

Saveria O. Boulanger, Danila Longo,
Martina Massari

Energia e città

Pratiche e traiettorie
per la decarbonizzazione



Ricerche di tecnologia dell'architettura

FrancoAngeli 

RICERCHE DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

diretta da Jacopo Gaspari (Università di Bologna)

Comitato scientifico:

Laura Aelenei (LNEG), Alessandra Battisti (Sapienza Università di Roma),
Andrea Campioli (Politecnico di Milano), Pietro Davoli (Università di Ferrara),
Gareth Doherty (Harvard University), Stephen Emmitt (University of Bath),
Maria Luisa Germanà (Università di Palermo), Antonin Lupisek (Czech Technical
University in Prague), Antonello Monsù Scolaro (Università di Sassari),
Francesco Pilla (University College Dublin), Rosa Schiano-Phan (University
of Westminster), Antonella Violano (Università della Campania Luigi Vanvitelli).

La storica collana *Ricerche di Tecnologia dell'architettura* ha avuto, fin dalle origini, il desiderio di rappresentare la disciplina della tecnologia dell'architettura nelle sue diverse forme di relazione con il progetto di architettura, la trasformazione dell'ambiente costruito e gli operatori del settore edilizio. Nel corso dei decenni, ha pubblicato volumi che hanno descritto le traiettorie di innovazione e i cambiamenti culturali nel settore dell'edilizia, contribuendo a mantenere aggiornato l'ambito disciplinare.

Ricerche di Tecnologia dell'architettura raccoglie gli esiti di progetti di ricerca nazionali e internazionali, studi e ricerche sperimentali, tesi di dottorato di ricerca riguardanti teorie e metodi inerenti materiali e sistemi costruttivi, architettura sostenibile e riqualificazione, efficienza energetica e transizione a emissioni zero, approcci di economia circolare nel settore delle costruzioni.

Oltre al riconosciuto valore scientifico e accademico, la collana costituisce un apprezzato strumento di supporto nel campo dell'architettura e dell'ingegneria con spunti operativi per la professione, distinguendosi per il suo impegno nel descrivere la continua evoluzione della Tecnologia dell'architettura e dei suoi confini che, nel corso del tempo, si sono estesi per ricomprendere interessi di ricerca contigui, tra cui tecnologie digitali, modelli e processi avanzati, concept e servizi di progettazione innovativi in una prospettiva più ampia, orientata a dare risposte alle sfide future e agli impatti del cambiamento climatico sulle città contemporanee.

La collana nasce nel 1974 sotto la direzione di Raffaella Crespi e Guido Nardi. A partire dal 2012 la valutazione delle proposte è stata sottoposta a referaggio da parte di un Comitato scientifico diretto da Giovanni Zannoni, con lo scopo di individuare e selezionare i contributi più interessanti nell'ambito della Tecnologia dell'architettura. Dal 2025 questo incarico viene assunto da Jacopo Gaspari, ampliando gli ambiti di interesse alle discipline di confine della materia. I numerosi volumi pubblicati in questi anni delineano un efficace panorama dello stato e dell'evoluzione della ricerca nel settore della Tecnologia dell'architettura con alcuni testi che sono diventati delle basi fondative della disciplina.

A partire dal numero 87 della collana i volumi sono sottoposti a referaggio.



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: [Pubblica con noi](#)

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.

Saveria O. Boulanger, Danila Longo,
Martina Massari

Energia e città

**Pratiche e traiettorie
per la decarbonizzazione**

Ricerche di tecnologia dell'architettura

FrancoAngeli 

Pur essendo il risultato di una stretta collaborazione tra tutte le autrici e gli autori, si ritiene utile precisare la seguente attribuzione dei capitoli:

- Saveria O.M. Boulanger, Martina Massari e Danila Longo sono autrici del capitolo introduttivo “Transizione energetica e città clima-neutrali: approcci integrati e di innovazione”;
- Danila Longo e Andrea Boeri sono autori del capitolo 1;
- Danila Longo e Saveria O.M. Boulanger sono autrici del capitolo 2;
- Saveria O.M. Boulanger è autrice dei capitoli: 3 e 9;
- Danila Longo, Andrea Boeri e Serena Pagliula sono autori del capitolo 4;
- Martina Massari e Saveria O.M. Boulanger sono autrici del capitolo 5;
- Danila Longo e Giada Coleandro sono autrici del capitolo 6;
- Martina Massari, Francesca Sabatini, Beatrice Turillazzi sono autrici del capitolo 7;
- Danila Longo e Rossella Roversi sono autrici del capitolo 8;
- Martina Massari è autrice del capitolo 10.

La cura delle tre sezioni è così attribuita:

- Danila Longo, Sezione I;
- Martina Massari, Sezione II;
- Saveria O.M. Boulanger, Sezione III.

In copertina: Nicolò Maltoni, *La città che sale (in digitale)*, 2021
(per gentile concessione)

Saveria O. Boulanger, Danila Longo, Martina Massari, ***Energia e città. Pratiche e traiettorie per la decarbonizzazione***, Milano: FrancoAngeli, 2025
Isbn: 9788835183860 (eBook)

La versione digitale del volume è pubblicata in Open Access sul sito www.francoangeli.it.

Copyright © 2025 Saveria O. Boulanger, Danila Longo, Martina Massari.
Pubblicato da FrancoAngeli srl, Milano, Italia

L’opera è realizzata con licenza *Creative Commons Attribution 4.0 International license* (CC BY 4.0: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>). Tale licenza consente di condividere ogni parte dell’opera con ogni mezzo di comunicazione, su ogni supporto e in tutti i formati esistenti e sviluppati in futuro.
Consente inoltre di modificare l’opera per qualsiasi scopo, anche commerciale, per tutta la durata della licenza concessa all’autore, purché ogni modifica apportata venga indicata e venga fornito un link alla licenza stessa.

Indice

Transizione energetica e città clima-neutrali: approcci integrati e di innovazione	pag.	11
<i>Bibliografia</i>	»	14

Parte prima – La transizione energetica in Europa

a cura di Danila Longo

1. Decarbonizzazione dell’ambiente costruito.

Visione strategica e traiettorie di ricerca	»	17
1.1. Il contesto e la scala globale	»	17
1.2. Lo scenario energetico internazionale	»	19
1.3. La transizione energetica nell’Unione Europea	»	21
1.4. La situazione nazionale	»	22
1.5. Un approccio integrato alle politiche di decarbonizzazione	»	23
1.6. Scenari di decarbonizzazione: il mix energetico	»	24
1.7. Il ruolo delle energie rinnovabili	»	25
1.8. Principali criticità	»	26
1.9. Strategie e traiettorie di ricerca	»	28
1.10. Conclusioni	»	31
<i>Bibliografia</i>	»	31

2. La Mission europea per le 100 città clima-neutrali.

I <i>Climate City Contracts</i>	»	37
2.1. Le sfide della <i>governance</i> multilivello e multiattoriale per la neutralità climatica	»	39
2.2. I <i>Climate City Contracts</i> e la <i>Mission 100 Climate Neutral and Smart Cities</i>	»	43
<i>Bibliografia</i>	»	49

3. Le comunità energetiche in Europa	pag.	52
3.1. Le comunità energetiche in Europa: quadro normativo di riferimento	»	53
3.2. Le comunità energetiche in Italia: quadro normativo di riferimento	»	56
3.3. Casi di studio	»	59
3.3.1. Casi studio di comunità energetiche europee	»	61
3.3.2. I progetti europei e le comunità energetiche	»	63
3.4. Criticità e potenzialità per le comunità energetiche europee	»	68
<i>Bibliografia</i>	»	69
4. Politiche multilivello e iniziative per contrastare la povertà energetica. I piani energetici e il principio di equità dei PAESC	»	71
4.1. Analisi normativa	»	72
4.1.1. <i>European Green Deal</i> e transizione giusta	»	73
4.1.2. <i>Clean Energy for All Europeans Package</i>	»	76
4.1.3. <i>Social Climate Fund</i>	»	77
4.2. Il Patto dei Sindaci europeo e il <i>pillar</i> povertà energetica	»	78
4.3. L'integrazione della povertà energetica nei piani d'azione PAESC	»	81
4.4. Esempio di azioni specifiche per il contrasto della povertà energetica	»	83
<i>Bibliografia</i>	»	88

**Parte seconda – Approcci e strategie di partecipazione
attiva alla decarbonizzazione delle città**

a cura di Martina Massari

5. Cittadinanza energetica e percorsi di transizione delle comunità. Approcci metodologici e pratiche	»	91
5.1. Energia condivisa: il ruolo attivo della cittadinanza nella transizione energetica	»	91
5.1.1. Cittadinanza energetica, definizioni e decostruzione di una <i>buzzword</i>	»	94
5.1.2. Le barriere alla cittadinanza energetica	»	96
5.1.3. Fattori territoriali e spaziali	»	97

5.2. Esperienze di cittadinanza energetica nel progetto GRETA	pag.	98
5.2.1. Pilastro-Roveri: un processo comunitario con radici nel territorio	»	99
5.2.2. Quartieri senza gas naturale nei Paesi Bassi: una transizione guidata dalla cittadinanza	»	100
5.2.3. Coopérnico: un modello di cooperativa energetica per il Portogallo	»	101
5.2.4. UR BEROA: una cooperativa energetica di quartiere in Spagna	»	102
5.2.5. <i>Earnest App</i> : una comunità virtuale per la mobilità sostenibile in Germania	»	103
5.2.6. Mobilità Connessa e Cooperativa Autonoma (CCAM)	»	103
5.3. Percorsi di transizione e modelli di <i>governance</i>	»	104
5.3.1. I percorsi di transizione del progetto GRETA: aspetti principali e <i>Community Transition Canvas</i>	»	105
5.3.2. La struttura del <i>Community Transition Canvas</i>	»	106
5.3.3. Aspetti chiave dei CTP dei casi studio del progetto GRETA	»	107
5.4. Prospettive di azione, ricerca, progetto	»	109
<i>Bibliografia</i>	»	114

6. Dalla teoria alla pratica della cittadinanza energetica: il Manifesto e i Contratti di Cittadinanza Energetica come dispositivi trasformativi	»	116
6.1. La transizione energetica e le sfide sociali	»	119
6.2. Contratto sociale: un concetto in crisi in una società in transizione	»	122
6.3. La cittadinanza energetica e nuove forme di partecipazione alla transizione	»	124
6.4. La proposta del contratto di cittadinanza energetica per una transizione giusta	»	126
6.5. Il Manifesto per la Cittadinanza Energetica: una piattaforma concettuale e operativa	»	128
6.6. Conclusioni: bisogni e sfide del futuro	»	130
<i>Bibliografia</i>	»	131

7. Oltre la formazione: il ruolo sperimentale delle università nelle politiche energetiche locali	pag.	135
7.1. Le università come infrastrutture socio-tecniche per la transizione energetica	»	139
7.2. Il progetto EN-ACTION e il Campus di Cesena come laboratorio di transizione	»	141
7.2.1. Spazio fisico: il campus come luogo di sperimentazione	»	143
7.2.2. Ambiente educativo: formare cittadini energeticamente consapevoli	»	143
7.2.3. Attore di <i>governance</i> : mediazione tra istituzioni e comunità	»	144
7.2.4. EN-ACTION e GRETA: convergenze metodologiche e adattamento locale	»	144
7.3. Università e <i>governance</i> dell'energia: un modello scalabile	»	145
7.3.1. Le università come piattaforme multi-attore	»	145
7.3.2. Le condizioni di scalabilità: risorse, <i>governance</i> , cultura	»	145
7.3.3. Ricerca-azione e trasformazione sistemica	»	147
7.4. Replicabilità e prospettive	»	147
<i>Bibliografia</i>	»	149

Parte terza – Prospettive e strategie future
a cura di Saveria O.M. Boulanger

8. La modellazione energetica della città e il Gemello Digitale Urbano	»	153
8.1. Il Gemello Digitale Urbano: definizione e caratteristiche	»	154
8.2. La modellazione energetica urbana	»	155
8.3. La sperimentazione della ricerca sulla città di Bologna	»	157
8.3.1. + <i>CityxChange</i> e GRETA	»	157
8.3.2. Il Gemello Digitale Civico di Bologna	»	159
8.4. Conclusioni	»	163
<i>Bibliografia</i>	»	164
9. Gli impatti dei percorsi di transizione e <i>roadmap</i> per le città europee: analisi critica	»	167
9.1. I percorsi di transizione e delle <i>roadmaps</i> per la transizione climatica: alcune definizioni e riflessioni critiche	»	168

9.1.1. Definizioni, origini e modelli	pag.	169
9.1.2. Approcci critici	»	172
9.2. Casi di percorsi di transizione a livello mondiale ed europeo	»	175
9.3. La misurazione degli impatti nei percorsi di transizione locali	»	180
9.4. I possibili impatti dei <i>Community Transition Pathways</i> del progetto GRETA	»	182
9.5. L'integrazione delle progettualità pilota in percorsi di lungo termine	»	183
<i>Bibliografia</i>	»	185
10. La scala urbana dell'energia. Dalla gestione dell'emergenza alla <i>preparedness</i>	»	187
10.1. Energia in piano	»	190
10.2. Progettare lo spazio dell'energia	»	195
10.3. Pratiche energetiche collettive di uso e gestione dell'energia	»	200
10.4. Transizione energetica: un quadro in movimento da emergenza a <i>preparedness</i>	»	203
10.5. Riflessioni e note conclusive	»	206
<i>Bibliografia</i>	»	207
Le Autrici	»	211

8. La modellazione energetica della città e il Gemello Digitale Urbano

8. City Energy Modelling and Urban Digital Twins

This chapter explores the integration of energy modeling and Urban Digital Twins (UDTs) as tools to support the ecological and digital transition in cities. It examines the role of UDTs in optimizing energy consumption, integrating renewable sources, and enabling data-driven urban governance. Focusing on the case study of Bologna, it presents the methodologies tested within the GRETA and +CityxChange projects, highlighting their applicability in real urban contexts. Particular emphasis is given to the Civic Digital Twin of Bologna, an innovative model that combines high-performance simulations with citizen participation and ethical data governance. The chapter concludes by discussing the technological, social and institutional challenges for the future development of inclusive, resilient and human-centered urban digital infrastructures.

La crescente complessità dei sistemi urbani, unita alla necessità di affrontare sfide globali come il cambiamento climatico, la gestione efficiente delle risorse naturali e l'ottimizzazione dei consumi energetici, ha spinto verso l'adozione di approcci innovativi che sfruttano tecnologie avanzate. Le città sono protagoniste della doppia transizione energetica e digitale, ma per massimizzare i benefici servono strumenti tecnologici integrati, come i Gemelli Digitali Urbani (GDU), in grado di supportare la pianificazione, la previsione e la gestione dei fenomeni urbani in un'ottica sostenibile (Ketzler *et al.*, 2020; Al-Sehrawy *et al.*, 2021). Un GDU è una replica virtuale di una città o di un suo sistema, che riproduce in tempo reale dinamiche e processi fisici, economici e sociali. La connessione tra il Gemello Digitale e il mondo fisico permette di osservare, simulare e ottimizzare diversi aspetti della città, come la gestione delle infrastrutture, la pianificazione del traffico, del verde, la sicurezza e la gestione dell'energia (Helbing *et al.*, 2023; Batty, 2024).

In particolare, la modellazione energetica in un contesto urbano è cruciale per ottimizzare i consumi, ridurre gli sprechi e garantire una transizione verso sistemi energetici più sostenibili (Zhang, *et al.*, 2019). I modelli di energia urbana consentono di simulare il comportamento dei consumi energetici a livello di singolo edificio, quartiere o città intera, tenendo conto di fattori come la domanda di energia, la disponibilità di fonti rinnovabili, le politiche di efficienza energetica e i sistemi di distribuzione energetica.

8.1. Il Gemello Digitale Urbano: definizione e caratteristiche

Il concetto di “gemello digitale” (*digital twin*) è stato originariamente sviluppato in ambito industriale, dove veniva utilizzato per replicare e simulare il comportamento di macchine, impianti o sistemi complessi in tempo reale. Negli ultimi anni, questo concetto è stato adattato e ampliato al contesto urbano, portando alla creazione del Gemello Digitale Urbano (Shahzad *et al.*, 2022; Mazzetto, 2024; Alvi *et al.*, 2025).

Il Gemello Digitale Urbano è una rappresentazione virtuale di un'intera città o di una sua porzione che permette di modellare, monitorare e ottimizzare la gestione delle risorse urbane attraverso simulazioni e analisi avanzate. Esso si compone di diversi elementi e tecnologie, tra cui:

- sensori IoT: dispositivi che raccolgono dati in tempo reale su vari aspetti della città, come temperatura, umidità, qualità dell'aria, traffico e consumo energetico;
- dati geospaziali: informazioni relative alla geolocalizzazione di edifici, strade, reti di trasporto, impianti energetici e altre infrastrutture;
- modelli di simulazione: software e algoritmi utilizzati per riprodurre il comportamento dinamico di sistemi urbani, come il flusso del traffico, l'utilizzo delle risorse naturali, il consumo energetico e le emissioni di gas serra;
- intelligenza artificiale e *machine learning*: tecnologie che analizzano i dati raccolti per identificare schemi, prevedere tendenze future e ottimizzare processi come la gestione energetica.

L'interconnessione di questi elementi permette di creare un modello digitale che riflette e simula il funzionamento di una città, aggiornato in tempo reale. Le decisioni basate su questo modello possono essere utilizzate per ottimizzare la pianificazione urbanistica, gestire le risorse, risolvere problemi come il sovraffollamento o la congestione, migliorare la sostenibilità e ridurre l'impatto ambientale.

Nonostante il crescente interesse e le potenzialità, le tecnologie alla base dei GDU sono ancora immature e sussistono numerose criticità legate a interoperabilità, accesso ai dati, privacy e standardizzazione. Tuttavia, molte città europee – tra cui Helsinki (Hämäläinen, 2021), Zurigo, Dublino e Amsterdam (Caprari *et al.*, 2022) – stanno già sperimentando l'uso dei GDU per affrontare la decarbonizzazione, la rigenerazione urbana e l'inclusione sociale, adottando un approccio laboratoriale interdisciplinare (Ketzler *et al.*, 2020; Al-Sehrawy, Kumar and Watson, 2021; Deren, Wenbo and Zhenfeng, 2021; Shahat, Hyun and Yeom, 2021; Attaran and Celik, 2023).

8.2. La modellazione energetica urbana

La modellazione energetica è un aspetto fondamentale nella progettazione e gestione delle città moderne, soprattutto in un contesto di transizione verso la sostenibilità energetica (Koirala, 2024). La crescente domanda di energia e la necessità di ridurre le emissioni di gas serra rendono cruciale l'adozione di modelli energetici che consentano di ottimizzare l'uso delle risorse, migliorare l'efficienza e integrare fonti rinnovabili. La modellazione energetica urbana comprende una serie di attività che vanno dalla simulazione dei consumi energetici alla pianificazione delle reti di distribuzione e all'analisi delle politiche energetiche.

Alcuni degli aspetti principali della modellazione energetica urbana includono:

- bilanci energetici: calcolo delle risorse energetiche disponibili in una città, comprese le fonti rinnovabili (solare, eolico, geotermico), le fonti non rinnovabili (carbone, gas, petrolio) e i consumi energetici complessivi; simulazione della domanda energetica: stima dei consumi a livello di singolo edificio, quartiere o città, in base a variabili come la densità abitativa, l'uso degli spazi, i comportamenti di consumo e le politiche di efficienza energetica;
- ottimizzazione delle reti di distribuzione: analisi delle reti elettriche e termiche per migliorare l'efficienza nella distribuzione dell'energia e ridurre le perdite;
- integrazione delle fonti rinnovabili: studio dell'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili nelle reti urbane, ottimizzando l'uso delle risorse solari, eoliche e altre;
- tecnologie di stoccaggio e gestione della domanda: utilizzo di sistemi di accumulo energetico e strategie di gestione della domanda per bilanciare l'offerta e la domanda di energia in tempo reale;
- analisi delle emissioni: calcolo delle emissioni di CO₂ e altri gas climalteranti legate ai consumi energetici urbani, per valutare scenari di decarbonizzazione in linea con gli obiettivi climatici;
- scenari e pianificazione: sviluppo di scenari evolutivi a medio-lungo termine (ad es. al 2030 o 2050) per supportare le decisioni di pianificazione urbanistica ed energetica, simulando gli effetti di diverse politiche (ad es. incentivi, regolamenti) o cambiamenti tecnologici sul sistema energetico urbano.

Nel processo di transizione energetica, l'evoluzione delle reti elettriche in *smart grid* è un elemento chiave, che coinvolge tanto le infrastrutture quanto gli attori del sistema, inclusi i cittadini (Gantioler *et al.*, 2024). La trasformazione digitale dell'energia urbana permette di affrontare sfide come l'aumento

dell'efficienza energetica, la produzione diffusa di energia da fonti rinnovabili, la costituzione di comunità energetiche e la mobilità elettrica.

Nel quadro delle *smart city*, il GD rappresenta un'evoluzione che supera la semplice digitalizzazione, configurandosi come un sistema integrato di conoscenza urbana. Esso permette la simulazione del comportamento energetico degli edifici e delle reti, l'analisi dei flussi di mobilità, la gestione delle infrastrutture e dei servizi, supportando un approccio olistico alla *governance* urbana (Deren *et al.*, 2021).

Il GD consente un livello di conoscenza avanzato su questi fenomeni e la possibilità di monitorarne l'evoluzione in modo predittivo e dettagliato. L'efficienza energetica delle città è uno degli obiettivi principali: attraverso i GD è possibile ottimizzare i consumi, integrare le rinnovabili e pianificare sistemi intelligenti per la gestione delle risorse (Bortolini *et al.*, 2022).

Un caso emblematico è la pianificazione delle comunità energetiche: il GD consente di definire dove istituirle (ad es. aree servite da cabine primarie) e come dimensionarle per ottimizzare produzione e carichi (Nguyen-Huu *et al.*, 2022; Prevedi *et al.*, 2023). Inoltre, può supportare l'elettrificazione della mobilità, a condizione che vi sia un'integrazione strutturata con la pianificazione urbana (Kirpes *et al.*, 2019).

Diversi casi studio internazionali dimostrano le potenzialità dei GD urbani. A Zurigo, l'accento è posto sulla pianificazione solare e la ventilazione urbana (Schrotter and Hürzeler, 2020); a Helsinki, un GD 3D fornisce dati energetici, simulazioni di CO₂ e valutazioni di efficientamento (Hämäläinen, 2021); a Cambridge e Dublino si sperimentano applicazioni semplificate su campus universitari (Qiuchen *et al.*, 2019). Torino ha utilizzato immagini termografiche per stimare i consumi su scala distrettuale (Anselmo *et al.*, 2023).

Tutti questi esempi mostrano una sfida comune: l'accesso a dati affidabili, dettagliati e aggiornati.

L'adozione di GD in ambito energetico richiede infatti la gestione di dati eterogenei e spesso difficili da integrare, per questioni di formato, proprietà, accessibilità o privacy (Ramaswami *et al.*, 2023). Ciononostante, l'energia è uno dei settori prioritari in cui i GD possono dimostrare appieno il loro potenziale, fornendo strumenti di supporto alle decisioni basati su simulazioni dinamiche.

Tecnologie emergenti come l'intelligenza artificiale, l'*Internet of Things* (Hammi *et al.*, 2018), la realtà aumentata e la modellazione 3D sono alla base di questo ecosistema integrato, in grado di produrre simulazioni avanzate.

La metodologia descritta nel presente capitolo mira a superare tale ostacolo con un approccio adattivo, basato su modelli semplificati ma efficaci.

8.3. La sperimentazione della ricerca sulla città di Bologna

8.3.1. +CityxChange e GRETA

Le città stanno sperimentando soluzioni innovative in contesti applicativi reali. Il settore energetico, pur essendo prioritario, presenta notevoli complessità legate alla disponibilità, interoperabilità e utilizzo etico dei dati (Ramaswami *et al.*, 2023). Tra le città italiane impegnate in questo percorso si distingue Bologna, selezionata dalla Missione europea *100 Climate-neutral and Smart Cities by 2030*. La città si è dotata di un'infrastruttura sperimentale per la modellazione energetica, nell'ambito dei progetti H2020 GRETA¹ e +CityxChange², realizzando un prototipo funzionale, flessibile e orientato alla decarbonizzazione. La metodologia adottata consente di ottenere valutazioni anche in assenza di modelli BIM o banche dati dettagliate, superando limiti legati alla privacy (ad es. il sistema SACE³ in Emilia-Romagna che tutela i dati catastali sensibili).

Nel contesto dei progetti GRETA e +CityxChange, i partner di progetto (in particolare Tecnalìa⁴ e l'Università di Bologna per GRETA e R2M Solution⁵ per +CityxChange) hanno testato questa metodologia in cinque città italiane: Bologna, Milano, Roma, Udine e Crispiano. Utilizzando il software IES *Intelligent Community Lifecycle* ICL⁶, è stato possibile creare modelli dinamici in grado di valutare consumi, emissioni, costi e potenzialità delle fonti rinnovabili. L'approccio adottato prevede un percorso incrementale: efficienza passiva, miglioramento impiantistico, installazione di rinnovabili e scambio energetico tra edifici.

A Bologna, il metodo è stato applicato al distretto Pilastro-Roveri (area produttiva-residenziale) (Figg. 8.1 e 8.2) e al centro storico (Pratello/Sant'Isaia) per testarne l'efficacia. I dati sono stati acquisiti da catasto, *Open Data* e GIS comunali, integrati con dati climatici e modellati in 3D con

¹ GRETA – *G*reen *E*nergy *T*ransition *A*ctions. GA101022317. Cfr. <https://projectgreta.eu>.

² Il progetto +CityxChange, di durata quinquennale, è terminato nell'ottobre 2023. GA 824260. Cfr. <https://cityxchange.eu/>.

³ Cfr. <https://energia.regione.emilia-romagna.it/riqualificazione-edifici-e-certificazione-energetica/certificazione-energetica/catasto-energetico-sace>.

⁴ Tecnalìa è il più grande centro di ricerca applicata e sviluppo tecnologico della Spagna, un punto di riferimento europeo e membro dell'Alleanza Basca per la Ricerca e la Tecnologia. Cfr. <https://www.tecnalia.com/en>.

⁵ R2M Solution è una società di ingegneria specializzata in consulenza integrata e multidisciplinare che opera come raccordo tra mondo della ricerca ed il mercato, consentendovi la migrazione di tecnologie e servizi innovativi. Cfr. <https://www.r2msolution.com/it/>.

⁶ Per approfondimenti su ICL di IES cfr. <https://www.r2msolution.com/it/services/prodotti-innovativi/ies-icl-2/>.

il software iCD, plugin di SketchUp. In base alle caratteristiche edilizie (anno, piani, tipologia d'uso), si sono simulate diverse strategie di retrofit energetico.

È stata calcolata la *baseline* energetica degli edifici e sono stati simulati scenari alternativi con misure attive e passive (cappotti termici, sostituzione infissi, upgrade impianti, installazione fotovoltaico). Sono stati considerati anche i vincoli storico-architettonici, prevedendo soluzioni compatibili come l'isolamento interno nei fabbricati di valore storico. I risultati evidenziano una significativa riduzione dei consumi e delle emissioni ottenibile, dimostrando l'efficacia del modello anche in contesti vincolati (Longo *et al.*, 2024).



Fig. 8.1 - Quartiere Pilastro-Roveri (BO). A sinistra, i risultati delle simulazioni energetiche relative allo stato di fatto e all'applicazione di scenari di efficientamento attraverso misure passive ed attive. A destra, comparazione dei risultati dei tre scenari trasformativi incrementali. (Fonte: R2M Solution)

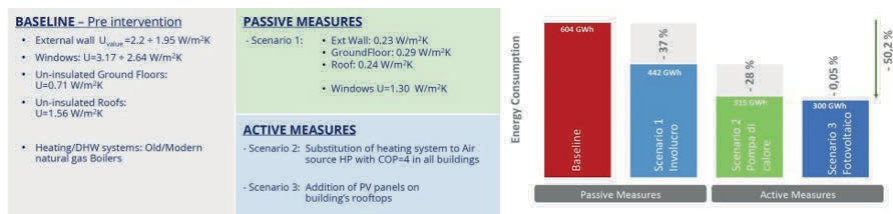


Fig. 8.2 - Quartiere Pilastro-Roveri (BO). A sinistra, i risultati delle simulazioni energetiche relative allo stato di fatto e all'applicazione di scenari di efficientamento attraverso misure passive ed attive. A destra, comparazione dei risultati dei tre scenari trasformativi incrementali. (Fonte: R2M Solution)

Per favorire la replicabilità, è stato sviluppato un diagramma di flusso che descrive i passaggi per la costruzione del GD urbano. Questo modello è scalabile e adattabile alla disponibilità di dati, dal singolo edificio all'intero quartiere. La metodologia integra anche una *dashboard* condivisa basata sulla piattaforma iCIM (IES), che consente di visualizzare le metriche ambientali e confrontare scenari alternativi⁷. I dati sono interrogabili e filtrabili, supportando un processo decisionale trasparente e partecipato. Un ulteriore sviluppo riguarda la pianificazione delle Comunità Energetiche Rinnovabili: tramite simulazioni dinamiche, si possono valutare accumuli, reti e sinergie tra edifici, creando una *roadmap* di decarbonizzazione sia temporale che finanziaria.

8.3.2. Il Gemello Digitale Civico di Bologna

Il Gemello Digitale Civico di Bologna rappresenta un'evoluzione significativa nell'approccio alla pianificazione e gestione urbana. Dal 2023 la città è impegnata nella costruzione di questo Gemello Digitale Urbano, con l'obiettivo generale di sviluppare una nuova infrastruttura civica a supporto dei processi decisionali della città, considerandola non solo una tecnologia capace di valorizzare il patrimonio di dati e i diversi asset tecnologici già sviluppati negli anni dalla città, ma anche come uno strumento volto a favorire la costruzione e lo scambio di conoscenza tra diversi attori cittadini (Luca *et al.*, 2024). Il Gemello Digitale Civico di Bologna è un progetto promosso da Comune di Bologna in partenariato con Università di Bologna, CINECA, Fondazione Bruno Kessler e Fondazione IU Rusconi Ghigi.

La sperimentazione sul verticale energia della città di Bologna è uno degli elementi chiave di questo progetto (Fig. 8.3). Attraverso la simulazione di scenari energetici urbani, il Gemello Digitale Civico consente di valutare l'impatto di diverse strategie di retrofit energetico sugli edifici; pianificare lo sviluppo di comunità energetiche, identificando le aree più adatte per l'installazione di impianti rinnovabili e valutando la fattibilità economica dei progetti; gestire in modo più efficiente le reti di distribuzione, ottimizzando i flussi di energia e riducendo le perdite; promuovere la consapevolezza e l'adozione di comportamenti più sostenibili da parte dei cittadini, fornendo informazioni chiare e accessibili sui consumi energetici e sulle opportunità di risparmio. In prospettiva, la capacità di integrare dati in tempo reale con modelli predittivi potrà permettere anche di suggerire azioni correttive immediate, completando così il ciclo decisionale che va dal monitoraggio, alla simulazione, fino all'attuazione di politiche basate sull'evidenza.

⁷ Per approfondimenti su iCIM di IES cfr: <https://www.iesve.com/support/icim>.

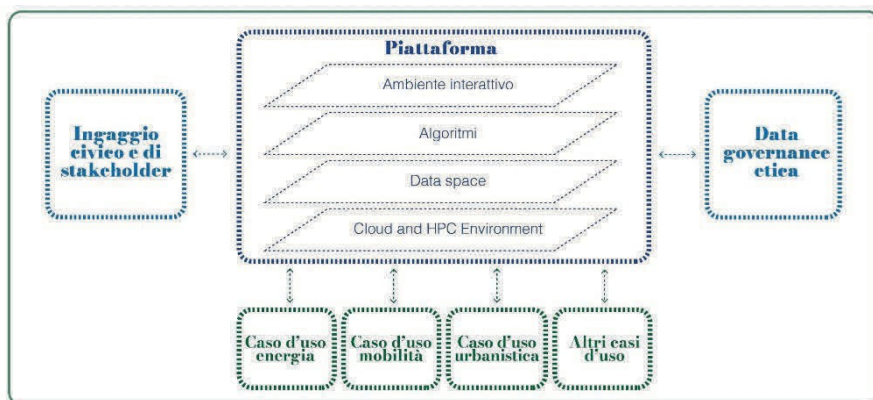


Fig. 8.3 - Schema della struttura del Gemello Digitale di Bologna. (Fonte: Comune di Bologna⁸)

Sul piano tecnico, il Gemello Digitale Civico, ai fini della modellazione energetica, impiega un sistema di simulazione basato su archetipi degli edifici (definiti da parametri come anno di costruzione, volume, numero di piani e finestre, ombreggiature, ecc.) utilizzando il motore EnergyPlus⁹. Un’innovazione chiave è l’utilizzo del supercomputer Leonardo (CINECA), che consente di effettuare simulazioni ad alte prestazioni in parallelo su larga scala (fino a 25.000 edifici simultaneamente), accelerando l’analisi di scenari energetici complessi. Questa capacità predittiva del sistema permette di esplorare in anticipo gli effetti di diverse scelte urbanistiche ed energetiche, migliorando la pianificazione e riducendo i rischi legati a decisioni non informate. Uno degli ostacoli riscontrati nella costruzione del modello riguarda l’eterogeneità e la incompletezza di alcuni dati di base, come ad esempio l’anno di costruzione di molti edifici. Per colmare queste lacune sarebbe prezioso ricorrere al contributo della *citizen science* e dei dati raccolti direttamente dai cittadini, che potrebbero fornire su base volontaria informazioni dal basso integrando le banche dati ufficiali.

Oltre agli avanzamenti tecnologici, ciò che distingue il Gemello Digitale Civico dai modelli tradizionali è proprio la forte enfasi sul coinvolgimento dei cittadini nel processo di raccolta, condivisione e interpretazione dei dati (Helbing, 2024). Questa partecipazione attiva non è solo una questione di democrazia, ma anche una strategia per garantire che le soluzioni tecnologiche siano effettivamente inclusive e rispondano alle esigenze reali della comunità. In linea con l’attenzione che l’amministrazione bolognese dedica da oltre un

⁸ After Festival, 2 ottobre 2024, presentazione di Stefania Paolazzi, Comune di Bologna. Cfr. <https://www.afterfestival.it/bologna/programma/gemello-digitale>.

⁹ Per approfondimenti su EnergyPlus cfr. <https://energyplus.net/>.

decennio alla partecipazione nei processi di sviluppo urbano e al design collaborativo, il progetto del gemello digitale è stato impostato fin dall’inizio secondo un approccio socio-tecnico (Roversi, 2024), dotando il partenariato di competenze multidisciplinari (sociologia, tecnologia dell’architettura, *service design*, partecipazione attiva, *human-computer interaction*).

L’obiettivo è evitare che lo sviluppo tecnologico avvenga in isolamento rispetto agli obiettivi socio-politici che lo ispirano (riassumibili nella democratizzazione dei processi decisionali e in una “transizione giusta” verso la sostenibilità) e rispetto al tessuto sociale cittadino specifico.

Coerentemente, il progetto presta grande attenzione anche alla dimensione etica e giuridica: è prevista infatti una *governance* “democratica” dei dati, con l’istituzione di un comitato scientifico e di un garante etico incaricati di assicurare la conformità alle normative su privacy e AI e di presidiare i valori sociali nel loro impiego. Pertanto, il progetto fa riferimento ai valori conformi ai principi emanati dalle *Ethics Guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence of the European Commission Independent High Level Expert Group on AI* (European Commission, 2019)¹⁰ e contribuisce direttamente alla lotta contro gli stereotipi di genere in linea con la *EU Gender Equality Strategy*¹¹ (2020-2025). La data *governance* integrata ed etica viene favorita e supportata attraverso lo sviluppo del *dataspace* di Bologna, attraverso il quale il Gemello Digitale promuove nell’amministrazione un nuovo approccio alla gestione dei dati; il *dataspace* viene popolato attraverso un processo codificato che integra le 4 dimensioni fondamentali della *governance* dei dati: legale, etica, tecnica e di valore. Per affrontare queste tematiche, vengono utilizzati in maniera sinergica diversi approcci, come l’utilizzo di metodologie di analisi basate sui concetti di responsabilità e il ricorso all’uso di dati sintetici.

Per massimizzare il valore pubblico generato dal gemello digitale, Bologna ha adottato una strategia di *stakeholder and citizen engagement* basata sul modello a quintupla elica, in linea anche con l’approccio del progetto GRETA, coinvolgendo fin dalle prime fasi una molteplicità di attori – settore pubblico, università e centri di ricerca, settore privato – e prevedendo nel secondo step di sviluppo del progetto la partecipazione attiva della società civile organizzata e cittadini (Fig. 8.4).

Il Gemello Digitale Civico è quindi concepito come una piattaforma aperta e modulare, capace di integrare contributi eterogenei e di formare gruppi distinti di attori da attivare a seconda della fase di sviluppo e dei casi d’uso implementati.

¹⁰ Per approfondimenti e scaricare il documento cfr. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d3988569-0434-11ea-8c1f-01aa75ed71a1>.

¹¹ Per approfondimenti e scaricare il documento cfr. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0152>.

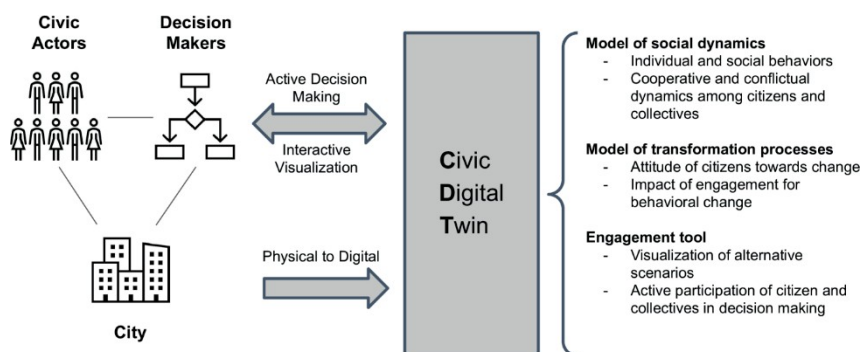


Fig. 8.4 - Modello concettuale del Gemello Digitale Civico della città di Bologna. (Fonte: Luca et al., 2024)

Un ulteriore elemento qualificante è la customizzazione della soluzione tecnologica: attraverso processi di design inclusivo, basati sulle teorie della *human-computer interaction* e su approcci *user-centered*, il progetto intende garantire l'accessibilità e l'usabilità del gemello digitale per tutti gli utenti finali. Le attività di *user experience (UX) research* accompagnano lo sviluppo dei diversi casi d'uso, coinvolgendo attivamente gli *stakeholder* nelle varie fasi: raccolta dei requisiti sociotecnici, mappatura dei bisogni, co-design della soluzione, sviluppo, validazione e valutazione dell'impatto. Questo processo collaborativo, oltre a rendere la tecnologia più aderente alle esigenze reali delle comunità locali, dovrebbe consolidare le competenze (*capacity building*) dei partecipanti, perché acquisiscano familiarità con i temi e gli strumenti digitali a mano a mano che contribuiscono al progetto. Il Gemello Digitale di Bologna si configura quindi come uno strumento al tempo stesso tecnologico e sociale, in cui il coinvolgimento attivo degli attori urbani contribuisce a plasmare e delineare il futuro della città.

Il Gemello Digitale Civico di Bologna si inserisce in un panorama pionieristico internazionale, distinguendosi per l'ambizione di portare il coinvolgimento civico a un livello ancora più avanzato: non solo offrire strumenti interattivi per la partecipazione, ma costruire un vero e proprio *civic digital twin* in cui i cittadini siano al tempo stesso oggetto della simulazione (attraverso la modellazione dei loro comportamenti, atteggiamenti e preferenze) e soggetto protagonista nello sviluppo e nell'uso dello strumento. Si tratta di un approccio innovativo e trasformativo, che potrebbe fare dell'impiego dei gemelli digitali un supporto prezioso nel processo di transizione climatica e di innovazione sociale.

8.4. Conclusioni

La modellazione energetica urbana si conferma un elemento cruciale per la transizione verso sistemi energetici più sostenibili. Gli studi condotti a Bologna e in altre città dimostrano come l'analisi quantitativa dei consumi e delle tecnologie, supportata da strumenti avanzati di simulazione, consenta di individuare strategie efficaci per ottimizzare i consumi, integrare le fonti rinnovabili e pianificare in modo efficiente le reti di distribuzione dell'energia. I risultati ottenuti evidenziano significative potenzialità di riduzione delle emissioni tramite interventi mirati di efficienza e l'adozione di soluzioni innovative quali le comunità energetiche locali.

Parallelamente, i Gemelli Digitali Urbani offrono un potenziale enorme per migliorare la gestione delle risorse urbane e supportare processi decisionali più informati e partecipati. L'esperienza del Gemello Digitale Civico di Bologna sottolinea come la dimensione tecnologica e quella sociale debbano procedere di pari passo: da un lato, l'integrazione di *big data*, modelli 3D e algoritmi di intelligenza artificiale fornisce capacità predittive e analitiche senza precedenti; dall'altro, l'approccio socio-tecnico orientato alla co-creazione e alla *governance* condivisa e multilivello garantisce che queste tecnologie producano effettivamente valore pubblico. Coinvolgere attivamente cittadini e *stakeholder* sin dalle fasi iniziali di progettazione permette di sviluppare soluzioni più inclusive e aderenti ai bisogni reali, oltre a generare fiducia e competenze diffuse nell'ecosistema urbano.

Per sfruttare appieno questo potenziale, resta necessario affrontare e superare alcune sfide chiave. In primo luogo, la standardizzazione e interoperabilità dei dati urbani: la condivisione di formati e piattaforme comuni è fondamentale affinché i diversi attori (enti pubblici, *utility*, università, aziende tecnologiche) possano contribuire e attingere al patrimonio informativo del gemello digitale. In secondo luogo, la tutela della *privacy* e la definizione di solidi *framework* etici: la raccolta massiva di dati e l'uso di IA sollevano legittime preoccupazioni, che richiedono meccanismi di controllo, trasparenza e regolamentazione adeguati. Infine, la creazione di modelli di *governance* inclusivi: il successo di un GDU non dipende solo dalla tecnologia, ma dalla capacità istituzionale di integrare questo strumento nei processi decisionali e di mantenerlo aperto al contributo continuo della comunità.

In prospettiva, il percorso evolutivo dei GDU dipenderà dalla capacità di integrare sempre meglio le diverse dimensioni della città – fisica, economica, sociale, culturale – in un'unica piattaforma coerente, e dalla volontà di sperimentare nuove forme di collaborazione tra pubblico e cittadini. In un contesto di rapide trasformazioni climatiche e tecnologiche, i GDU potranno svolgere un ruolo di catalizzatore per politiche urbane più *data-driven* ed *event-*

driven, anticipate, reattive e personalizzate, supportando le città nel divenire non solo più efficienti e “intelligenti”, ma anche più giuste e inclusive. Le esperienze pionieristiche condotte finora, sia in Italia che all'estero, sottolineano come un GDU, se ben governato, può trasformarsi in un'infrastruttura strategica di conoscenza collettiva: uno strumento con cui amministratori, esperti e cittadini apprendono insieme dalla città, progettando e attuando soluzioni per migliorare la qualità della vita dei cittadini.

Bibliografia

- Al-Sehrawy A.T., Kumar N.M. and Watson J. (2021), “Urban digital twins for smart cities: current status and future directions”, *Sustainability*, 13(7), 3538.
- Alvi M., Dutta H., Minerva R., Crespi N., Raza S.M. and Herath, M. (2025), “Global perspectives on digital twin smart cities: Innovations, challenges, and pathways to a sustainable urban future”, *Sustainable Cities and Society*, 106356.
- Anselmo S., Ferrara M., Cognati S.P. and Boccardo P. (2023), “Aerial urban observation to enhance energy assessment and planning towards climate-neutrality: A pilot application to the city of Turin”, *Sustainable Cities and Society*, 99.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104938>.
- Attaran M. and Celik B.G. (2023), “Digital Twin – Benefits, use cases, challenges, and opportunities”, *Decision Analytics Journal*, 6, 100165, 1-10.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>.
- Batty M. (2024), “Digital twins in city planning”, *Nature Computational Science*, 4(3),192-199.
Available at: <https://doi.org/10.1038/s43588-024-00606-7>.
- Bortolini R., Rodrigues R., Alavi H., Vecchia L.F.D. and Forcada N. (2022), “Digital Twins’ Applications for Building Energy Efficiency – A Review”, *Energies*, 15(19), 7002, 1-17. Available at: <https://doi.org/10.3390/en15197002>.
- Caldarelli G., Arcaute E., Barthelemy M., Batty M., Gershenson C. and Caprari G. *et al.* (2022), “Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era: A State of the Art and Future Perspectives”, *Sustainability*, 14(10), 6263.
- Deren L., Wenbo Y. and Zhenfeng S. (2021), “Smart city based on digital twins”, *Computational Urban Science*, 1(4), 1-11. Available at: <https://doi.org/10.1007/s43762-021-00005-y>.
- European Commission: Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology and Grupa ekspertów wysokiego szczebla ds. sztucznej inteligencji, Ethics guidelines for trustworthy AI, Publications Office, 2019.
Available at: <https://data.europa.eu/doi/10.2759/346720>.
- Fondazione Innovazione Urbana (2023). *Gemello Digitale di Bologna – Obiettivi e governance etica*. Available at: <https://www.fondazioneinnovazioneurbana.it/progetto/gemellodigitale>.
- Gantioler S., Balest J., Tomasi S., Voltolini F. and DellaValle N. (2023), “Transformative disruptiveness or transition? Revealing digitalization and deep decarbonization pathways in the Italian smart electricity meter roll-out”, *Energy Research and Social Science*, 106, 103309, 1-16. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103309>.
- Hämäläinen M. (2021), “Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city”, *IET Smart Cities*, 3(4), 201-210.
- Hammi B., Khatoun R., Zeadally S., Fayad A. and Khokhi L. (2018), “IoT technologies for smart cities”, *IET Networks*, 7(1), 1-13.
Available at: <https://doi.org/10.1049/ict-net.2017.0163>.

- Helbing D., Mancuso S., Moreno Y., Ramasco J.J., Rozenblat C. *et al.* (2023), “The role of complexity for digital twins of cities”, *Nature Computational Science*, 3(5), 374-381. Available at: <https://doi.org/10.1038/s43588-023-00431-4>.
- Helbing D., Mahajan S., Carpentras D., Menendez M., Pournaras E., Thurner S., Verma T., Arcaute E., Batty M. and Bettencourt L.M.A. (2024), “Co-creating the future: participatory cities and digital governance”, *Royal Society*, 382(2285). Available at: <https://doi.org/10.1098/rsta.2024.0113>.
- Ketzler, B., Naserentin V., Latino F. and Zangelidis C. (2020), “The role of digital twins in sustainable smart cities”, *International Journal of Urban Planning*, 24(4), 56-72.
- Kirpes B., Danner P., Basmadjian R., de Meer H. and Becker C. (2019), “E-Mobility Systems Architecture – A model-based framework for managing complexity and interoperability”, *Energy Informatics*, 2, 15, 1-31. Available at: <https://doi.org/10.1186/s42162-019-0072-4>.
- Koirala B., Cai H., Khayatian F., Munoz E., An J.G., Mutschler R. and Orehoung K. (2024), “Digitalization of urban multi-energy systems—advances in digital twin applications across life-cycle phases”, *Advances in Applied Energy*, 100196.
- Longo D., Turillazzi B., Roversi R., Lilla S., Nucci C.A., Piccinini A., Costa A. (2024), “Urban Digital Twin and Energy Modeling Experiences and case study analyses”, *AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design*, 15, 160-169. Available at: <https://doi.org/10.19229/2464-9309/15122024>.
- Luca M., Lepri B., Gallotti R., Paolazzi S., Pistore M., Bigi M. (2024), *Towards Civic Digital Twins: Co-Design the Citizen-Centric Future of Bologna*. Available at: <https://arxiv.org/abs/2412.06328>.
- Mazzetto S. (2024), “A Review of Urban Digital Twins Integration, Challenges, and Future Directions in Smart City Development”, *Sustainability*, 16(19), 8337.
- Nguyen-Huu T.-A., Tran T.T., Tran M.-Q., Nguyen P.H. and Slootweg J. (2022), “Operation Orchestration of Local Energy Communities through Digital Twin – A Review on Suitable Modeling and Simulation Approaches”, *2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON), May 9th-12th 2022, Riga, Latvia*, 1-6. Available at: <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830264>.
- Prevedi A., Penaloza J.D.R., Pontecorvo T., Napolitano F., Tossani F., Borghetti A. and Nucci C.A. (2023), “Optimal Operation of Renewable Energy Communities Through Battery Energy Systems – A Field Data-Driven Real-Time Simulation Study”, *International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), 4th-6th September 2023, Mugla, Turkiye*, 1-6. Available at: <https://doi.org/10.1109/SEST57387.2023.10257402>.
- Qiuchen L., Parlikad A.K., Woodall P., Ranasinghe G.D. and Heaton J. (2019), “Developing a Dynamic Digital Twin at a Building Level: using Cambridge Campus as Case Study”, *International Conference on Smart Infrastructure and Construction, (ICSIC), January 2019*, 67-75. Available at: <https://doi.org/10.1680/icsic.64669.067>.
- Ramaswami A., Pandey B., Li Q., Das K. and Nagpure A. (2023), “Toward Zero-Carbon Urban Transitions with Health, Climate Resilience, and Equity Co-Benefits – Assessing Nexus Linkages”, *Annual Review of Environment and Resources*, 48, 81-121. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112621-063931>.
- Roversi R. (2024), “Urban Digital Twins as socio-technical infrastructures for city regeneration and decarbonization”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1402, 012065. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1402/1/012065>.
- Shahat E., Hyun C.T. and Yeom C. (2021), “City Digital Twin Potentials – A Review and Research Agenda”, *Sustainability*, 13(6), 3386, 1-20. Available at: <https://doi.org/10.3390/su13063386>.

- Shahzad M., Shafiq M.T., Douglas D., Kassem M. (2022), “Digital Twins in Built Environments: An Investigation of the Characteristics, Applications, and Challenges”, *Buildings*, 12.
- Schrotter G. and Hürzeler C. (2020), “The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning”, *PFG – Springer*, 88, 99-112.
Available at: <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00092-2>
- Zhang C., Cui C., Zhang Y., Yuan J., Luo Y. and Gang W. (2019), “A review of renewable energy assessment methods in green building and green neighborhood rating systems”, *Energy and Buildings*, 195, 68-81.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.040>.

L'Unione Europea punta alla neutralità climatica entro il 2050: un obiettivo ambizioso che richiede trasformazioni radicali e un nuovo patto tra istituzioni, imprese e cittadini. Le città, come laboratori di innovazione e di convivenza, sono chiamate a guidare questa transizione, affrontando sfide ambientali, sociali e geopolitiche sempre più complesse.

Il volume analizza il ruolo delle città europee nella decarbonizzazione, con particolare attenzione alla transizione e alla cittadinanza energetica. La prima parte delinea il quadro concettuale e metodologico, esaminando politiche multilivello e iniziative come la Mission "100 Climate Neutral and Smart Cities" e i *Climate City Contracts*. Parallelamente approfondisce la diffusione delle comunità energetiche e delle pratiche di autoconsumo collettivo, che trasformano i cittadini in *prosumers* e attori attivi della transizione.

La seconda parte esplora approcci e strumenti innovativi sviluppati a partire dal progetto europeo GRETA (*Green Energy Transition Actions*).

Vengono proposti e analizzati in chiave critica strumenti come i *Community Transition Pathways*, gli *Energy Citizenship Contracts* e gli strumenti digitali di mappatura urbana, come i gemelli digitali. Attenzione è posta al tema della cittadinanza energetica e del coinvolgimento dei cittadini, comprese le università e le comunità studentesche.

La terza parte guarda oltre il 2030, affrontando gli scenari futuri della transizione energetica, la valutazione degli impatti delle *roadmap* urbane e le sfide legate alla gestione dell'emergenza climatica.

Il volume offre un contributo scientifico e critico alla comprensione della transizione energetica urbana, evidenziando il valore della partecipazione attiva, l'evoluzione delle comunità energetiche e l'uso di strumenti di *governance* efficaci. È rivolto a ricercatori, studenti, professionisti e decisori politici interessati alla transizione climatica ed energetica, proponendo riflessioni e strumenti per città giuste, resilienti e sostenibili.



FrancoAngeli

La passione per le conoscenze