https://territorio.regione.emilia-romagna.it/urbanistica/pubblicazioni/rebus_07-salomoni.pdf@@download/file/REBUS_07_Salomoni.pdf
- Santo R., Palmer A., Kim B. (2016), 'Vacant Lots to Vibrant Plots: A Review of the Benefits and Limitations of Urban Agriculture', Johns Hopkins Center for a Livable Future, available at <https://clf.jhsph.edu/sites/default/files/2019-01/vacant-lots-to-vibrant-plots.pdf>

- Selosse S., Ricci O. (2017), 'Carbon capture and storage: Lessons from a storage potential and localization analysis', *Applied Energy*, 188(15), 32-44
- SuM4All (Sustainable Mobility for All) (2021), 'Sustainable Mobility: Policy Making for Data Sharing', available at <https://www.wbcsd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Transforming-Urban-Mobility/Digitalization-and-Data-in-Urban-Mobility/Policy-to-Enable-Data-Sharing/Resources/Sustainable-mobility-Policy-making-for-data-sharing>
- Takane Y. et al. (2019), 'Urban Warming and Future Air-Conditioning Use in an Asian Megacity: Importance of Positive Feedback,' *Npj Climate and Atmospheric Science* 2,(1), 1-12
- Tucci F. (2018), *Green Building and Dwelling*, Altralinea, Firenze
- Tucci F. (2014), *Involucro, clima, energia. Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale*, Altralinea, Firenze
- UNEP (2020), '2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector' Nairobi, available at <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/34572>
- Viljoen A., Bohn K., Howe J. (2005), *CPULs: Continuously Productive Urban Landscapes*, Elsevier, Oxford
- Virag D., Wiedenhofer D., Haas W., Haberl H., Kalt G., Krausmann F. (2021), 'The stock-flow-service nexus of personal mobility in an urban context: Vienna, Austria', *Environmental Development*, 41, 1-17
- Voss K, Musall E, Lichtmeß M, (2011) From low energy to net zero energy buildings: status and perspectives, *J Green Build.*, 6(1), 46-57
- WEF (World Economic Forum) (2021), 'Net Zero Carbon Cities An Integrated Approach', available at http://www3.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Carbon_Cities_An_Integrated_Approach_2021.pdf
- WEF (World Economic Forum), McKinsey & Company (2020), 'Forging Ahead: A Materials Roadmap for the Zero-Carbon Car', available at <https://www.weforum.org/reports/forging-ahead-a-materials-roadmap-for-the-zero-carbon-car>
- WEF (World Economic Forum)/SYSTEMIQ (2021), 'Paving the way: Eu Policy Action for Automotive Circularity', available at http://www3.weforum.org/docs/WEF_Circular_Cars_Initiative_Paving_the_Way_2021.pdf

Abstract

Climate mitigation is implemented with the punctual elaboration of a project concerning a peripheral area of Rome. The site is analysed on the basis of the historical-social profile, building types and urban and green infrastructures, as well as of the system of services and mobility.

The objectives of the experimentation on the entire energy and bioclimatic cycle are then indicated and the results of the research activity for the use of passive environmental technology systems for the regeneration of architecture and urban districts, developed with the support of predictive calculation and simulation models, are illustrated

In order to assess the effects of design choices also in terms of CO₂ emissions, analyses are conducted in the ex-ante and post-intervention situation. The system's ability to self-regulate and to better resist all factors altering the normal equilibrium are thus determined, increasing the quality of life with a progressively lower consumption of natural resources and ecological impact.

4. Il progetto della mitigazione climatica verso la neutralità carbonica: sperimentazioni applicate ad architetture e distretti urbani

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafosso, Marco Giampaolletti*, Lidia Maria Giannini**

4.1. Considerazioni di inquadramento

Trasformare e rigenerare le città e le aree urbane in organismi resilienti, sostenibili e flessibili costituiscono le linee di indirizzo riconosciute dalla comunità internazionale; il dibattito in corso coinvolge le autorità politiche e la società civile e rende necessario agire sulla qualità dell'abitare attraverso interventi di rigenerazione e riqualificazione di spazi urbani, intermedi e di prossimità per



Fig. 1: Vista 3D con individuazione dei quartieri ex IACP oggetto di sperimentazione.

* Assegnista di ricerca presso il Dipartimento PDTA della Sapienza Università di Roma, dottore di ricerca in Progettazione Tecnologica Ambientale, con master di II° in Environmental Technological Design, svolge la sua attività di ricerca nell'ambito delle strategie di mitigazione climatica.

** Dottoranda di ricerca presso il Dipartimento PDTA della Sapienza Università di Roma, con master di II° in Environmental Technological Design, svolge la sua attività di ricerca nell'ambito delle strategie di decarbonizzazione dei distretti urbani.

favorire l'integrazione sociale e supportare le micro attività locali, dove essenziale diventa la necessità di operare sugli aspetti connettivi e sul comportamento bioclimatico ed energetico degli aggregati edilizi, capaci di adattarsi ai sempre più frequenti cambiamenti climatici.

La qualità dell'abitare gli spazi urbani riveste una fondamentale importanza per accrescere l'adattamento e la mitigazione dei cambiamenti climatici, contribuendo, con adeguate misure strategiche, al processo di decarbonizzazione delle attività antropiche.

Le tecnologie sono ormai da tempo disponibili e sono state colaudate le buone pratiche per contrastare la crisi climatica e mitigare gli effetti generando un miglior benessere, percettivo ed economico, dei fruitori.

Le misure integrate di adattamento e mitigazione per contenere l'aumento della temperatura media globale entro 1,5 °C potrebbero evitare impatti più devastanti; tale obiettivo risulta però in netto ritardo rispetto ai programmi definiti nell'Accordo di Parigi del 2015.

Le città in massima parte non sono ancora pronte a misurarsi con gli effetti dei cambiamenti climatici che inevitabilmente e con sempre maggiore forza si abatteranno su di loro (NOAA, 2022).

Quali strategie dovranno adottare per contrastarli? Come potranno adattarsi e mitigare le sue conseguenze? A queste domande cerca

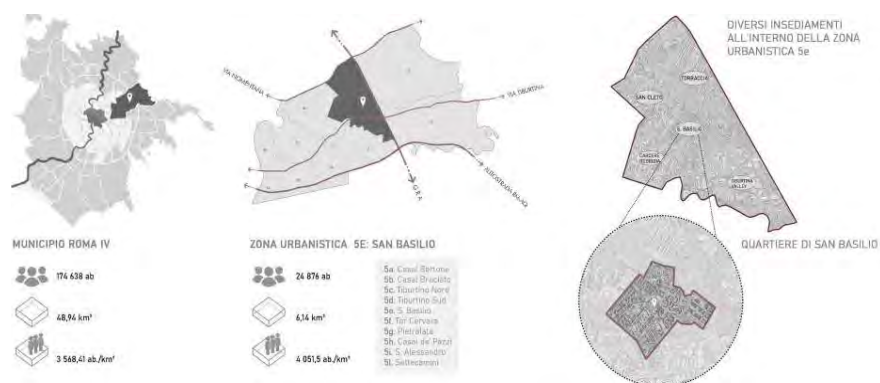


Fig. 2: Inquadramento delle aree oggetto di sperimentazione.

di rispondere la sperimentazione che investe un quartiere della periferia romana, tra i più problematici sul piano sociale e con molteplici inadeguatezze. Si è di fronte ad una storia classica di disegualtanze e degrado, un'area senza un autonomo sviluppo: assenza di industrie, nè terziario a eccezione di piccole attività commerciali e qualche bottega artigiana.

Di converso, il quartiere è pieno di verde e con la presenza di una diffusa agricoltura per lo più dedita all'autoconsumo. L'aria è inquinata solo dal traffico veicolare e dal riscaldamento da cui potrebbe dedursi una situazione in apparenza senza grandi interventi da programmare in vista del climate change. Ma è veramente così?

Quale futuro può essere disegnato?

Tra le misure adottabili possono essere annoverate il rimboschimento e la riforestazione urbana nonché le soluzioni tecnologiche ambientali, come, ad esempio, le *Natural Based Solution*, capaci di fornire strumenti in grado di mitigare i cambiamenti climatici e migliorare la qualità dell'abitare (Kuitten et al., 2021).

La strategia di incentivare azioni e soluzioni di green infrastructure rientra nel dibattito scientifico in merito allo sviluppo di metodologie e strumenti di divulgazione integrata volti alla sostenibilità delle trasformazioni urbane in un'ottica di *deep renovation* (Tucci, 2020).

La sperimentazione si avvale di una metodologia collaudata in altri contesti che si valuta possa fornire utili indicazioni anche in questa circostanza. Si tratta di una metodologia che mira a cogliere l'essenza del problema con un numero relativamente ristretto di indicatori a differenza di complesse carte di rischio e a valutarne la portata degli interventi (Maksimovic, 2018).

Tale metodologia non è legata ad uno specifico campo di indagine ma tesa a tesaurizzare le esperienze di studio sul territorio ed è aperta alle implementazioni frutto dell'avanzamento delle conoscenze scientifiche e delle innovazioni tecnologiche.

4.2. Quadro conoscitivo dell'area di intervento

San Basilio è un quartiere del quadrante est romano che si colloca nei pressi del raccordo anulare fra Via Nomentana e Via Tiburtina, uno dei primi insediamenti interessati dallo spostamento della popolazione dal centro della città e successivamente sviluppatosi grazie ai programmi di edilizia popolare oltre che a nuclei spontanei per lo più abusivi.

Nell'insieme si ha un paesaggio discontinuo con parti urbane collegate, aree libere in attesa di edificazione e infrastrutture mai completate. In ogni caso una parte importante di superficie è sostanzialmente a verde o sotto forma di orti e di produzione agricola, che rifunzionalizzata e riorganizzata può costituire la chiave di volta nell'ottica di una riconsiderazione energetica e di assorbimento di CO₂ che va oltre il bilancio dell'area e coinvolge parti più estese della città (Tucci, Spósito, 2020).

Sul piano abitativo, al suo interno sono riconoscibili distinte aree:

- il complesso UNRRA CASAS (*United Nations Relief Remabilitation Administration*-Comitato assistenza ai senza tetto) utilizzando i fondi americani (1951-1955) costituito 180 alloggi unifamiliari a schiera o a blocco di quattro abitazioni. Ogni appartamento ha un ingresso indipendente e sono dotati di 150-200 mq di area verde. Molto curati sono gli spazi aperti fra una casa e l'altra collegati da un sistema viario interno con al centro un'area di servizi collettivi: negozi, asilo nido e centro sociale;

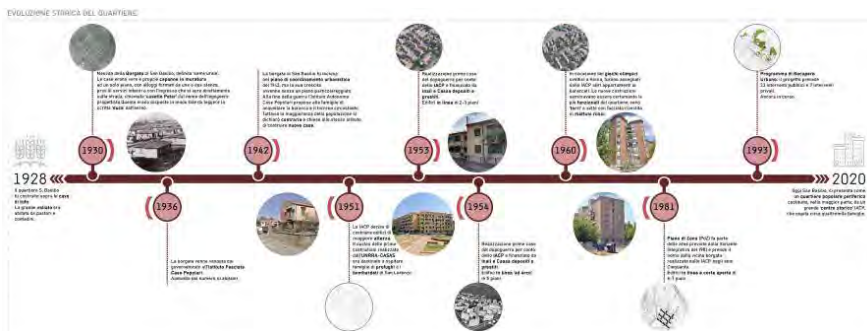


Fig. 3: Evoluzione storica del quartiere di San Basilio.

- insediamento IACP (1951-1956). I primi sono costituiti da edifici a due –tre piani mentre l’area di completamento è formata da edifici in linea di cinque piani con cortili interni a verde, giochi per bambini e aree di sosta;
- piano di Zona 2V San Basilio (1981-1988), formato da 18 edifici in linea di 6/7 piani con una superficie di 255.000 mq con aree verdi e infrastrutture tuttora incompiute.

In totale esse occupano una superficie di 614 ettari in cui vivono 10.545 famiglie e 27.152 residenti (2018). Il quartiere è caratterizzato da una carenza cronica di servizi pubblici e privati e da una limitata offerta culturale. La rete di trasporto pubblico locale in termini di lunghezza della rete e frequenza dei passaggi registra un livello di accessibilità sotto la media e non può contare su stazioni della rete in ferro. Nel complesso si evidenziano numerose criticità, espressione di profonde disequaglianza e diffuso disagio.

L’area oggetto di studio, costituita dalla ‘Zona Urbanistica 5e - San Basilio’ e dal ‘PdZ 02-V San Basilio’, presenta una superficie complessiva di 6,12 Km² e una densità di 4.051,4 abitanti per Km². L’area nell’insieme rappresenta il 12,5% del Municipio IV (48,92 Km²) il quale presenta una densità quasi doppia rispetto la media del Comune di Roma ed è situata nel perimetro Nord-Ovest del GRA.

Il quartiere ospita 4.680 alloggi di edilizia residenziale popolare di cui il 70% di proprietà dell’ATER (ex IACP) e il restante 30% di Roma Capitale. L’area sorge in un’area compresa tra la Via Nomentana e la Via Tiburtina, all’altezza della strada chiamata Via del Casale di San Basilio; il nome risale alla nomenclatura del Casale di San Basilio, risalente al XIII Secolo e così chiamato perchè sorgeva su un fondo di proprietà della Chiesa di San Basilio.

Considerato il trentesimo quartiere di Roma, confina con i quartieri Settecamini, Tor Cervara, Casal Boccone, Ponte Mammolo e Casal de’ Pazzi; costruito sopra un’area destinata alla estrazione di tufo ed immerso in una sorta di grande vallata, alla fine degli anni ‘30 l’area

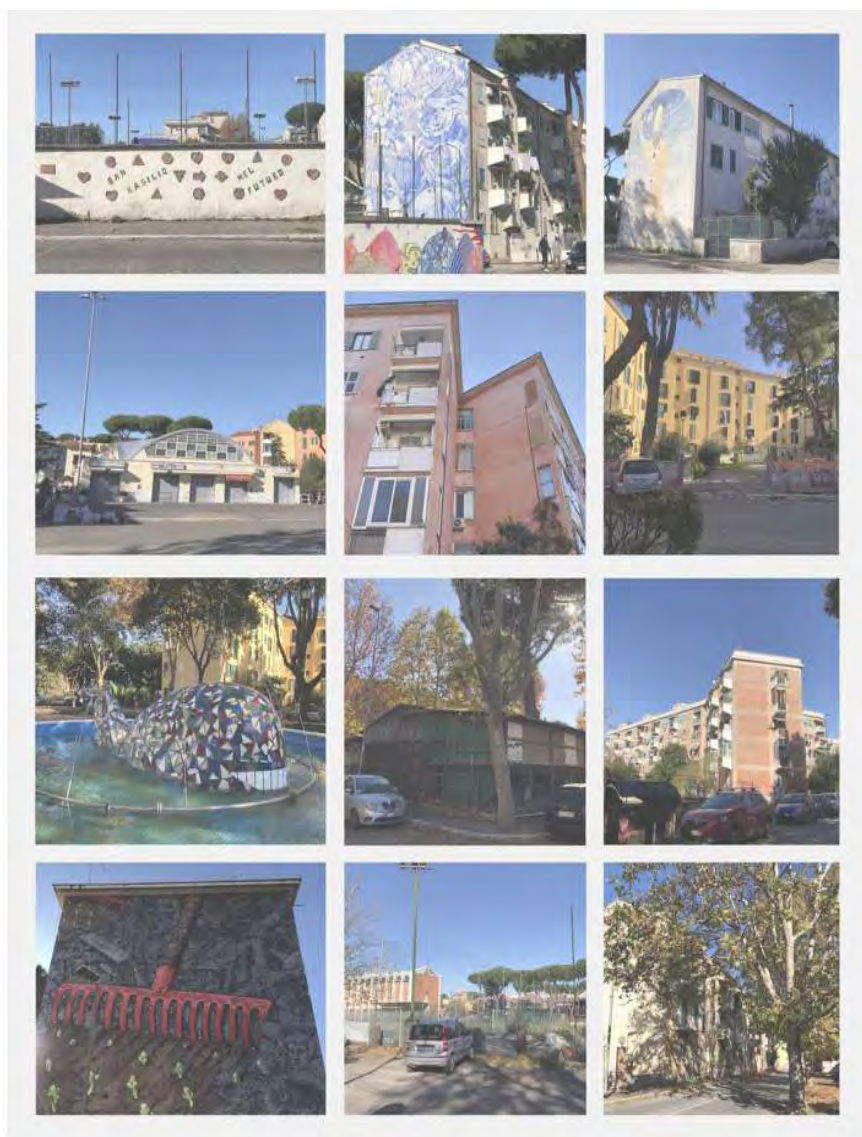


Fig. 4: Documentazione fotografica del quartiere di San Basilio.

ospitava prevalentemente pastori e contadini che, privi di sufficienti mezzi di sostentamento, crearono i primi aggregati edilizi da materiali di scarto e piccoli pezzi di trucioli di legno. Sorta come borgata storica governatoriale dall'approvazione del T.U. del 28/04/1938 sull'edilizia economica e popolare, l'area di San Basilio fu tra quelle che nel secon-

do dopoguerra vennero interessate da opere di demolizioni e ricostruzioni per soddisfare le necessità delle popolazioni più disagiate. Nella zona, nel periodo romano, sorgevano numerose ville, successivamente decadute o talvolta tramutate in casali, come nel caso appunto del Casale di San Basilio o della torre del Coazzo. Rimasta per secoli una zona principalmente agricola (area appartenente al fondo del Capitolo di Santa Maria Maggiore), negli anni '30 fu oggetto di un grande cambiamento urbanistico.

Nel 1940 nel quartiere sorse una delle borgate ufficiali volte ad ospitare i Romani che lasciavano gli insediamenti del centro della città. I primissimi manufatti abitativi, estremamente umili, erano noti come 'Casette Pater', dal nome dell'ingegnere che le aveva progettate.

A seguito di un importante finanziamento concesso dell'ente delle Nazioni Unite per le persone rimaste senza casa durante la Seconda Guerra Mondiale, l'UNRRA CASAS (*United Nations Relief and Rehabilitation Administration*) ente preposto alla ricostruzione abitativa, nel 1951 bandisce in concorso di progettazione per l'intero quartiere di San Basilio, vinto *ex aequo* dagli architetti Mario Fiorentino e Serena Boselli. La borgata fu quindi ampliata e rinnovata e le casette Pater abbattute.

Il progetto originario di Fiorentino, del 1953, prevedeva la composizione degli 'alloggi unifamiliari a schiera su due livelli e un impianto autonomo di quattro grandi isolati accentrati attorno alla piazzetta ed ai servizi sociali' (Mattogno, Romano 2019), in questi alloggi andarono ad abitare circa 900 persone.

Contestualmente al concorso dell'Unrra Casas, tra il 1953 e il 1956 furono costruiti dallo IACP (Istituto Autonomo Case Popolari), con mutui concessi dalla Cassa depositi e prestiti e dall'INAIL (Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro), 13 lotti con edifici a due-tre piani fuori terra per ospitare in totale 108 alloggi.

Tra la fine degli anni '50 e i primi anni '60 San Basilio ha continuato ad espandersi grazie alla costruzione di alloggi, ancora una volta ad opera dello IACP, 'con i finanziamenti statali della legge 640 e della

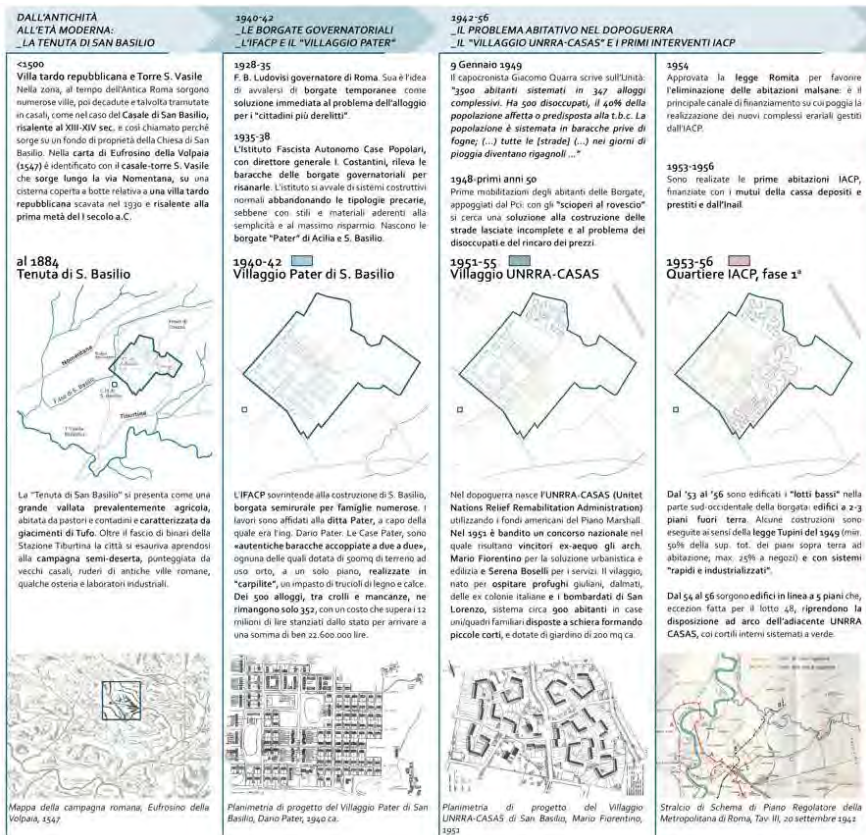


Fig. 5: Evoluzione storica del quartiere (dal 1884 al 1956).

legge 408: grazie a questi finanziamenti nacquero una serie di fabbricati a forma di Y' (Mattogno, Romano, 2019), con un numero variabile di piani tra i quattro e i sei e le otto torri a otto piani, oltre che a cinque palazzine che vennero costruite per conto dell'INA-Casa (Istituto Nazionale delle Assicurazioni), con finanziamenti della Cassa depositi e prestiti per gli impiegati del Ministero del Tesoro.

L'ultimo nucleo del quartiere è rappresentato dal Piano di Zona '2V-San Basilio', quale variante al primo PEEP (Piano per l'Edilizia Economica e Popolare), con la realizzazione di edifici in linea di 7 piani per un insediamento di circa 2500 abitanti.

La stratificazione subita da tale quartiere e che continua a subire dagli anni del dopoguerra ad oggi, ha fatto sì che l'area si alterasse,

4. Il progetto della mitigazione climatica verso la neutralità carbonica

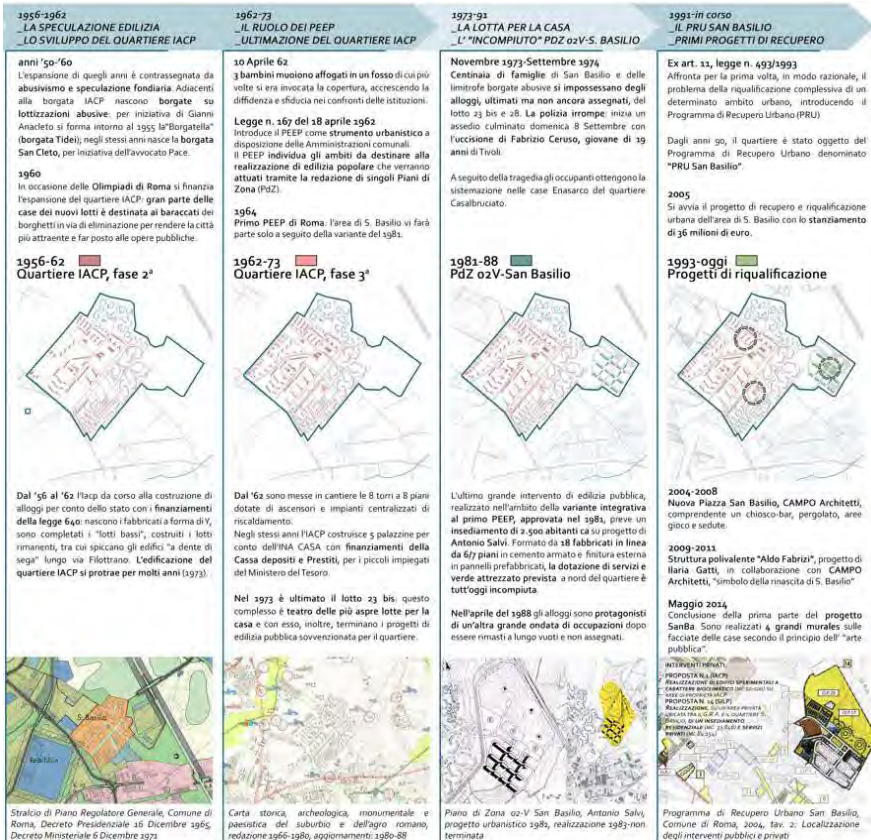


Fig. 6: Evoluzione storica del quartiere (dal 1956 ad oggi).

perdendo la sua storica identità creando, contestualmente, un sistema urbano disgregato (De Matteis et al., 2018).

- Profilo demografico e socio-economico

Oggi il PdZ di San Basilio risulta essere un quartiere popolare periferico costituito dal nucleo centrale IACP che ospita circa 400 famiglie e da una zona periferica costituita da costruzioni private dove vivono circa 1500 famiglie. Negli ultimi anni l'indice di affollamento si è drasticamente ridotto e le giovani famiglie di San Basilio cercano altre le abitazioni in quanto tale quartiere è senza mercato e le abi-

tazioni sono quasi tutte dell'odierna ATER (Azienda territoriale per l'edilizia residenziale del comune di Roma.). Nell'ultimo decennio, dal 2012 al 2022, si riscontra inoltre un invecchiamento della popolazione; aumenta la fascia con età compresa tra i 65 e i 74 anni (+0.65%) con una età media pari a 49,9 anni (+0.8 rispetto al 2013).

Il quartiere presenta inoltre una forte promiscuità sociale, con una densità edificata compresa tra il 10 e il 15%, una densità abitativa <2000 ab/kmq e un valore economico delle abitazioni inferiore a 2400€/mq (ISTAT, 2021). Gli occupati sono il 38,4% della popolazione, i disoccupati e coloro che sono in cerca di prima occupazione sono il 10,7%, una percentuale superiore a quella del municipio e a quella romana (9,5%).

Dal 1993 è in corso un Accordo di Programma tra la Regione Lazio e il Comune di Roma attraverso il Programma di Recupero Urbano San Basilio (PRU) con il quale sono stati avviati numerosi progetti di riqualificazione e rigenerazione urbana e che vede Piazza Recanati cuore dell'intervento; il vecchio campo da calcio ha lasciato spazio ad un centro culturale polivalente, il centro culturale 'Aldo Fabrizi', mentre tra San Basilio e Torraccia nascerà un nuovo insediamento urbano, con centro commerciale, un nuovo sistema viario di collegamento tra i due quartieri e 40.000 metri cubi di quest'area, che diverranno di proprietà comunale, saranno destinati ad uso residenziale. Inoltre, sempre nei contenuti del PRU, rientrano anche quattro aree da riqualificare e classificate secondo il PRG all'interno della 'Città della Trasformazione' come Ambiti a trasformazione particolareggiata; tra i progetti spicca la realizzazione di un edificio sperimentale per case plurifamiliari a carattere bioclimatico, in aree di proprietà dell'ATER (Dell'Aira et al., 2019).

Si vuole ricordare infine il progetto SB_HOUSE, programma operativo per residenze sperimentali, il quale prevede la ricucitura urbana di lotti rimasti ineditati nel quartiere, con costruzioni connotate dalla forte innovazione tecnologica per il risparmio energetico e l'utilizzo di materiali costruttivi eco-sostenibili.

- Sistema dei tessuti urbani e tipologie edilizie

L'analisi dei tessuti del Municipio IV ha lo scopo di inquadrare le diverse tipologie edilizie in relazione alla Città consolidata (parte della città esistente stabilmente configurata e definita nelle sue caratteristiche morfologiche e tipologiche, alla L. 1931/1962), alla Città da ristrutturare (parte della città esistente solo parzialmente configurata e scarsamente definita nelle sue caratteristiche di impianto, morfologiche e di tipologia edilizia) alla Città della trasformazione (parte di città di nuovo impianto). Il quartiere di San Basilio presenta tessuti urbani asseverabili alla prima tipologia analizzata.

Il comparto di progetto nel quartiere di San Basilio è caratterizzato, nello specifico, da tessuti di espansione novecentesca a tipologia edilizia libera, ovvero tessuti formati da edifici definiti da parametri quantitativi secondo le prescrizioni del PRG del 1962. Tale tipologia

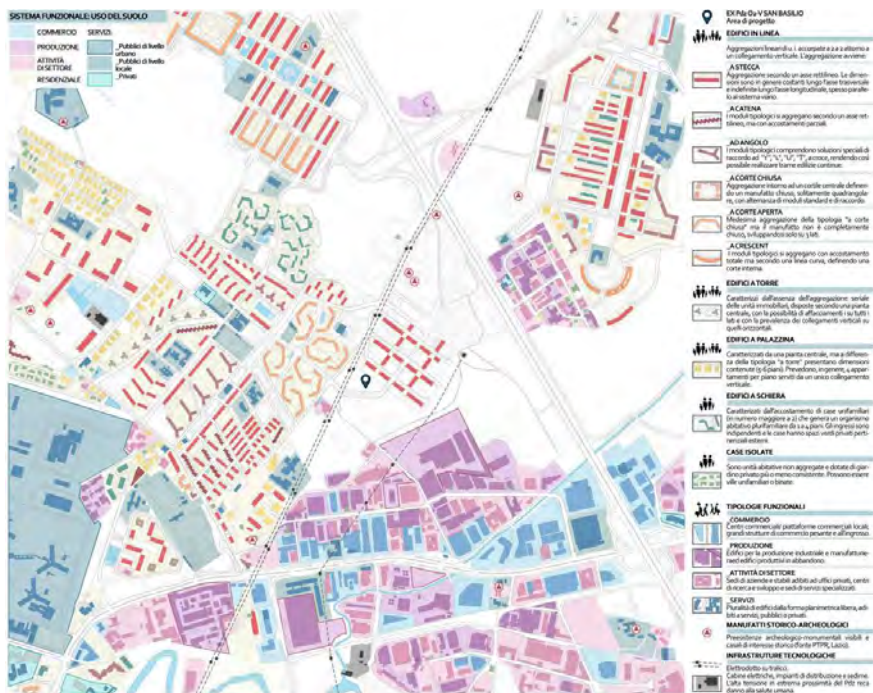


Fig. 7: Sistema dei tessuti urbani presenti nelle due aree oggetto di sperimentazione.



Fig. 8: Analisi delle tipologie edilizie riscontrate nelle due aree oggetto di sperimentazione.

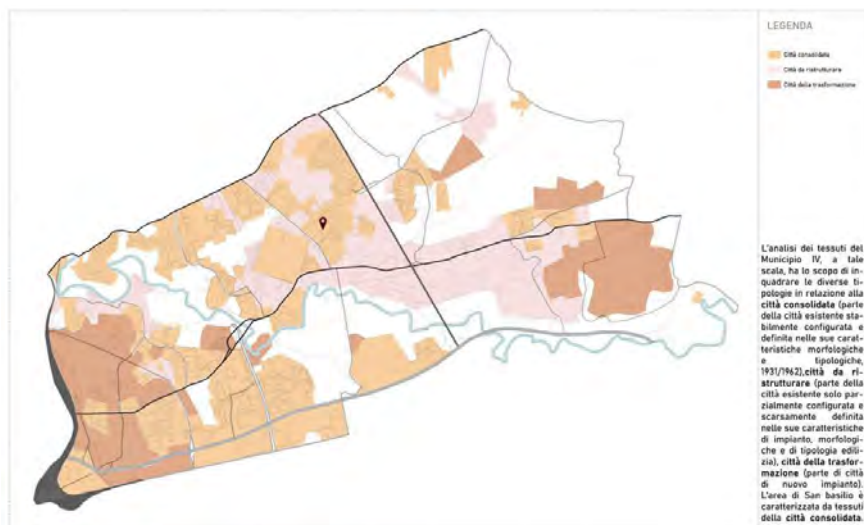


Fig. 9: Inquadramento dei tessuti urbanistici nel Municipio IV del Comune di Roma.

non risulta essere quindi definita dalle norme di piano, ma derivata dalle scelte degli operatori pubblici e privati. Negli ultimi anni l'indice di affollamento si è drasticamente ridotto, i giovani nuclei familiari del quartiere stesso cercano altrove le abitazioni a causa di un forte deficit di servizi primari, nonché di un complessivo degrado degli spazi aperti, condizioni che hanno generato, nel tempo, una riduzione del valore immobiliare degli alloggi, favorendo spesso l'instaurarsi di condizioni di microcriminalità organizzata. Le tipologie edilizie che caratterizzano nello specifico il quartiere di San Basilio sono principalmente sintetizzate in:

- Edifici plurifamiliari a stecca, con altezze omogenee di max. 7 piani e conformazione edilizia basata principalmente a manufatti edilizi prefabbricati 'a cellula chiusa' e sovrapposti uno sopra l'altro, con solai realizzati in lastre predalles, definendo con cadenza uniforme i setti all'interno delle tipologie di appartamento presenti.

Da una analisi edilizia in loco, risulta essere la conformazione maggiormente presente all'interno dell'area, tra i quali si avverano gli edifici a forma di 'Y' (59%) con una prevalenza media di 3 piani lungo Via Recanati e via Casale di San Basilio e di 8 piani lungo Via Filotrano;

- Edifici plurifamiliari a torre, presentando, nelle loro diverse forme, elementi comuni che concorrono alla definizione della tipologia costruttiva; è presente un isolamento termico su tutti i fronti, almeno un elemento distributivo verticale è dotato di corpo scala e ascensore, con uno sviluppo solitamente considerato in altezza;
- Edifici plurifamiliari lineari a corte aperta, caratterizzati da aggregati lineari di unità immobiliari a due a due intorno un collegamento verticale. La densità di tale conformazione diminuisce in funzione del numero di piani serviti, che varia tra i sei e i sette.

L'analisi edilizia eseguita in loco mostra come sia la tipologia meno presente (9%);

- Edificio unifamiliare a schiera, composto da più cellule/alloggi unifamiliari aggregati tra loro. La soluzione prevede che ogni cellula disponga di due spazi aperti, uno anteriore (giardino) e uno posteriore (servizio). Le singole cellule sono costituite da alloggi unifamiliari articolati su 1 o 2 livelli.

L'analisi sociale legata alle condizioni abitative nel quartiere determina come attualmente gli alloggi risultano essere di un taglio medio tra i 75-80 mq, per lo più in locazione da nuclei unitari, costituiti principalmente da anziani, dunque ben più grandi rispetto agli standard previsti per gli alloggi ERP, segno di quanto sia necessario intervenire con strategie di ridimensionamento degli alloggi per rispondere concretamente all'emergenza abitativa che colpisce la Capitale. Tra gli strumenti validi, dal punto di vista tecnologico, per adeguare il quartiere alle richieste degli abitanti, è quella di adottare sistemi tecnologici modulari, adattabili e ripetibili che garantiscano una flessibilità degli spazi efficace nel rispetto delle mutevoli esigenze del vivere contemporaneo, con la possibilità di differenziare gli ambienti in base alle necessità, contribuendo, con tali pratiche, alla decarbonizzazione del distretto urbano (Tucci, 2018a).

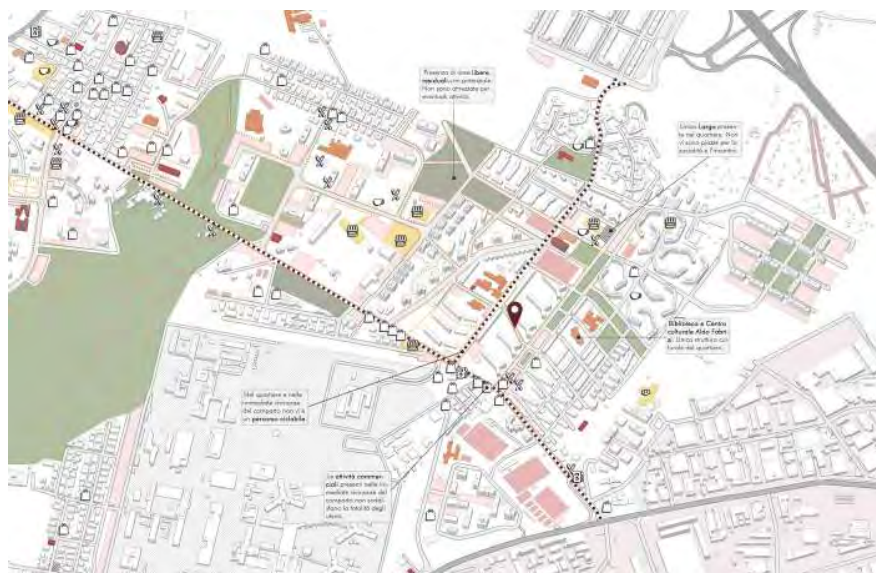


Fig. 11: Sistema delle funzioni presenti nelle due aree oggetto di sperimentazione.

ne finanziate nei progetti di rigenerazione urbana (P.R.G. all'interno della 'Città della trasformazione' e regolamentata dal Programma di Recupero di San Basilio).

- Sistema dei servizi e delle funzioni

L'analisi delle dotazioni territoriali evidenzia come i servizi primari e le attività commerciali non siano localizzati in modo omogeneo ma concentrati in determinati punti. A ridosso del comparto edilizio sono presenti alcune attività, insufficienti alle esigenze del distretto e da qui la definizione di quartiere dormitorio. Lungo Via del Casale di San Basilio sono presenti bar, rivendite di materiale edile, ferramenta e stazioni di servizio, un supermercato e un bar, quattro punti di ristorazione, tre scuole e una chiesa, nella parte adiacente e retrostante la sede viaria una prevalenza di edifici residenziali.

Dalle interviste eseguite nell'area emerge la preoccupazione dei commercianti, i quali chiedono una riqualificazione degli spazi aper-

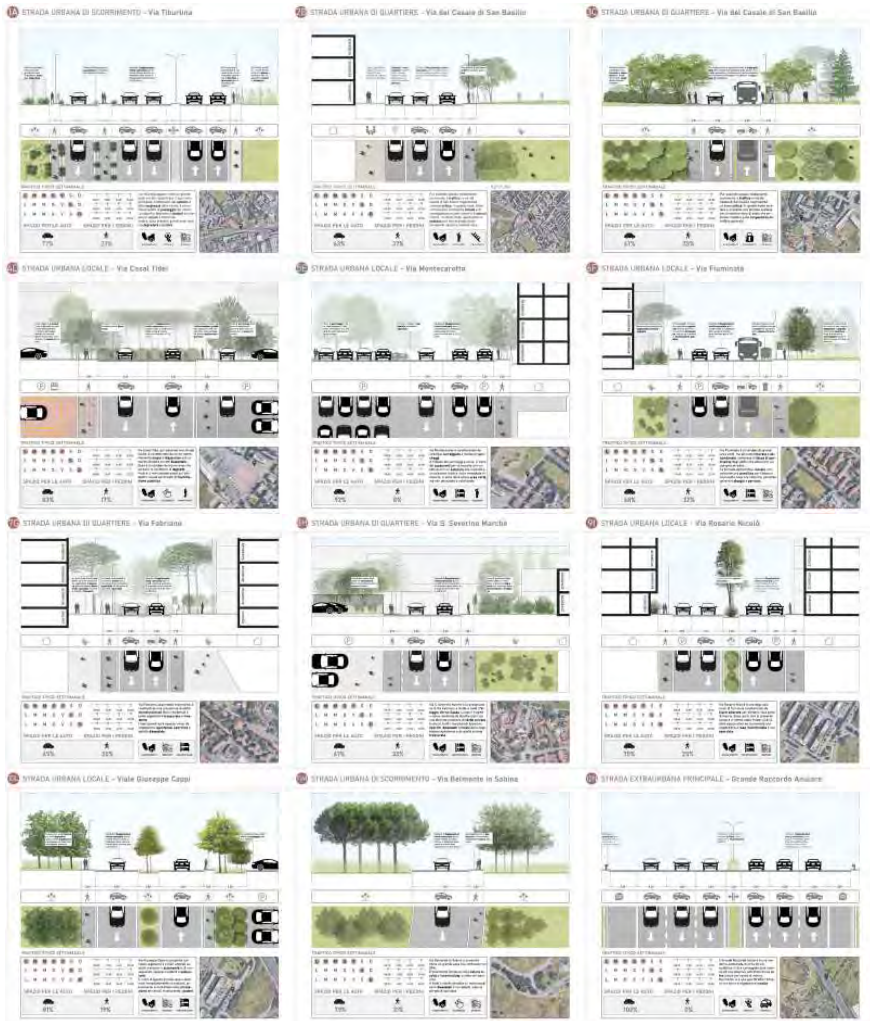


Fig. 12: Sezioni dei principali assi stradali due aree oggetto di sperimentazione.

ti, dei luoghi di aggregazione per i giovani e nuove soluzioni per la viabilità locale. Dal punto di vista sociale da sempre il quartiere ha rappresentato un problema, sin da quando gli abitanti della borgata storica furono costretti ad interagire con altre frange di popolazione, con le quali si crearono da subito notevoli problemi di convivenza ed inevitabili tensioni in merito all'assegnazione degli alloggi di edilizia popolare di nuova costruzione. Una fase successiva ha visto il

- Sistema delle infrastrutture e della mobilità

Dal punto di vista della mobilità l'area presenta poche linee di trasporto pubblico urbano diurne, feriali e festive con una media compresa tra 5 e 10 fermate TPL per minuto; nel raggio di 2 km è possibile raggiungere la stazione MB Rebibbia e, a 4 km, le stazioni della linea ferroviaria FL2 Roma-Tivoli. Inoltre, viene segnalata la cancellazione del prolungamento della Linea B della Metropolitana verso Casal Monastero con ipotesi di stazione proprio a San Basilio, riducendo così maggiormente la capacità di mobilità pubblica e l'utilizzo esclusivo di autovetture e ciclomotori, incrementando quindi le emissioni di inquinanti e di carbonio nell'atmosfera. Carente inoltre risulta essere la mobilità ciclabile e pedonale seppur presente, come strumento strategico, un Piano Urbano della Mobilità Sostenibile di Roma Capitale (PUMS) passante per tale area. Il tessuto del quartiere non presenta servizi idonei a sufficienza rispetto la densità abitativa presente; sono presenti un supermercato e un bar, quattro punti di ristorazione, tre scuole e una chiesa, segno di un'impronta di quartiere prevalentemente destinato a dormitorio. Importante, al fine di migliorare l'integrazione sociale, educativa e culturale è l'inaugurazione nel 2011 del Centro Culturale Aldo Fabrizi, dove al suo interno risiede il centro anziani e varie associazioni di assistenzialismo. Il quartiere di San Basilio rappresenta uno dei casi dell'insediamento capitolino in cui è chiara la dilatazione dei confini urbani verso un contesto una volta agricolo, oggi soppiantato da lottizzazioni, innalzamento di cesure costituite da muretti e recinzioni che determinano la frammentazione di un'area originariamente pensata senza alcuna frattura.

- Sistema verde

L'area presenta una conformazione urbanistica variegata, con una alternanza di aree residenziali e urbanizzate a parchi e riserve. Si vo-

4. Il progetto della mitigazione climatica verso la neutralità carbonica

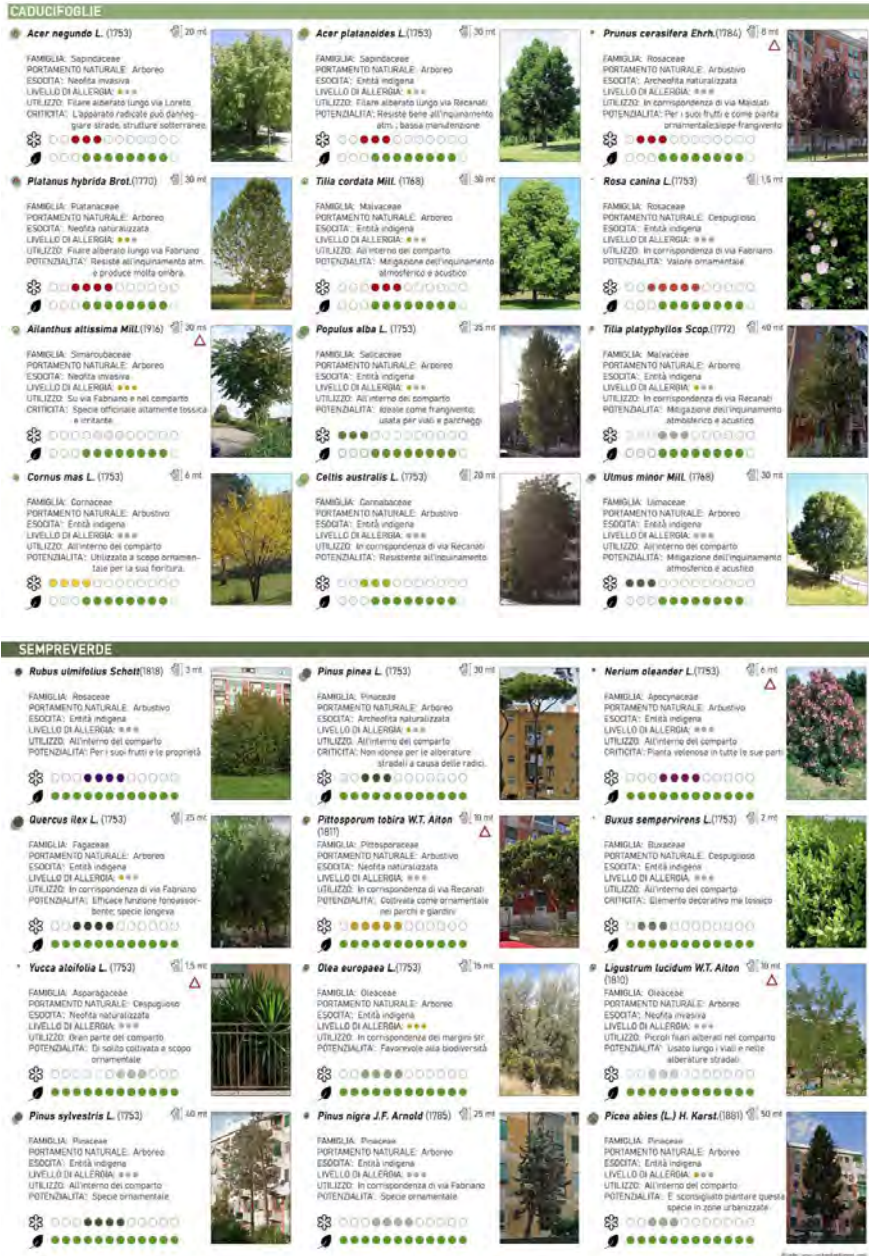


Fig. 15: Censimento delle essenze arboree (Caducifoglie e sempreverdi) nelle due aree oggetto di sperimentazione.



Fig. 16: Sistema della vegetazione e della permeabilità dei suoli.

L'ampia dotazione di spazi aperti interni ed esterni all'edificato continuano ad essere punti di forza per il quartiere sebbene le condizioni di abbandono e la scarsa fruibilità in cui questi versano li rendano al tempo stesso dei punti di estrema debolezza. Nell'approfondire l'analisi vegetazionale, tra le specie arboree prevalenti spiccano il *Platanus platanoides*, l'*Acer negundo*, il *Ligustrum*, il *Prunus avium*, il *Tilia cordata* e il *Pinus pinea*. Le alberature censite, come *Fagus sylvatica*, *Robinia pseudoacacia* e *Tilia cordata*, mostrano un buon comportamento alla mitigazione ambientale, sebbene le prime due siano infestanti; sono inoltre presenti specie arboree come *Cedrus*, *Eucalyptus*, *Liriodendron* e *Junglas*, non idonee in quanto esotiche e comportanti elevati costi di manutenzione.

Le sedi stradali presenti sono spesso affiancate da filari alberati da alto fusto su ambo i lati; ciò potrebbe determinare, in termini positivi, una mitigazione dell'inquinamento acustico ed atmosferico; tuttavia, tali specie sono piantumate all'interno di superfici permeabili ed esigue, compromettendo così la crescita vegetazionale e la fruibilità dei pedoni. Gli spazi verdi di pertinenza degli edifici spesso

non sono mantenuti e con il tempo sono divenuti parcheggi sterrati incrementando il discomfort ambientale da parte dei fruitori.

4.3. Obiettivi della sperimentazione

Nell'ambito dell'approccio proprio della Progettazione Tecnologica Ambientale il presente capitolo illustra i risultati dell'attività di ricerca mirati a definire indirizzi e strategie per l'utilizzo di sistemi tecnologici ambientali passivi nella rigenerazione di architetture e distretti urbani avvalendosi di modelli predittivi di calcolo dinamici di supporto al progetto, articolati in un quadro costituito dai dati di riferimento; dalle simulazioni sullo stato dell'arte; dalle valutazioni scaturenti dall'adozione di scenari di intervento in funzione di elevate prestazioni. Tali modelli innovativi sono volti a individuare soluzioni appropriate in relazione ai risultati di testing e verifica ottenuti attraverso la formulazione di modelli di intervento adattivi più efficaci nel contesto di riferimento e nelle condizioni micro-climatiche ambientali date (Tucci, Battisti, 2020).

Infatti, una rigenerazione sostenibile può realizzarsi solo dopo un'attenta valutazione delle prestazioni del sistema, costruito nella sua complessità e nella sua impronta di carbonio che la ricerca applica implementando nel modello il consumo energetico stimato dalle simulazioni fluido dinamiche ante e post opera. Le proposte di rigenerazione urbana sono così orientate sulle capacità di inserimento e potenziamento dei sistemi tecnologici ambientali in grado di migliorare gli aspetti di *comfort* ambientale e di sostenibilità attraverso soluzioni progettuali che mirino a testare i miglioramenti conseguiti, con l'obiettivo primario di incrementare la fruibilità degli spazi pubblici e la loro vivibilità elevando la qualità e il benessere ambientale.

Altro obiettivo non meno importante è quello di alimentare un dibattito e un confronto interno alla comunità scientifica mirato ad accrescere le conoscenze tecnologiche e scientifiche in tema di modelli di



Fig. 17: Analisi distributivo funzionale di un edificio tipo all'interno del PdZ 02-V San Basilio.
 Copyright © 2023 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy. ISBN 9788835150459

4. Il progetto della mitigazione climatica verso la neutralità carbonica



Fig. 18: Prospetti di un edificio tipo all'interno del PdZ 2V San Basilio.

intervento di riqualificazione ambientale ed ecosistemica secondo due linee di indirizzo strategico:

- miglioramento del comfort ambientale degli spazi attraverso la valutazione fra la situazione di *ante operam* e quella cui si perviene dopo l'adozione/applicazione delle opportune azioni progettuali;
- implementazione di un database strutturato di tutti gli elementi conoscitivi dello stato di fatto e delle valutazioni predittive dei risultati di progetto.

La sperimentazione si muove nell'ottica di esaminare l'intero ciclo energetico e bioclimatico, dal sistema dell'acqua e del suo corretto uso al sistema della mobilità e a quello della gestione dei rifiuti nonché a garantire le condizioni affinché le aree verdi svolgano al meglio la loro positiva funzione ecosistemica (Tucci, 2012).

- Energia e bioclimatica

I flussi energetici, naturalmente orientati alla circolarità, devono raggiungere livelli massimi di efficienza e perseguire obiettivi articolati:



Fig. 19: Prospetti di un edificio tipo all'interno della Zona Urbanistica 5e - San Basilio.

- contenere progressivamente la richiesta di energia fino a portarsi al modello 'zero energy' fino a raggiungere il 'positive energy';
- adottare soluzioni e dispositivi passivi per massimizzare il comfort e allo stesso tempo condizionare i comportamenti energetici;
- utilizzare apparecchiature ed elettrodomestici ad alta efficienza;
- sostituire sempre più le fonti energetiche fossili fino al loro azzeramento con quelle rinnovabili (solare termico, fotovoltaico, eolico, geotermia e biomassa) integrandole al fine di utilizzare le diverse forme di energia attraverso *dynamic smart grid* capaci di modulare gli apporti energetici in relazione ai fabbisogni della giornata e/o stagionali.

Per la salvaguardia dell'ambiente la qualità dell'aria è, come noto, un elemento fondamentale ma è anche importante la sua gestione in termini di flussi ventilativi in rapporto con superfici permeabili, ombreggiate e ad alta riflettanza solare in quanto tutto questo determina il microclima locale attenuando o accentuando l'isola di calore con effetti positivi o negativi sul raffrescamento e con ricadute sul riscaldamento invernale. Ciò influenza il benessere ambientale e il consumo di energia. La sperimentazione ha interessato diversi sistemi per valorizzare le potenzialità della ventilazione naturale all'interno degli spazi confinati e sono stati utilizzati in forma integrata *buried earth pipes*, camini di ventilazione, torri del freddo e scambiatori di calore (Tucci, 2014).

- **Acqua**

L'intervento sul ciclo dell'acqua rappresenta un asse strategico consigliato in ogni operazione di rigenerazione poichè si realizza un considerevole risparmio di emissioni di CO₂ equivalente. I parametri per il miglioramento dell'efficienza nell'uso dell'acqua negli edifici e del comportamento degli utenti sono determinati dalle politiche dettate dalla Comunità Europea per contrastare l'uso eccessivo e lo spreco

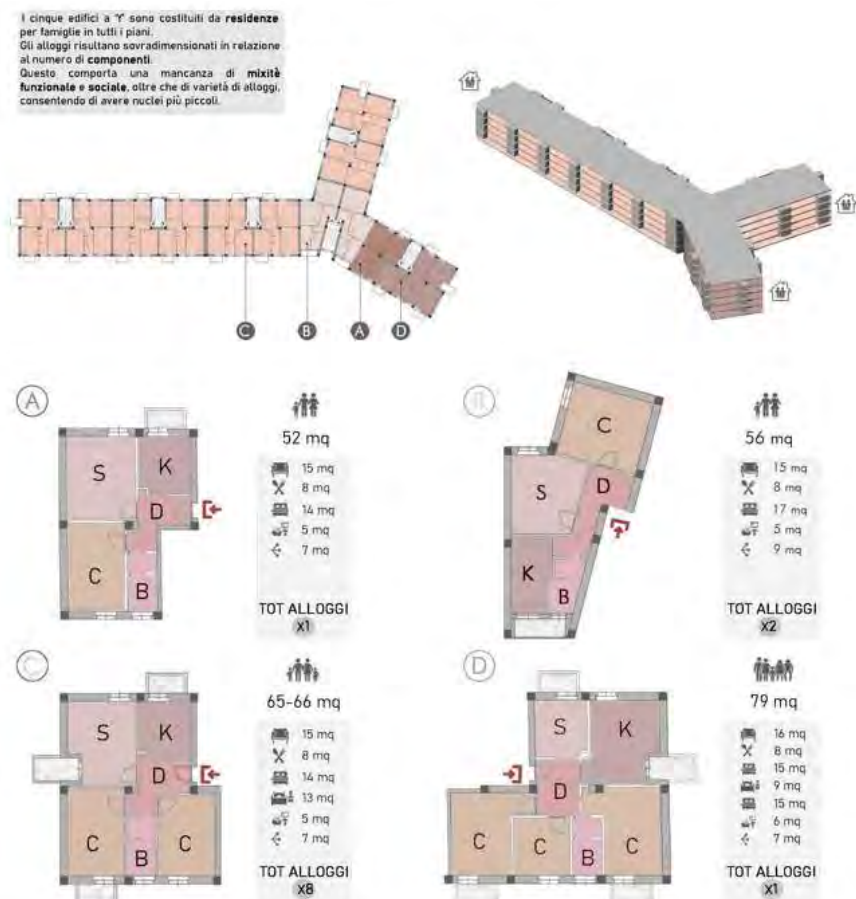
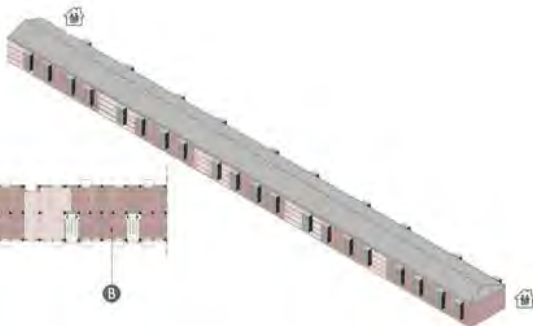
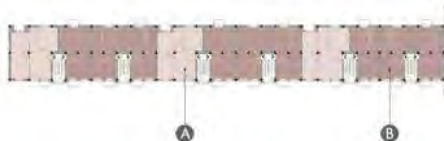


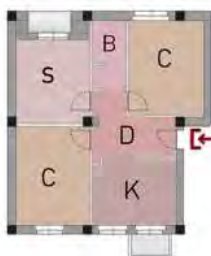
Fig. 20: Analisi distributiva di un edificio tipo all'interno della Zona Urbanistica 5e - San Basilio.

che prevedono l'attuazione dei processi di raccolta, recupero e riuso delle acque piovane e grigie (ISPRA, 2021). La sperimentazione prevede l'adozione di sistemi che consentano il riutilizzo sia dell'acqua piovana sia dell'acqua grigia proveniente da attività e tipologie di spazi diversi. I flussi sono separati e indirizzati verso le rispettive fasi di trattamento, depurazione e riuso. Le acque grigie vengono immagazzinate in serbatoi, trattate e reimmesse nel circuito di utilizzazione. Il risparmio di acqua potabile che si realizza è nell'ordine del 50%. Per l'irrigazione di giardini, spazi esterni vegetati e componenti verdi degli involucri possono essere utilizzate anche le acque piovane.

L'edificio tipo 2 è costituito da **residenze per famiglie** in tutti i piani.
Sono presenti alloggi sia di grandi dimensioni sia di piccole, ma la distribuzione interna non è efficace.
Non sono presenti spazi comuni, servizi e alloggi per più tipologie di utenti. Dunque, vi è una **mancanza di mixità funzionale e sociale**.



(A)

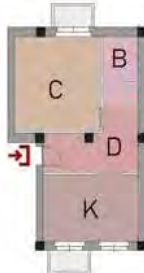


67-70 mq

- 15 mq
- 11 mq
- 15 mq
- 14 mq
- 5 mq
- 8 mq

TOT ALLOGGI
x5

(B)

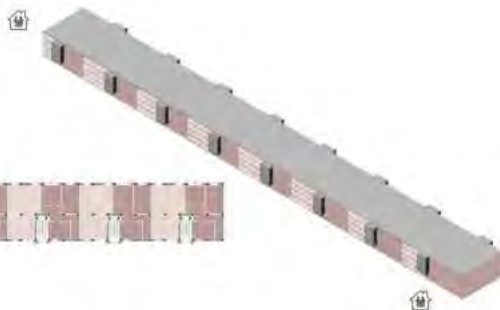


40-43-45 mq

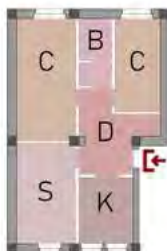
- 14 mq
- 17 mq
- 5 mq
- 9 mq

TOT ALLOGGI
x15

I cinque edifici a "Y" sono costituiti da **residenze per famiglie** in tutti i piani.
Gli alloggi risultano **sovradimensionati** in relazione al numero di **componenti**.
Questo comporta una **mancanza di mixità funzionale e sociale**, oltre che di varietà di alloggi, consentendo di avere nuclei più piccoli.



(A)

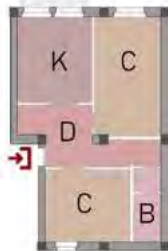


62 mq

- 14 mq
- 8 mq
- 15 mq
- 9 mq
- 5 mq
- 10 mq

TOT ALLOGGI
x16

(B)



62 mq

- 14 mq
- 14 mq
- 17 mq
- 5 mq
- 11 mq

TOT ALLOGGI
x16

Fig. 21: Analisi distributiva di un edificio tipo all'interno della Zona Urbanistica 5a, San Basilio.

ne raccolte e recuperate dalle coperture e dagli spazi esterni. L'acqua piovana è raccolta secondo diverse modalità integrate, innanzitutto attraverso superfici permeabili opportunamente predisposte e sistemi di bio-swale e di *rain garden*.

- Verde

La valorizzazione del verde nelle sue molteplici declinazioni rappresenta un elemento decisivo per far accrescere la capacità del pianeta di rispondere alla sfida dei cambiamenti climatici in quanto agisce contemporaneamente su più aspetti: capitale naturale, habitat, biodiversità, permeabilità del terreno, microclima, processi di evapotraspirazione, sottrazione di fattori inquinanti e di decarbonizzazione. L'integrazione di vegetazione sugli edifici inoltre accresce la capacità di ritenzione dell'acqua piovana specie in considerazioni di eventi estremi e di mitigazione delle ondate di calore (ISPRA, 2015). Inoltre, con il ricorso alla piantumazione di specie vegetali autoctone, si possono ridurre i costi di manutenzione, in quanto viene minimizzato l'utilizzo di fertilizzanti, pesticidi e acqua per l'irrigazione oltre a preservare gli ecosistemi locali; tra l'altro l'approvvigionamento di tali specie può avvenire localmente, con minori costi di acquisto e di trasporto. Altro aspetto correlato è l'utilizzazione degli sfalci della vegetazione come biomassa per la produzione di combustibile alternativo per la produzione di energia elettrica e termica che può avvenire con micro-impianti che contribuiscono, in ottica circolare, al perseguimento degli obiettivi di neutralità carbonica (Boeri et al., 2019).

- Mobilità

Il trasporto pubblico e privato rappresenta un elemento fondamentale di una collettività ed ha una grande responsabilità delle emissioni.

I punti di attacco per questo comparto sono molteplici a partire da come vengono distribuite le funzioni di una città e, come noto, il settore è fortemente dipendente dai combustibili fossili, in particolare petrolio; ne deriva che la situazione può migliorare attraverso l'utilizzazione di mezzi a basse emissioni scoraggiando l'uso delle automobili per gli spostamenti individuali ed un significativo ampliamento di piste ciclabili e percorsi pedonali mentre la tempistica è legata al loro processo di sostituzione. L'obiettivo della sostenibilità consiglia di introdurre una scala di priorità agli spostamenti privilegiando la mobilità dolce, a piedi o in bici, l'utilizzo di mezzi di trasporto pubblico, i mezzi elettrici, gli spostamenti condivisi e infine le auto private. La viabilità del quartiere, senza escludere alcuna componente del traffico, deve consentire agli abitanti di muoversi in sicurezza, restituendo alle strade interne la funzione di luogo di incontro e socialità e previsti nodi intermodali, dove gli utenti possono cambiare modalità di spostamento.

- Rifiuti

La gestione dei rifiuti deve rispondere a modalità integrate per la raccolta, il trattamento e la riutilizzazione dei rifiuti, ottimizzando le relative fasi (IEA, 2019). L'intervento prevede un sistema di raccolta interrato pneumatico che può essere attivato a partire dagli spazi comuni presenti in ogni piano, con canali dedicati per tipologia di rifiuti che confluiscono in un punto di raccolta per essere trasportati nei centri di trattamento. Fra la tipologia dei rifiuti manca l'indifferenziato presente solo nelle colonnine esterne unitamente alle altre tipologie per il conferimento pneumatico dei rifiuti negli spazi aperti. Tale scelta è una forma di disincentivo per gli abitanti in quanto questa frazione di rifiuti deve essere ridotta all'essenziale e trattata con inceneritori mentre tutti gli altri recuperati in qualche modo. La frazione di umido e i rifiuti verdi saranno compostati e riutilizzati nelle aree verdi.

4.4. Metodologia adottata

L’impianto metodologico si fonda sulla più recente letteratura scientifica e su documenti e report internazionali sui sistemi di simulazione progettuale *input modelling-simulation-output simulation*, costituendo un quadro di riferimento per l’individuazione dei sistemi tecnologici ambientali oggetto di analisi scientifica (*input modelling*), la definizione di possibili scenari di intervento con la selezione delle soluzioni alternative più idonee in funzione dei risultati di simulazione ottenuti (*simulation*), infine la definizione di un modello di intervento adattabile ai diversi contesti (*output modelling*) (Tucci, Cecafosso, 2020).



Fig. 22: Simulazioni dei principali comportamenti bioclimatici invernali ed estivi nello stato *ante operam* della Zona Urbanistica 5e - San Basilio.

La ricerca si sviluppa secondo le seguenti fasi:

- il reperimento e l'analisi dei dati di contesto, attraverso la definizione dei profili ambientali (materiali superficiali, vegetazione e tipologia del tessuto urbano ed edilizio) utilizzando l'osservazione diretta e apparati documentali;
- la modellizzazione dei *network* individuati (energia e bioclimatica, acqua, verde, mobilità, rifiuti).che determinano e restituiscono il comportamento ambientale in termini di sostenibilità, di eco-efficienza e di emissioni climalteranti, utilizzando come indicatore quantitativo le emissioni di CO₂ prodotti nella situazione *ante-operam*;
- la valutazione e la discussione degli esiti dei parametri esaminati nella modellizzazione dei *network* di riferimento;
- la definizione dello scenario di intervento nonché la modellazione e la valutazione circa la compatibilità con gli obiettivi prefissati nello sviluppo della sperimentazione progettuale attraverso la scelta di una o più soluzioni secondo un'analisi delle performance bioclimatiche ambientali riferite alle condizioni post operam di intervento;
- la valutazione del quadro generale delle emissioni di CO₂ derivanti dal sistema costruito complessivo.

Le reti urbane fanno quindi riferimento alle tematiche sviluppate di seguito.

- Energia e bioclimatica

È stato esaminato il sistema costruito degli edifici presenti nel quartiere tramite l'utilizzo del GIS, del rilievo e di ulteriore documentazione al fine di individuare le informazioni utili per la costruzione del modello di analisi. La metodologia di calcolo utilizzata si basa sulla modellizzazione del microclima delle aree oggetto di studio

attraverso il *software* ENVI-met, al fine di valutare la riduzione delle emissioni dovuta alla diminuzione dei consumi di energia elettrica grazie al miglioramento del microclima locale. Contenere l'effetto isola di calore mediante la realizzazione di superfici esterne pavimentate permeabili, ombreggiate o con un alto valore di riflettanza solare migliora le condizioni di microclima locale, con effetti positivi sull'habitat naturale di piante e animali e quindi sull'uomo.

Controllare l'effetto isola di calore comporta indirettamente anche una minore necessità di raffrescamento estivo degli edifici riducendo i consumi di energia e le relative emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici. La valutazione dei consumi complessivi oggetto di studio (termici ed elettrici degli edifici) ha tenuto conto dei dati parametrici e di benchmark in rapporto agli scenari migliorativi conseguiti

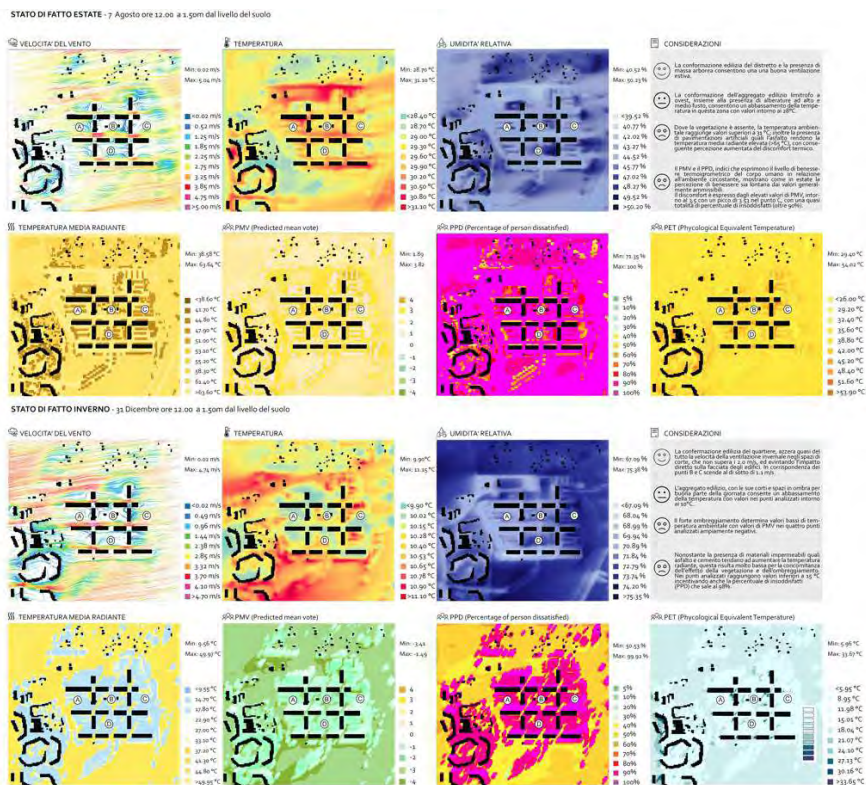


Fig. 23: Simulazioni dei principali comportamenti bioclimatici invernali ed estivi nello stato ante operam del PdZ 02-V San Basilio.

4. Il progetto della mitigazione climatica verso la neutralità carbonica

AMBIENTOSISTEMI EFFICIENTI	FINALITÀ	AZIONI PIÙ RICORRENTI NELLE PRATICHE INTERNAZIONALI
 <p>RISCALDAMENTO UGUALE E IN GENERALE MUTAMENTI CLIMATO-AMBIENTALI</p>	<p>1.1. ADATTAMENTO E INNALZAMENTO DELLA CAPACITÀ DI RESILIENZA AI MUTAMENTI AMBIENTALI</p> <p>1.2. MITIGAZIONE DELLE CAUSE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI</p>	<p>1.1.1. Adattamento al fenomeno di base di cause di aumento della vulnerabilità al fenomeno di rischio in cause</p> <p>1.1.2. Adattamento al fenomeno di perturbazioni idrologiche, sismiche, frane, mareggiate</p> <p>1.1.3. Adattamento al fenomeno di inquinamento e deterioramento di risorse di acqua</p> <p>1.1.4. Investimento nella resilienza e resilienza e recupero di servizi</p> <p>1.1.5. Strategie di piano più appropriate per la mitigazione e resilienza e resilienza e resilienza e resilienza</p> <p>1.2.1. Accensione dei processi di Energy Efficiency Assessment con un'attenzione particolare al settore di gas termico</p> <p>1.2.2. Adozione dei processi di Energy Efficiency Assessment con un'attenzione particolare al settore di gas termico</p> <p>1.2.3. Adozione dei processi di Energy Efficiency Assessment con un'attenzione particolare al settore di gas termico</p> <p>1.2.4. Adozione dei processi di Energy Efficiency Assessment con un'attenzione particolare al settore di gas termico</p>
 <p>PROGRESSIVA DIFFUSIONE DEL DEGRADO E DEL CONSUMO DI RISORSE NELLE CITTÀ</p>	<p>2.1. PROMUOVERE LA RIGENERAZIONE URBANA E LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO ESISTENTE</p> <p>2.2. PROMUOVERE LA RIQUALIFICAZIONE, RECUPERO, MANUTENZIONE DEL PATRIMONIO ESISTENTE</p>	<p>2.1.1. Rigenerazione urbana con interventi a scala di quartiere o di quartiere</p> <p>2.1.2. Rigenerazione urbana con interventi a scala di quartiere o di quartiere</p> <p>2.1.3. Rigenerazione urbana con interventi a scala di quartiere o di quartiere</p> <p>2.1.4. Rigenerazione urbana con interventi a scala di quartiere o di quartiere</p> <p>2.1.5. Rigenerazione urbana con interventi a scala di quartiere o di quartiere</p> <p>2.2.1. Programmazione della rigenerazione urbana e della riqualificazione del patrimonio esistente</p> <p>2.2.2. Programmazione della rigenerazione urbana e della riqualificazione del patrimonio esistente</p> <p>2.2.3. Programmazione della rigenerazione urbana e della riqualificazione del patrimonio esistente</p> <p>2.2.4. Programmazione della rigenerazione urbana e della riqualificazione del patrimonio esistente</p> <p>2.2.5. Programmazione della rigenerazione urbana e della riqualificazione del patrimonio esistente</p>
 <p>COMPLESSIVA INSOSTENIBILITÀ DEI PROCESSI IN ATTO NELLE CITTÀ</p>	<p>3.1. QUALIFICARE GLI SPAZI PUBBLICI PROGETTI INNOVATIVI COME MODELLO PER LA FUGGITA DEL CICLO DI VITA E DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E DEI PROCESSI DECISIONALI</p> <p>3.2. ADOZIONE SISTEMATICA DELLA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E DELL'APPROCCIO DEL CICLO DI VITA NEI PROCESSI DECISIONALI</p>	<p>3.1.1. Qualificare gli spazi pubblici come modello per la fuga del ciclo di vita e della sostenibilità ambientale e dei processi decisionali</p> <p>3.1.2. Qualificare gli spazi pubblici come modello per la fuga del ciclo di vita e della sostenibilità ambientale e dei processi decisionali</p> <p>3.2.1. Adozione sistematica della valutazione della sostenibilità ambientale e dell'approccio del ciclo di vita nei processi decisionali</p> <p>3.2.2. Adozione sistematica della valutazione della sostenibilità ambientale e dell'approccio del ciclo di vita nei processi decisionali</p> <p>3.2.3. Adozione sistematica della valutazione della sostenibilità ambientale e dell'approccio del ciclo di vita nei processi decisionali</p> <p>3.2.4. Adozione sistematica della valutazione della sostenibilità ambientale e dell'approccio del ciclo di vita nei processi decisionali</p>
 <p>RIPOVERIMENTO DELLE RISORSE BIORISORSE, DEL VERDE URBANO E DELL'URBANISTICA</p>	<p>4.1. FARE DELLA TUTELA DEL CAPITALE NATURALE E DELLA QUALITÀ ECOLOGICA DEI SISTEMI URBANI E DEI CENTRI</p> <p>4.2. INCREMENTO DELLA QUALITÀ ECOLOGICA DEI SISTEMI URBANI E DEI CENTRI</p>	<p>4.1.1. Fare della tutela del capitale naturale e della qualità ecologica dei sistemi urbani e dei centri</p> <p>4.1.2. Fare della tutela del capitale naturale e della qualità ecologica dei sistemi urbani e dei centri</p> <p>4.2.1. Incremento della qualità ecologica dei sistemi urbani e dei centri</p> <p>4.2.2. Incremento della qualità ecologica dei sistemi urbani e dei centri</p> <p>4.2.3. Incremento della qualità ecologica dei sistemi urbani e dei centri</p> <p>4.2.4. Incremento della qualità ecologica dei sistemi urbani e dei centri</p>
 <p>DEPAUPERAMENTO DI QUALITÀ E BELLEZZA DEI LUOGHI DELL'ABITARE URBANO</p>	<p>5.1. TUTELARE E INCREMENTARE IL CAPITALE CULTURALE, LA QUALITÀ E L'IDENTITÀ DEI TERRITORI, DEI PAESAGGI, DELLE CITTÀ E DEI CENTRI MINORI</p> <p>5.2. TUTELA, VALORIZZAZIONE E INCREMENTO DELLA QUALITÀ E DELL'IDENTITÀ DEI TERRITORI, DEI PAESAGGI, CITTÀ E CENTRI MINORI</p>	<p>5.1.1. Tutelare e incrementare il capitale culturale, la qualità e l'identità dei territori, dei paesaggi, delle città e dei centri minori</p> <p>5.1.2. Tutelare e incrementare il capitale culturale, la qualità e l'identità dei territori, dei paesaggi, delle città e dei centri minori</p> <p>5.2.1. Tutela, valorizzazione e incremento della qualità e dell'identità dei territori, dei paesaggi, città e centri minori</p> <p>5.2.2. Tutela, valorizzazione e incremento della qualità e dell'identità dei territori, dei paesaggi, città e centri minori</p> <p>5.2.3. Tutela, valorizzazione e incremento della qualità e dell'identità dei territori, dei paesaggi, città e centri minori</p>
 <p>INEFFICIENZA, INEFFICACIA E NON CIRCOLARITÀ DEI PROCESSI DI COSTRUZIONE E TRASFORMAZIONE</p>	<p>6.1. VALORIZZARE IL CAPITALE TECNOLOGICO PER INCREMENTARE LA QUALITÀ, L'EFFICIENZA E L'EFFICACIA NELL'USO DELLE RISORSE</p> <p>6.2. INCREMENTO DELLA QUALITÀ ECOLOGICA DEL CAPITALE TECNOLOGICO E DELL'EFFICACIA NELL'USO CIRCOLARE DELLE RISORSE</p>	<p>6.1.1. Valorizzare il capitale tecnologico per incrementare la qualità, l'efficienza e l'efficacia nell'uso delle risorse</p> <p>6.1.2. Valorizzare il capitale tecnologico per incrementare la qualità, l'efficienza e l'efficacia nell'uso delle risorse</p> <p>6.2.1. Incremento della qualità ecologica del capitale tecnologico e dell'efficacia nell'uso circolare delle risorse</p> <p>6.2.2. Incremento della qualità ecologica del capitale tecnologico e dell'efficacia nell'uso circolare delle risorse</p> <p>6.2.3. Incremento della qualità ecologica del capitale tecnologico e dell'efficacia nell'uso circolare delle risorse</p>
 <p>DEGRADO SOCIALE, INGIUSTIZIA, INEFFICACIA, INEFFICACIA, DISCRIMINAZIONE NELLE CITTÀ</p>	<p>7.1. SALVAGUARDARE IL CAPITALE SOCIALE E PROGETTARE UN FUTURO DESIDERABILE PER LE CITTÀ</p> <p>7.2. PROMUOVERE LA TRANSIZIONE DELLE CITTÀ VERSO MODELLI CHE NE ALZANO LA VITALITÀ E L'EFFICACIA NELLA RELAZIONE COL TERRITORIO</p>	<p>7.1.1. Salvaguardare il capitale sociale e progettare un futuro desiderabile per le città</p> <p>7.1.2. Salvaguardare il capitale sociale e progettare un futuro desiderabile per le città</p> <p>7.2.1. Promuovere la transizione delle città verso modelli che ne alzano la vitalità e l'efficacia nella relazione col territorio</p> <p>7.2.2. Promuovere la transizione delle città verso modelli che ne alzano la vitalità e l'efficacia nella relazione col territorio</p> <p>7.2.3. Promuovere la transizione delle città verso modelli che ne alzano la vitalità e l'efficacia nella relazione col territorio</p>

Fig. 24: Principali indirizzi, strategie, azioni di mitigazione climatica nei distretti urbani e perurbani.

con gli interventi, stimando la riduzione di CO₂ emessa. Gli edifici sono stati suddivisi per destinazione d'uso, distinguendo quelli residenziali dalle altre tipologie, inoltre è stato individuato il periodo di costruzione, il numero dei piani e l'altezza degli edifici.

Le tipologie edilizie sono state raggruppate in cluster associandole al valore dei consumi degli edifici di riferimento di Tabula (TABULA, 2016). Sono stati quindi ricavati i consumi termici legati al riscaldamento e all'acqua sanitaria, espressi in kWh/mq e moltiplicati per le aree dei cluster del quartiere. I consumi elettrici delle abitazioni sono stati ricavati utilizzando i dati ISTAT in relazione ai consumi per ciascuna apparecchiatura e per l'illuminazione sulla base di quelli medi per utente. I consumi per gli usi comuni (ascensori e illuminazione vano scala) sono stati stimati in modo parametrico per piano. Si è poi proceduto alla determinazione del consumo di energia per il riscaldamento e per il raffrescamento attraverso lo scostamento realizzato

- **Acqua**

Si tratta di un bene rinnovabile da usare in modo consapevole. L'utilizzo efficiente di questa risorsa è uno degli obiettivi di sviluppo sostenibile. Per determinare i consumi di acqua degli edifici è stato applicato un procedimento analogo a quello dei consumi elettrici attraverso i dati ISTAT del consumo in m³/anno pro capite rapportati ai sistemi utilizzati.

La stima del contenimento dei consumi è valutata comparando l'indicatore quantitativo mc/anno di acqua nello stato di fatto e di progetto, tenendo conto dei benefici apportati dal recupero, trattamento, riuso delle acque grigie e meteoriche (ISTAT, 2020).

Infine, per valutare il contributo della misura alla riduzione delle emissioni climalteranti si tiene conto del risparmio di energia elettrica per il sollevamento, trattamento e immissione in rete dell'acqua potabile e per il trattamento dei reflui.

- **Verde**

Gli spazi urbani aiutano a mantenere l'ambiente pulito e a migliorare le condizioni di vita dei cittadini. La metodologia proposta per tale ambito prevede l'indagine del patrimonio conoscitivo del capitale arboreo presente nelle due aree oggetto di sperimentazione secondo le capacità di assorbimento e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera e predisposte schede botaniche di sintesi.

Al fine di quantificare la stima dell'assorbimento e stoccaggio di CO₂ della vegetazione censita nello stato di fatto è stato realizzato un foglio di calcolo e impostato un progetto di *green infrastructure* basato su specie autoctone e con maggiori capacità di stoccaggio di carbonio. E' stata effettuata la verifica dei benefici acquisiti, quantificando le performance di assorbimento di carbonio dall'atmosfera tra *ante* e *post operam*.

- Mobilità

La modalità di spostamento delle persone e delle merci nelle città è collegata a fattori infrastrutturali, tecnologici e culturali e produce effetti che vanno dalla congestione, alla sicurezza, alla salute pubblica e naturalmente all'impatto ambientale. Per i trasporti pubblici sono stati considerati gli autobus. Sono state individuate le linee che passano all'interno del quartiere e ai suoi margini e ricavato il numero di chilometri percorsi tenuto conto della frequenza dei passaggi e del consumo medio di carburante e di emissioni prodotte (CO₂ e PM₁₀) secondo la tipologia di mezzo. Il numero di auto private è stato ricavato moltiplicando il dato di possesso dell'auto nel territorio con il numero di abitanti del quartiere e stimati il numero dei chilometri percorsi annualmente. La tipologia di mezzi presenti, i consumi e le emissioni medie sono state ricavate da dati elaborati da ISTAT e ISPRA.



Fig. 26: Applicazione delle strategie di mitigazione climatica della Zona Urbanistica 5e - San Basilio.

4.5. Quadro delle emissioni CO₂ *ante operam*

Si riportano di seguito i principali esiti dei modelli delle reti:

- Energia e bioclimatica: Lo studio delle tipologie di manufatti edilizi insistenti le due aree di studio permettono una quantificazione delle emissioni di carbonio pari a 2.007.769 kgCO₂eq per la Zona Urbanistica 5e - San Basilio e di 3.606.178 kgCO₂eq/a nel PdZ 02-V San Basilio;
- Acqua: L'analisi dei servizi e delle funzioni ha permesso inoltre la quantificazione delle emissioni di carbonio derivate dalla gestione del ciclo dell'Acqua e dei Rifiuti; nello specifico, si registrano emissioni per il ciclo dell'Acqua pari a 40.724 kgCO₂eq/a per la Zona Urbanistica 5e - San Basilio e di 63.485 kgCO₂eq/a nel PdZ 02-V San Basilio;
- Verde: L'analisi delle masse arboree presenti e della qualità ambientale degli spazi aperti ha permesso la quantificazione di carbonio assorbita; nello specifico la capacità di assorbimento per la Zona Urbanistica 5e - San Basilio è pari a 143.534.00 kgCO₂eq/a e di 360.577 kgCO₂eq/a per il PdZ 02-V San Basilio;
- Mobilità: L'analisi dei flussi veicolari e dei mezzi pubblici e privati insistenti le due aree di studio, permettono una quantificazione delle emissioni di carbonio pari a 2.584.201 kgCO₂eq per la Zona Urbanistica 5e - San Basilio e di 3.75.130 kgCO₂eq/a nel PdZ 02-V San Basilio;
- Rifiuti: Per la rete dei rifiuti, costituita, per entrambi i casi di studio, da una raccolta differenziata su bordo strada, si quantificano emissioni di carbonio pari a 2.366.558 kgCO₂eq/a per la Zona Urbanistica 5e - San Basilio e di 4.941.547 kgCO₂eq/a nel PdZ 02-V San Basilio.

4.6. Strategie, azioni di intervento e risultati di mitigazione climatica

Nell'ambito dei settori individuati vengono individuati gli ambiti con maggiore suscettività di miglioramento e definite le azioni da intraprendere privilegiando l'utilizzo di soluzioni innovative senza perdere in ogni caso la visione globale del progetto in modo che le integrazioni ottimizzino le prestazioni (Gaglione, 2022).

La riqualificazione energetica dei manufatti edilizi esistenti individua quale asse strategico l'incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili, la riduzione del fabbisogno energetico nonché il miglioramento delle condizioni di comfort termoigrometrico. Infatti lo stato di fatto è costituito da manufatti edilizi fortemente energivori per riscaldamento e raffrescamento, necessitanti quindi di significativi interventi; per questo strategica è la selezione di dispositivi tecnologici passivi integrabili nei sistemi di involucro e strutturali degli edifici in modo da assicurare un miglioramento delle *performance* (Tucci et al., 2018).

L'introduzione di sistemi tecnologici-ambientali quali, ad esempio, le facciate ventilate, contribuiscono alla riduzione complessiva dei carichi energetici (Gregory et al., 2019). D'inverno il calore è diretto dall'interno dell'edificio all'esterno ed è trattenuto dallo strato isolante che funziona da accumulatore termico dell'energia prodotta dall'ambiente interno, mentre d'estate l'irraggiamento solare riscalda la facciata ventilata innalzando la temperatura dell'aria interna all'intercapedine che tende a salire sostituita dall'aria più fresca proveniente dal basso che mantiene più bassa la temperatura della parete più interna dell'involucro (Tucci, 2017).

Si prevedono inoltre sistemi costituiti da torri di ventilazione a flusso ascendente, con masse d'aria immesse all'interno dell'edificio attraverso canali interrati che la prelevano dall'esterno e la portano a temperatura costante per poi risalire per effetto della differenza di pressione dell'aria servendo i singoli alloggi.

Ciò costituisce un sistema valido durante tutto l'anno che si apprezza in particolare d'estate perchè l'aria immessa nei singoli appartamenti ha una temperatura sensibilmente più bassa di quella esterna determinando un miglioramento del *comfort*. In inverno invece l'aria immessa è più calda di quella esterna ma in ogni caso deve essere integrata con il sistema di riscaldamento.

L'introduzione di atri bioclimatici, cioè spazi sul quale si affacciano gli alloggi dell'edificio ai diversi piani permette una modulazione delle variazioni di temperatura tra esterno e interno grazie all'inerzia termica a vantaggio degli ambienti adiacenti sia dal punto di vista termico sia dei consumi energetici: d'inverno accumulano calore in virtù della chiusura degli involucri vetrati e dell'attivazione di masse d'aria



Fig. 28: Masterplan della Zona Urbanistica 5e - San Basilio.

interne, mentre d'estate gli involucri aperti permettono una ventilazione naturale strategica, il raffrescamento passivo degli ambienti in fase notturna e i ricambi d'aria.

Risultano essere inoltre un importante contributo in termini d'illuminazione naturale a tutti gli spazi collettivi dell'edificio durante l'intero anno (Tucci, 2018b).

Analogo comportamento termico degli atri si realizza con l'uso di serre solari per ogni alloggio, ove le aperture saranno dotate invece di schermature mobili in legno per garantire in estate l'ombreggiamento



Fig. 29: Masterplan del PdZ 02-V San Basilio.

e d'inverno per sfruttare l'esposizione solare; prevista infine la presenza di pareti vegetate con la primaria funzione di raffrescamento e importanti ricadute sul microclima urbano di contesto, mitigando l'effetto di isola di calore contenendo il filtraggio e l'assorbimento di carbonio dall'atmosfera. Le azioni di riqualificazione degli spazi aperti adottati si basa principalmente su due assi strategici:

- Incremento delle masse vegetazionali, autoctone e ad alta capacità di mitigazione ambientale;
- Incremento delle superfici permeabili, recupero degli spazi aperti fortemente degradati.

La realizzazione, come dispositivi tecnologici-ambientali di rain garden per il recupero delle acque meteoriche in corrispondenza dei singoli edifici e di wetland nelle depressioni artificiali del terreno per costituire bacini di raccolta delle acque e loro indirizzamento controllato, divengono azioni concrete di mitigazione al rischio di precipitazioni intense. In caso di piogge intense le piazze diventeranno bacini di raccolta delle acque che saranno stoccate in serbatoi e utilizzate per l'irrigazione delle aree verdi (*Water Square*). Si prevede inoltre il recupero e la gestione delle acque attraverso il potenziamento dell'impianto di depurazione del quartiere per il reintegro delle stesse a fini di irrigazione e riutilizzo per i servizi igienici degli alloggi presenti.



Fig. 30: Layer di progetto della Zona Urbanistica 5e - San Basilio.

- Masterplan relativo alla Zona Urbanistica 5e - San Basilio

Per il Masterplan relativo alla Zona Urbanistica 5e - San Basilio obiettivo primario è risultato essere la creazione di piazze pubbliche, collegate tra loro attraverso percorsi pedonali permeabili che attraversano gli edifici e costituiti principalmente da terre battute e compattate. Tali percorsi definiscono un articolato sistema di orti urbani volti a incrementare la fruibilità degli spazi aperti, la convivialità e la socialità dei fruitori, nonché la creazione di posti di lavoro per la vendita al dettaglio delle colture piantumate. Gli spazi aperti vengono incrementati, decentrando il sistema viario alle aree limitrofe dell'area con possibilità, per i mezzi di emergenza e di carico/scarico merci, di raggiungere il centro del distretto. La riqualificazione degli spazi esterni attraverso l'uso della masse vegetali, di pavimentazioni permeabili e di arredo urbano, nonché la funzionalizzazione di aree per lo svago e il tempo libero con un'impronta *green*, rispondono alle esigenze di complessivo miglioramento del comportamento bioclimatico ambientale con una positiva ricaduta sulla loro qualità e sul benessere ambientale, offrendo riscontri positivi anche all'asse strategico che vuole elevare il loro grado di fruibilità favorendone l'aggregazione sociale. I parametri ambientali e di benessere dei fruitori esaminati mostrano un complessivo miglioramento: la ventilazione naturale prevalente aumenta nelle condizioni estive per diminuire in quelle invernali, la temperatura potenziale dell'aria e della temperatura media radiante, a seguito di interventi di rigenerazione urbana, si riducono in estate aumentando i valori minimi in inverno, i parametri di *comfort* ambientale migliorano in coerenza con le strategie adottate in fase di progettazione. Di seguito si riportano, in dettaglio, i valori registrati nei punti chiave in cui sono stati adottati i criteri analizzati in precedenza. Sono stati considerati i seguenti punti di campionamento:

- Punto 1: area centro sportivo;
- Punto 2: spazio aperto di corte agli edifici ove è presente un sistema di orti urbani;



Fig. 31: Prospetti di un edificio residenziale tipo oggetto di rigenerazione urbana nella Zona Urbanistica 5e - San Basilio.

- Punto 3: boulevard lungo l'asse stradale di Via Recanati, punto di intersezione con Via Cagli;
- Punto 4: spazio aperto interstiziale fra le corti degli edifici.

La temperatura potenziale dell'aria diminuisce mediamente, nei quattro punti analizzati, fino a $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in estate (da $29,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $29,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) nel punto di campionamento 4, incrementando, fino a $+0,40\text{ }^{\circ}\text{C}$ nel punto di campionamento 3, in inverno (da $10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) risultato apprezzabile laddove la letteratura scientifica definisce ottimale una perdita estiva difficilmente superiore a $1-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le strategie progettuali adottate consentono una riduzione della temperatura media radiante in estate di $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sull'asse carrabile di Via Recanati, di $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ negli spazi interstiziali di corte degli edifici mentre aumenta mediamente, nei quattro punti di campionamento, di $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in inverno. La ventilazione naturale prevalente in estate incrementa da $0,47$ a $1,37\text{ m/s}$ nel punto 1, rimanendo costante negli spazi intermedi agli edifici. In inverno la riduzione è significativa: da $2,51$ a $1,65\text{ m/s}$ sull'asse carrabile di Via Recanati, da $0,34$ a $0,25\text{ m/s}$ negli spazi

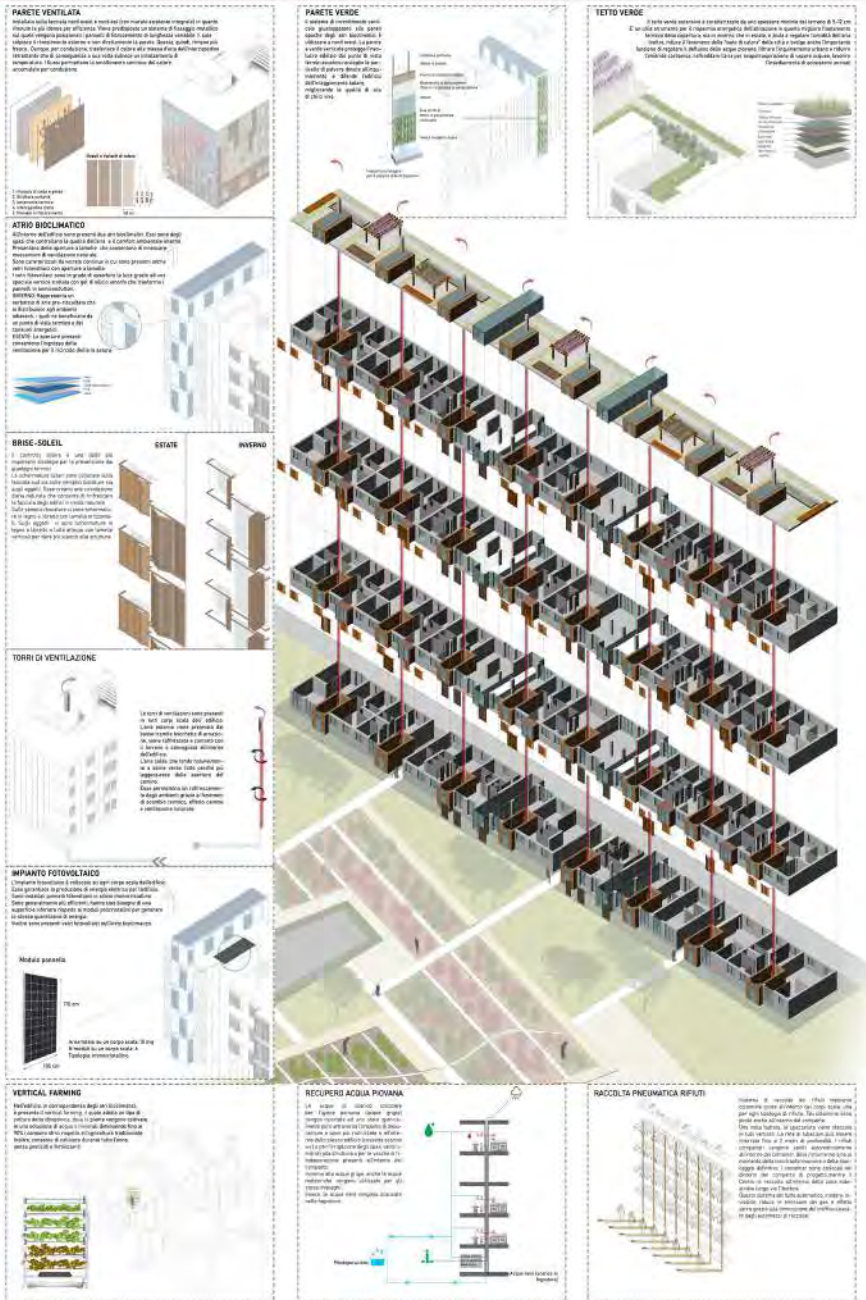


Fig. 32: Esploso assonometrico di un edificio campione oggetto di intervento nella Zona Urbanistica 5e - San Basilio.



Fig. 33: Simulazioni dei principali comportamenti bioclimatici invernali ed estivi nello stato *post operam* della Zona Urbanistica 5e - San Basilio

interni di corte agli edifici. Correlativamente ai tre parametri di base ambientali esaminati, l'adozione degli indici di comfort PMV e PPD forniscono maggiori informazioni in termini di comfort ambientale dei fruitori del luogo oggetto di sperimentazione con un miglioramento degli stessi tra la fase ante e post operam.

Il PMV mediamente scende di ben 1,7 punti in estate e incrementa di quasi 1,3 punti in inverno, posizionandosi, in tutti e quattro i punti di campionamento, sempre nella fascia di ottimalità della percezione del comfort tra -1,5 e +1,5, mentre la percentuale degli utenti-tipo 'insoddisfatti' (PPD) scende in media da 99 a 82% in estate e da 99 a 70% in inverno; risultati, questi ultimi, che mostrano il netto miglioramento del grado di soddisfazione attesa dei fruitori e della



Fig. 34: Planimetria dell'area di intervento con indicazione delle trasformazioni di trattamento materico della Zona Urbanistica 5e - San Basilio

piena efficacia delle scelte tecnologico-progettuali. Le masse vegetali introdotte, autoctone e native del luogo definiscono uno schermo continuo lungo tutto il perimetro dell'area, con specie arbustive situate negli spazi di corte degli edifici. Tra le specie introdotte si ricordano il *Fagus sylvatica*, *Olea europaea*, *Pinus pinea* e l'introduzione di ulteriori specie vegetazionali sostenibili e con elevate capacità di mitigazione ambientale nell'assorbimento e stoccaggio di carbonio dall'atmosfera, quali, ad esempio, *Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Populus alba*, *Tilia cordata*, *Ulmus minor*.

L'incremento delle masse arboree garantirà dal punto di vista climatico, il filtraggio e l'indirizzamento delle correnti di ventilazione prevalenti favorendo un ombreggiamento nel periodo estivo e un maggiore assorbimento degli agenti inquinanti. Le alberature posizionate ai margini del complesso fungeranno da barriera naturale

Per la rete dei rifiuti si prevede la realizzazione di un sistema pneumatico costituito da torri per il conferimento delle frazioni di organico, plastica e carta all'interno dei corpi connettivi dei singoli edifici e conferimento in apposite aree per il successivo trattamento. Tale sistema definisce una riduzione delle emissioni di carbonio del 49% (-1.203.268 kgCO₂eq/a). Il sistema Energia e Bioclimatica viene strutturato attraverso una completa alimentazione del distretto da fonti energetiche rinnovabili; presente un sistema fotovoltaico ed eolico che, combinato con la produzione di energia da biomassa (manutenzione degli spazi aperti e recupero dei rifiuti organici), permette la neutralità carbonica con un surplus energetico per l'alimentazione di stazioni di ricarica per autoveicoli elettrici.

Il sistema della mobilità presenta un deciso incremento della mobilità pubblica e dolce, l'introduzione di servizi di *car&bike sharing*, disincentivando conseguentemente la mobilità privata con strategie tecnologie sopracitate. Tali soluzioni permettono una riduzione complessiva delle emissioni di carbonio del 68% (-824.877 kgCO₂eq/a).



Fig. 37: Layer di progetto del PdZ 02-V San Basilio.

- Masterplan nel PdZ 02-V San Basilio

Il Masterplan nel PdZ 02-V San Basilio definisce una strategia fortemente incentrata all'incremento delle masse arboree e arbustive attraverso la rigenerazione degli spazi aperti presenti. La ridefinizione della viabilità interna permette il decentramento del carico veicolare con l'introduzione di piste ciclabili e percorsi pedonali permeabili che collegano trasversalmente gli edifici residenziali. Forme di orti urbani e di piazze pubbliche con spazi destinati a sport di vario genere incrementano i canoni della convivialità e della socialità locale, migliorando quindi il benessere dei fruitori.

Il recupero dei percorsi umidi permette la costituzione di una wetland a Est del distretto, sfruttando la conformazione orografica del luogo, introducendo quindi forme di *birdwatching* e di collegamenti pedonali lungo il canale. Per la verifica della strategie di mitigazione sono stati considerati i seguenti punti di campionamento:

- Punto A: spazio aperto di corte tra Via Gigliotti e Via C. Tranfo;
- Punto B: baricentro dell'asse viario (Via G. Mechelli) passante l'area oggetto di sperimentazione;
- Punto C: spazio aperto, lato Via C. Farina;
- Punto D: spazio di corte determinato tra l'intersezione dell'asse viario di Via G. Mechelli e Via L. Gigliotti.

In estate la temperatura potenziale dell'aria, nei punti esaminati si riduce mediamente da 29,49 a 29,62 °C, mentre la temperatura media radiante estiva passa da valori maggiori di 55 °C a valori inferiori a 40° con un range medio di 37 °C. In inverno la temperatura potenziale dell'aria aumenta mediamente di 0,8 °C nei punti di campionamento A, C e D e di 0,5 °C nel punto B, spazio di corte prevalentemente chiuso in ogni lato, dai manufatti edilizi. La temperatura media radiante aumenta mediamente di 4,9 °C in inverno nei punti di campionamento B, C e D, con un picco di 10 °C registrato nel punto A.

La ventilazione naturale in estate è significativamente diversa nei



Fig. 38: Prospetti di un edificio residenziale tipo oggetto di rigenerazione urbana nel PdZ 02-V San Basilio.

quattro punti campionati, con un incremento medio di $+0,80$ m/s negli spazi di corte rappresentati dai punti B e D e un incremento di $+1,77$ m/s nel punto A rispetto lo stato di fatto, favorendo quindi complessivamente una migliore canalizzazione dei venti con l'obiettivo di riduzione delle temperature percepite.

In inverno, in virtù delle strategie di rimboschimento urbano e di rigenerazione degli spazi aperti, si denota una riduzione media dei valori nei punti A e D di $0,10$ m/s, con un leggero incremento, nel punto C, di $+0,17$ m/s dovuto alla integrazione di soluzioni tecnologiche ambientali che prevedono lo stoccaggio in superficie delle acque recuperate in loco.

Ai parametri ambientali analizzati seguono gli indici di benessere psicofisico dell'individuo rispetto all'ambiente, PMV e PPD. Il PMV migliora complessivamente, in tutti i punti di campionamento sia in estate ($-1,2$ punti) che in inverno ($-0,7$ punti) collocandosi all'interno della fascia di percezione del *comfort* consigliata; il PPD, che indica la percentuale degli utenti insoddisfatti scende in media da 99 a 54 % in estate e da 98 a 65 % in inverno. Questi indici di benessere termo-igrometrico confermano la corretta scelta delle soluzioni tecnologiche-ambientali proposte al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati di rigenerazione degli spazi

4. Il progetto della mitigazione climatica verso la neutralità carbonica

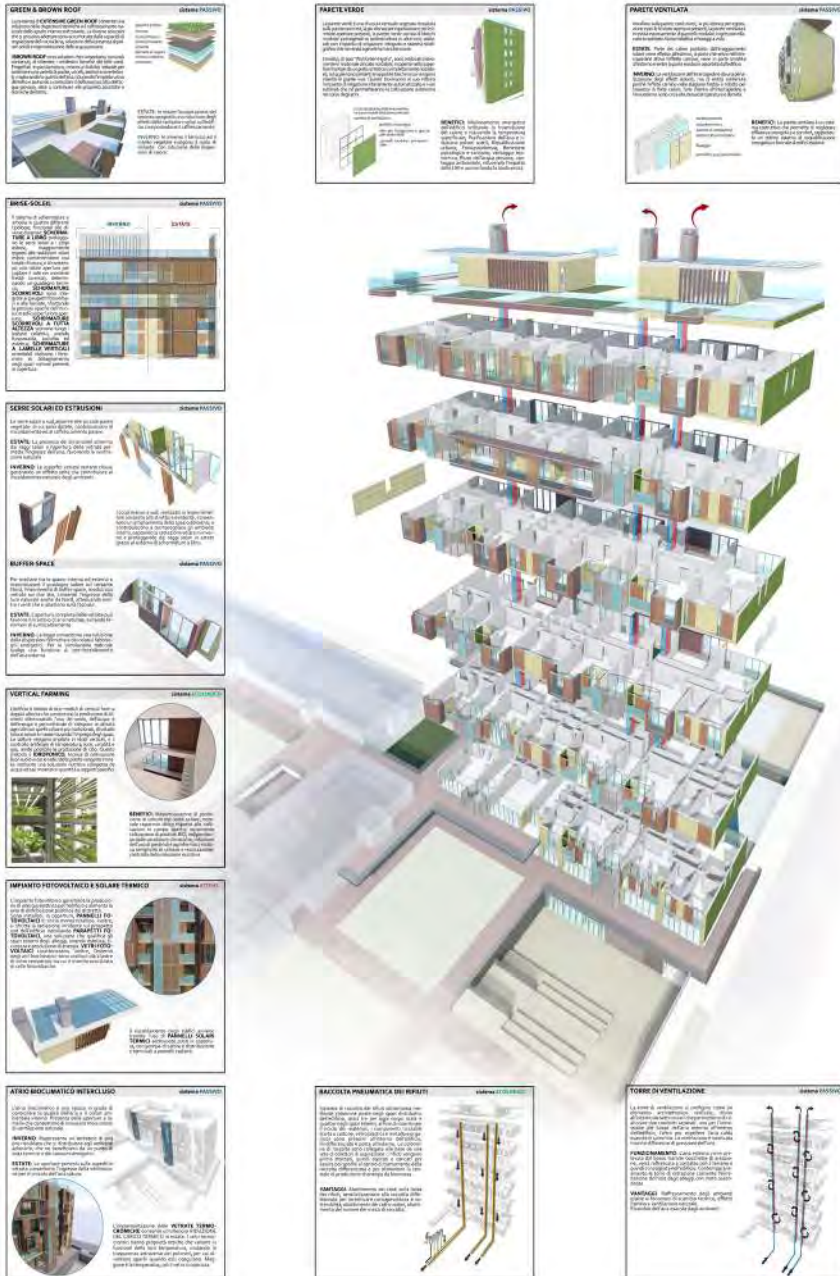


Fig. 39: Esploso assometrico di un edificio campione oggetto di intervento nel PdZ 02-V San Basilio.

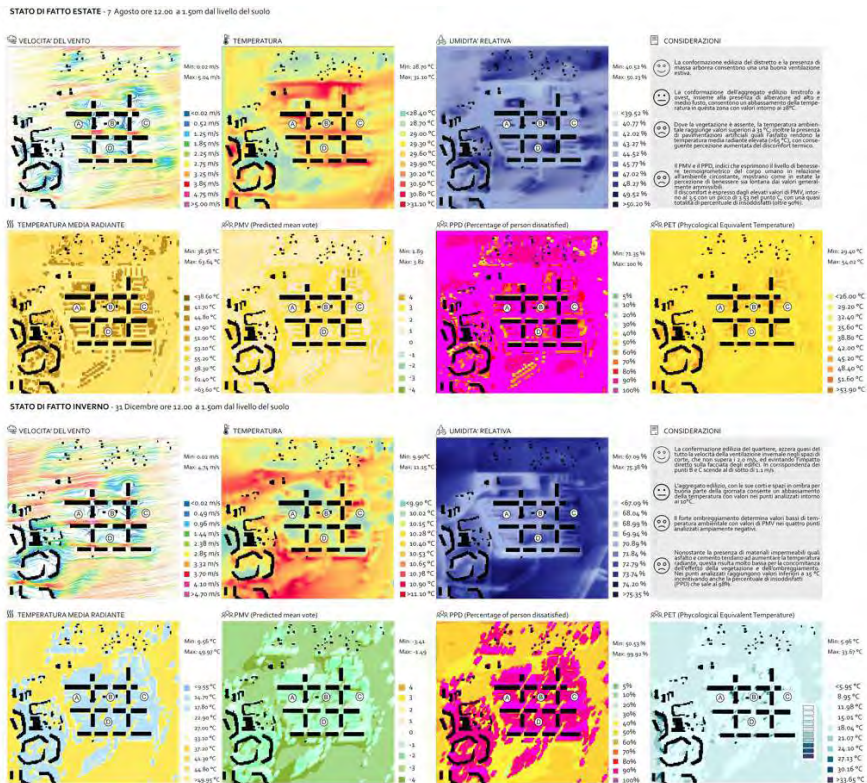


Fig. 40: Simulazioni dei principali comportamenti bioclimatici invernali ed estivi nello stato *post operam* del PdZ 02-V San Basilio.

pubblici per una complessiva valorizzazione dell'area oggetto di sperimentazione in termini economici, ambientali ed ecosistemici. Sfruttando i piani interrati degli edifici viene introdotto, per la rete dei rifiuti, un sistema pneumatico di raccolta, supportato da colonne di recupero all'interno degli spazi aperti. Tale strategia permette una riduzione delle emissioni di carbonio del 50% (-1.946.306 kgCO₂eq/a). Per la gestione del ciclo dell'acqua, il recupero in loco di tale risorsa, dalle coperture agli spazi aperti, attraverso serbatoi per il successivo riutilizzo, permette una riduzione delle emissioni di carbonio del 68% (-16.262 kgCO₂eq/a). Le masse arboree introdotte concorrono al potenziamento ambientale delle esistenti, elevando i caratteri di performance alla cattura del carbonio dall'atmosfera. Si ricordano l'introduzione di specie arboree quali



Fig. 41: Planimetria dell'area di intervento con indicazione delle trasformazioni di trattamento materico del PdZ 02-V San Basilio.

Betula pendula, *Citrus limon*, *Fagus sylvatica*, *Malus domestica*, *Acer platanoides*. Tale strategia di riforestazione urbana permette un incremento delle capacità di assorbimento del carbonio del 51% (+708.474 kgCO₂eq/a).

Il sistema Energia e Bioclimatica viene strutturato attraverso una completa alimentazione del distretto da fonti energetiche rinnovabili; a un completo efficientamento degli involucri e degli impianti dei manufatti edilizi, con conseguente riduzione dei fabbisogni energetici per raffrescamento e riscaldamento, è presente un sistema fotovoltaico ed eolico che, combinato con la produzione di energia da biomassa (manutenzione degli spazi aperti e recupero dei rifiuti organici), permette la neutralità carbonica con un surplus energetico per l'alimentazione di stazioni di ricarica per autoveicoli elettrici.

Il sistema della Mobilità si articola principalmente nell'introduzione di navette e bus a trazione elettrica e da un generale incremento della mobilità dolce, disincentivando fortemente la mobilità privata. Tali strategie permettono una riduzione delle emissioni di carbonio del 62% (-1.371.851 kgCO₂eq/a).

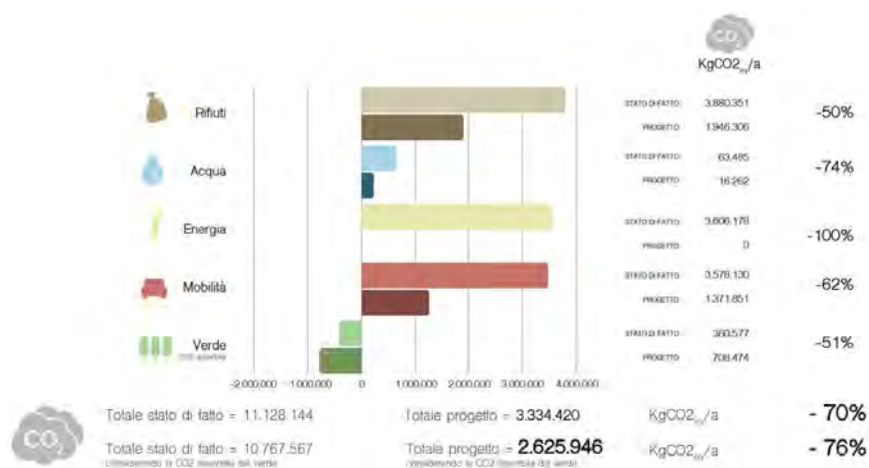


Fig. 44: Bilancio finale delle emissioni nell'area oggetto di sperimentazione Zona Urbanistica 5e - San Basilio

Tale richiesta energetica viene interamente soddisfatta da sistemi integrati per la produzione di energia da fonti rinnovabili quali fotovoltaico, solare e eolico posti principalmente nelle coperture degli edifici nonché da un recupero di energia proveniente dalla gestione della biomassa degli spazi aperti e dalla frazione organica inerente al ciclo dei rifiuti del distretto.

Una delle prime sfide attuali e del prossimo futuro per entrambi i quartieri oggetto della presente sperimentazione diviene quella di migliorare il benessere dei cittadini rifunzionalizzando, ad esempio, appartamenti con dimensioni non più consone alle richieste abitative attuali; ciò impone un ragionamento di tipo sociale ed economico, proponendo sia ai locatari che ai proprietari forme di *co-housing* e *social housing* per la condivisione di spazi e attività.

Tali processi incrementerebbero la *mixité* funzionale degli edifici introducendo nuove forme di socialità come laboratori di riparazione e riciclaggio di prodotti, spazi *co-working*, sale letture e sale fitness per il tempo libero, spazi per acquisti comuni in forma e-commerce coinvolgendo le associazioni del luogo e i comitati di quartiere attenti a valorizzare e incentivare tali nuove forme di socialità (Kang

4. Il progetto della mitigazione climatica verso la neutralità carbonica

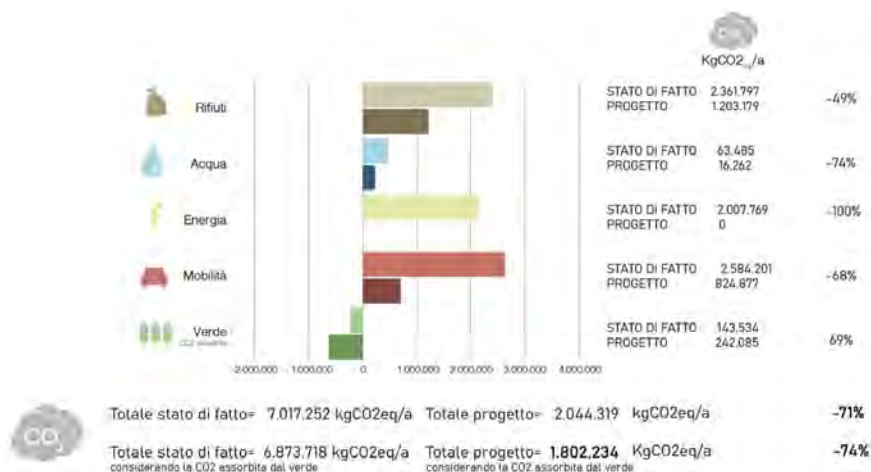


Fig. 45: Bilancio finale delle emissioni nell'area oggetto di sperimentazione PdZ 02-V San Basilio

et al., 2022). La ricerca ha evidenziato quanto sia difficile e complessa la lotta ai cambiamenti climatici e la sfida per restare nel limite di aumento della temperatura fissato dagli scienziati pena la messa a rischio della tenuta del sistema Terra, considerato che il tempo utile per intervenire si accorcia e gli impegni assunti da diversi Paesi sono ad oggi mantenuti solo parzialmente e non tutti si sentono coinvolti.

Risulta necessario pertanto puntare all'uso più razionale delle risorse migliorando la qualità dei servizi e della vita.

Riferimenti bibliografici

Abdolhosseini Qomi M. J., Noshadravan A., Sobstyl J. M., Pellenq R. J.-M., et al. (2016), 'Data analytics for simplifying thermal efficiency planning in cities', *Journal of the Royal Society Interface*, 13 (117), 1-10

Battisti A., Santucci D. (eds.) (2020), *Activating Public Space. An Approach for Climate Change Mitigation*, Technische Universität München Verlag, Monaco di Baviera

Boeri A., Battisti A., Asdrubali F., Sala M. (2017), 'Approccio progettuale, efficienza energetica, bioclimatica e fonti rinnovabili negli edifici, nelle città, nei territori', in Antonini E., Tucci F. (a cura di), *Architettura, città e territorio verso la Green Economy*, Edizioni Ambiente, Milano

- De Matteis F., Reale F., Reale L. (2018), *Quattro quartieri spazio urbano e spazio umano nella trasformazione dell'abitare pubblico a Roma*, Quodlibet, Macerata
- Dell'Aira P.V., Guarini P. (2019), *Residenza pubblica e condivisione identitaria: Esperienze di recupero dell'abitazione sociale*, Quodlibet, Roma
- Gaglione F. (2022), *Città e climate change. La vulnerabilità delle aree urbane alle isole di calore*, FedOA - Federico II University Press, Napoli
- Gregory P., Belibani R., Capanna A., Causarano R.M., Turano G. (2019), *Ri-habitat Roma: riqualificazione sostenibile per l'edilizia residenziale pubblica degli anni '50 del 20° secolo*, Edizioni Nuova cultura, Roma
- IEA (2019), 'Global Status Report for Buildings and Construction 2019', available at <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>
- ISPRA (2021), 'Transizione ecologica aperta. Dove va l'ambiente italiano? Annuario ISPRA Ambiente', available at <https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/eventi/2021/12/transizione-ecologica-aperta-dove-va-lambiente-italiano>
- ISTAT (2021), 'Annuario Statistico Italiano 2021', available at <https://www.istat.it/it/archivio/264305>
- Kang K.-Y., Wang X., Wang J., Xu S., Shou W., & Sun Y. (2022), 'Utility of BIM-CFD Integration in the Design and Performance Analysis for Buildings and Infrastructures of Architecture, Engineering and Construction Industry', *Buildings*, 12(5), 651-672
- Kuittinen M., Zernicke C., Slabik S., & Hafner A. (2021), 'How can carbon be stored in the built environment? A review of potential options', *Architectural science review*, [Doi.org/10.1080/00038628.2021.1896471](https://doi.org/10.1080/00038628.2021.1896471)
- Maksimovic M. (2018), 'Greening the Future: Green Internet of Things (G-IoT) as a Key Technological Enabler of Sustainable Development', in *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence*, 283-313, available at https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-60435-0_12
- Mattogno, C., Romano, R. (a cura di) (2019), *Dalla casa al paesaggio: edilizia residenziale pubblica e mutamenti dell'abitare a Roma*, Gangemi editore, Roma
- NOAA (2022), *Baseline Observatory peaked for 2022*, University of California San Diego, available at <https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels>
- Tucci F. (2020), 'Adaptive Design and Green Building Approach for the City of the Future', in Battisti, A., Santucci, D. (a cura di), *Activating Public Space. An Approach for Climate Change Mitigation*, Technische Universität München Verlag, Monaco
- Tucci F. (2018a), *Green Building and Dwelling*, Altralinea, Firenze, available at <https://www.hoepli.it/libro/costruire-e-abitare-green-approcci-strategie-sperimentazioni-per-una-progetta/9788894869033.html>
- Tucci F. (2018b), *Costruire e Abitare Green. Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una*

- Progettazione Tecnologica Ambientale | Green Building and Dwelling. Approaches, Strategies, Experimentation for an Environmental Technological Design*, Altralinea, Firenze
- Tucci F. (2017), 'Passive Cooling in Mediterranean Area for a Bioclimatic and Zero Energy Architecture', in Sayigh A. (eds), *Mediterranean Green Buildings & Renewable Energy*, Springer International Publishing Switzerland, Cham
- Tucci F. (2014), *Involucro, Clima, Energia. Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici | Envelope, Climate, Energy. Bioclimatic quality and energy efficiency in architecture in the environmental technological design of building skins*, Altralinea, Firenze
- Tucci F. (2012), *Atlante dei Sistemi Tecnologici per l'Architettura Bioclimatica. Ventilazione naturale negli edifici / Atlas of Technological Systems for Bioclimatic Architecture. Natural Building Ventilation*, Alinea, Firenze
- Tucci F., Battisti A. (2020), 'Green Economy for Sustainable and Adaptive Architectures and Cities: Objectives, Guidelines, Measures, Actions', in SBE Temuco (a cura di), *SBE: Urban Planning, Global Problems, Local Policies*, IOP Publishing, Temuco, Chile
- Tucci F., Cecafosso V. (2020), 'Retrofitting dello spazio pubblico per la qualità ambientale ed ecosistemica di città più Green', *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, 19, 256-270
- Tucci F., Santucci D., Endres E., Hausladen G. (2018), 'Smart Urban Districts: Dynamic Energy Systems for synergic interactions between Building and City', *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, Special Issue, 01, 92-102
- Tucci F., Sposito C. (a cura di) (2020), *Resilience between Mitigation and Adaptation*, Palermo University Press, Palermo

Verso la neutralità climatica di architetture e città *green* Approcci, indirizzi, strategie, azioni

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafosso, Paola Altamura, Gaia Turchetti

Il contesto geopolitico e climatico-ambientale in cui stiamo vivendo incide sempre più sul nostro modo di vivere e abitare, nella consapevolezza che le emissioni globali di inquinanti hanno raggiunto la soglia, in termini di carbonio, pari a 421 ppm, il 50% in più rispetto all'epoca preindustriale, e che la scarsità delle risorse materiali e immateriali avanza inesorabilmente. Ciò impone un immediato cambio di passo nell'approccio progettuale, con particolare attenzione nei confronti delle risorse ambientali, sempre più ridotte, impiegate per soddisfare la domanda degli usi finali dell'energia. Approcci, strategie, azioni progettuali per rigenerare i distretti urbani e le architetture esistenti per il raggiungimento di una piena neutralità climatica mediante soluzioni tecnologiche ambientali articolate sui sei assi strategici di transizione energetica, efficacia bioclimatica, circolarità delle risorse, mix funzionale, mobilità sostenibile e sottrazione *green* e *gray* di CO₂, divengono solide *milestones* per proporre nuovi modelli di sviluppo responsabile e sostenibile in grado di migliorare la qualità dell'ambiente attraverso approcci integrati, interscalari e pluridisciplinari. Obiettivo del presente libro, frutto di anni di intensa attività di ricerca tuttora in corso di sviluppo, è la costruzione di un quadro metodologico-chiave quale riferimento per la definizione di linee strategiche e soluzioni tecnologiche innovative che, nel perseguire gli obiettivi di neutralità climatica, sono al contempo volte a migliorare le performance ambientali, microclimatiche, ecologiche ed energetiche, incrementando la fruibilità e vivibilità degli spazi pubblici ed elevando la qualità ambientale e il benessere bioclimatico. Le ricadute applicative della ricerca si misurano con la dimensione della sperimentazione progettuale volta alla riqualificazione e rigenerazione ambientale di architetture, quartieri e distretti urbani, testando i miglioramenti conseguiti in termini di diminuzione delle emissioni di carbonio per una valutazione critica dei risultati ottenuti.

Fabrizio Tucci è professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura alla Sapienza Università di Roma, dove è direttore del Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, direttore del Master di II livello in Environmental Technological Design, coordinatore del curriculum di Progettazione Tecnologica Ambientale del Dottorato Planning, Design, Architectural Technology. È responsabile scientifico da 25 anni di progetti e ricerche nazionali e internazionali in materia di progettazione ambientale e *visiting professor* presso università tedesche e francesi. È coordinatore degli Stati Generali della Green Economy in Architettura e del Gruppo Internazionale di Esperti del Green City Network.

Valeria Cecafosso, architetto e PhD, è ricercatore (RTDA) presso il Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura della Sapienza Università di Roma, cultore della materia in Tecnologia dell'Architettura, vincitrice di diverse borse di studio per attività di ricerca all'estero, coordinatrice operativa di ricerche nazionali e internazionali. Svolge attività di ricerca nell'ambito degli aspetti tecnologici, bioclimatici, energetici, ambientali e di quelli di *simulation and modeling*.

Paola Altamura, architetto e PhD, è ricercatore (RTDA) presso il Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura della Sapienza Università di Roma, dove è dottore di ricerca in Progettazione Tecnologica Ambientale; svolge attività di ricerca e sperimentazione sull'efficacia ecologica degli interventi sull'ambiente costruito in ottica di *material resource efficiency*, circolarità e decarbonizzazione, anche attraverso collaborazioni con il BRE (UK) e l'ENEA.

Gaia Turchetti, architetto, è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura della Sapienza Università di Roma, dove è dottore di ricerca in Progettazione Tecnologica Ambientale e cultore della materia in Tecnologia dell'Architettura, specialista in beni architettonici e del paesaggio, con Diploma di alta specializzazione e ricerca nel patrimonio culturale e Master in Progettazione Architettonica per il Recupero dell'Edilizia Storica e degli Spazi Pubblici.