

TERRITORY OF RESEARCH ON
SETTLEMENTS AND ENVIRONMENT
INTERNATIONAL JOURNAL
OF URBAN PLANNING

31

The multidimensional nature of urban sustainability



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI NAPOLI FEDERICO II
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE L.U.P.T.

Federico II University Press



fedOA Press

Vol. 16 n. 2 (DEC. 2023)
e-ISSN 2281-4574

TERRITORIO DELLA RICERCA SU INSEDIAMENTI E AMBIENTE



WoS (Web of Science) indexed journal <http://www.tria.unina.it>

Editors-in-Chief

Mario Coletta, *Federico II University of Naples, Italy*

Antonio Acierno, *Federico II University of Naples, Italy*

Scientific Committee

Rob Atkinson, *University of the West of England, UK*

Teresa Boccia, *Federico II University of Naples, Italy*

Giulia Bonafede, *University of Palermo, Italy*

Lori Brown, *Syracuse University, USA*

Maurizio Carta, *University of Palermo, Italy*

Claudia Cassatella, *Polytechnic of Turin, Italy*

Maria Cerreta, *Federico II University of Naples, Italy*

Massimo Clemente, *CNR, Italy*

Juan Ignacio del Cueto, *National University of Mexico, Mexico*

Claudia De Biase, *University of the Campania L. Vanvitelli, Italy*

Pasquale De Toro, *Federico II University of Naples, Italy*

Matteo di Venosa, *University of Chieti Pescara, Italy*

Concetta Fallanca, *Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy*

Ana Falù, *National University of Cordoba, Argentina*

Isidoro Fasolino, *University of Salerno, Italy*

José Fariña Tojo, *ETSAM Universidad Politecnica de Madrid, Spain*

Francesco Forte, *Federico II University of Naples, Italy*

Gianluca Frediani, *University of Ferrara, Italy*

Giuseppe Las Casas, *University of Basilicata, Italy*

Francesco Lo Piccolo, *University of Palermo, Italy*

Liudmila Makarova, *Siberian Federal University, Russia*

Elena Marchigiani, *University of Trieste, Italy*

Oriol Nel-lo Colom, *Universitat Autònoma de Barcelona, Spain*

Gabriel Pascariu, *UAUIM Bucharest, Romania*

Domenico Passarelli, *Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy*

Piero Pedrocco, *University of Udine, Italy*

Michèle Pezzagno, *University of Brescia, Italy*

Piergiuseppe Pontrandolfi, *University of Matera, Italy*

Mosé Ricci, *University of Trento, Italy*

Samuel Robert, *CNRS Aix-Marseille University, France*

Michelangelo Russo, *Federico II University of Naples, Italy*

Inés Sánchez de Madariaga, *ETSAM Universidad de Madrid, Spain*

Paula Santana, *University of Coimbra Portugal*

Saverio Santangelo, *La Sapienza University of Rome, Italy*

Ingrid Schegk, *HSWT University of Freising, Germany*

Franziska Ullmann, *University of Stuttgart, Germany*

Michele Zazzi, *University of Parma, Italy*



Università degli Studi Federico II di Napoli
Centro Interdipartimentale di Ricerca L.U.P.T. (Laboratorio
di Urbanistica e Pianificazione Territoriale) “R. d’Ambrosio”

Managing Editor

Alessandra Pagliano, *Federico II University of Naples, Italy*

Corresponding Editors

Josep A. Bàguena Latorre, *Universitat de Barcelona, Spain*

Gianpiero Coletta, *University of the Campania L. Vanvitelli, Italy*

Michele Ercolini, *University of Florence, Italy*

Maurizio Francesco Errigo, *University Kore of Enna, Italy*

Adriana Louriero, *Coimbra University, Portugal*

Claudia Trillo, *University of Salford, SOBE, Manchester, UK*

Technical Staff

Tiziana Coletta, Ferdinando Maria Musto, Francesca Pirozzi,

Ivan Pistone, Luca Scaffidi

Responsible Editor in chief: Mario Coletta | electronic ISSN 2281-4574 | ©
2008 | Registration: Cancelleria del Tribunale di Napoli, n° 46, 08/05/2008 |
On line journal edited by Open Journal System and published by FedOA (Fe-
derico II Open Access) of the Federico II University of Naples

Table of contents/Sommario

Introduction essay/ Saggio introduttivo

Sustainable city, an ever-changing definition/ *Città sostenibile, una definizione in continua evoluzione*

Antonio ACIERNO

7

Papers/Interventi

Definition of future design scenarios for the Genoa Overpass. An overview of green infrastructures/ *Definizione di scenari progettuali futuri per la Sopraelevata di Genova. Un'overview di green infrastructures*

Daniele SORAGGI, Valentina COSTA, Ilaria DELPONTE

19

Reducing landscape climate vulnerability through local coevolution processes/ *Ridurre la vulnerabilità climatica del paesaggio tramite processi di coevoluzione locale*

Luciano DE BONIS, Giovanni OTTAVIANO

35

Urban regeneration and climate neutrality: a proposal for the Navile district in Bologna/ *Rigenerazione urbana e neutralità climatica: un'esperienza di progettazione per il quartiere Navile a Bologna*

Moreno DI BATTISTA, Samuele GARZONE, Filippo MORESCALCHI, Ambra BEDONNI, Alessandro FELISA, Marianna PAGANO, Benedetta BALDASSARRE, Claudia DE LUCA

51

Nature-Based Solutions to increase the resilience of urban ecosystems/ *Le Nature-Based Solutions per aumentare la resilienza degli ecosistemi urbani*

Clelia CIRILLO, Barbara BERTOLI

71

Port Waterfront. Space in Transition/ *Waterfront portuale. Spazio in transizione*

Matteo DI VENOSA

89

Soil recovery and (re)activation of Ecosystem Services: the role of regeneration interventions on large brownfield sites in urban areas/ *Recupero del suolo e (ri)attivazione dei Servizi Ecosistemici: il ruolo degli interventi di rigenerazione delle grandi aree dismesse nei territori urbani*

Emanuele GARDA, Alessandro MARUCCI, Federico FALASCA

107

Settlements and adaptation. Key aspects in international experiences/ *Insedimenti e adattamento. Aspetti chiave nelle esperienze internazionali*

Federica CICALESSE

127

Abstract

Urban regeneration and climate neutrality: a proposal for the Navile district in Bologna

Moreno Di Battista, Samuele Garzone, Filippo Morescalchi, Ambra Bedonni, Alessandro Felisa, Marianna Pagano, Benedetta Baldassarre, Claudia de Luca

Abstract

Approximately 60% of the world's population lives in cities, which play a crucial role in achieving global sustainable development goals. This study proposes a methodology for assessing climate neutrality and applying the proposed method to the Navile district in the city of Bologna. This work raised from the fact that the city of Bologna has been selected, within the framework of a European Commission call for proposals, among the 100 cities that aim to become climate neutral by 2030. The methodology presented builds upon the ecosystem services framework, considering climate regulation service as an indicator of climate neutrality, and analyzing supply and demand for CO₂ emissions and sequestration. The CO₂ demand analysis considers emissions from buildings, transport and mobility, industrial processes, public lighting and waste, while the storage assessment considers the absorption capacity of the green infrastructure in the area.



From the emissions and storage assessment, the current CO₂ balance of the area was then obtained, as basis for identifying possible design solutions aimed at reducing emissions and increasing storage, proposing actions that could be resilient over time.

KEYWORDS:

Carbon-neutrality; Green and Blue infrastructures; Ecosystem Services; Greening; Scenario Planning

Rigenerazione urbana e neutralità climatica: un'esperienza di progettazione per il quartiere Navile a Bologna

Circa il 60% della popolazione mondiale vive in città, le quali hanno un ruolo cruciale nel raggiungimento degli obiettivi globali di sviluppo sostenibile, nella lotta ai cambiamenti climatici e nella transizione energetica.

In questo contesto, questo contributo propone una metodologia di valutazione della neutralità climatica, applicando il metodo proposto al quartiere Navile nella città di Bologna. Lo nasce dal fatto che la città di Bologna è stata selezionata, all'interno di un bando della Commissione Europea, tra le 100 città che si propongono di diventare neutrali entro il 2030. La metodologia presentata è stata costruita a partire dal framework dei servizi ecosistemici, considerando come indicatore di neutralità climatica il servizio di regolazione climatica, ed analizzando domanda ed offerta di emissioni e stoccaggio di CO₂. L'analisi della domanda di CO₂ considera le emissioni prodotte dagli edifici, dai trasporti e la mobilità, i processi industriali, l'illuminazione pubblica e i rifiuti, mentre la valutazione dello stoccaggio considera la capacità di assorbimento dell'infrastruttura verde presente nell'area. Dalla valutazione di emissioni e stoccaggio è stato quindi ottenuto l'attuale bilancio di CO₂ dell'area, a partire dal quale sono state identificate possibili soluzioni progettuali che vanno a mirare ad una riduzione delle emissioni e ad un aumento dello stoccaggio, proponendo azioni che potessero essere resilienti nel tempo.

PAROLE CHIAVE:

Emissioni zero; Infrastrutture verdi e blu; Servizi ecosistemici; Greening; Scenario planning

Rigenerazione urbana e neutralità climatica: un'esperienza di progettazione per il quartiere Navile a Bologna

Moreno Di Battista, Samuele Garzone, Filippo Morescalchi, Ambra Bedonni, Alessandro Felisa, Marianna Pagano, Benedetta Baldassarre, Claudia de Luca

1. Introduzione

Nonostante le aree urbane rappresentino solamente il 3% della superficie terrestre, esse sono responsabili di circa i tre quarti delle emissioni di CO₂ globali (IPCC, 2018). Questo dato sottolinea come le città debbano giocare un ruolo fondamentale nelle azioni di mitigazione del cambiamento climatico e come il loro contributo sia cruciale per il raggiungimento degli obiettivi nazionali ed internazionali. Negli ultimi due decenni, le città si sono impegnate in diverse iniziative per creare migliori condizioni ambientali, sociali ed economiche e per aumentare la loro attrattività e competitività.

Di conseguenza, nel discorso politico e nella ricerca accademica sono stati introdotti diversi concetti di sviluppo urbano. Questi concetti sono spesso usati in modo intercambiabile da politici, pianificatori e sviluppatori creando talvolta confusione riguardo alle tematiche trattate. In risposta al dibattito sul cambiamento climatico, ai già noti concetti di città sostenibili e resilienti, sono stati affiancati nuovi paradigmi quali città neutrale, città a zero emissioni di carbonio e città a carbonio negativo (Huovila, et al. 2022). Questi ultimi sono considerati sottoinsiemi del più ampio concetto di città sostenibile (De Jong, et al. 2015), ponendo tuttavia un' enfasi specifica sulle questioni legate alla mitigazione del cambiamento climatico, riferite ad aspetti prevalentemente tecnici ed energetici (Fu, et al. 2017). Le ragioni dell'evoluzione di questo concetto derivano principalmente dall'allarme lanciato dal Gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti globali (IPCC, 2018) che dichiara che per contenere l'innalzamento delle temperature sotto 1.5°C al 2050, sia necessario ambire al raggiungimento della neutralità climatica (European Parliament, 2019), intesa come il raggiungimento di un equilibrio tra emissioni e assorbimento di carbonio nell'atmosfera. Secondo Woo, et al. (2023), la neutralità delle emissioni di carbonio consiste nel bilanciare le emissioni stesse con la loro rimozione, così da ottenere emissioni nette pari a zero. A tal fine, è di estrema importanza e una sfida significativa sia promuovere l'assorbimento di CO₂ dall'atmosfera sia riformare gli attuali sistemi di produzione per ridurre le emissioni di gas serra (Wang et al., 2021). Quando parliamo di neutralità climatica su scala urbana, Kennedy e Sgouridis(2011) propongono una classificazione in 3 tipi di emissioni: emissioni interne, in relazione al confine geografico e l'ambito di riferimento; emissioni esterne direttamente causate dalle attività municipali principali; emissioni interne o esterne, dovute ad attività non principali. Inoltre, l'obiettivo della neutralità di carbonio presenta un'importante differenza rispetto all'obiettivo di zero emissioni di carbonio,

in quanto non richiede che la città elimini tutte le emissioni di carbonio ma consente l'utilizzo di meccanismi di compensazione delle stesse attraverso, ad esempio, l'acquisto di compensazioni da terzi che si trovano al di fuori dei confini della città (Damsø, et al., 2017, Kennedy, et al., 2011, Huovila, et al., 2022). In questo contesto, molte città hanno introdotto obiettivi per affrontare il cambiamento climatico e hanno aderito a iniziative internazionali come il Covenant of Mayors per il clima e l'energia (2021), Carbon Neutral Cities (2021) e C40 Cities (2021). Più di 400 città e organizzazioni hanno aderito all'Alleanza per l'ambizione climatica per sostenere "l'obiettivo netto di un'economia sostenibile" e "l'obiettivo di zero emissioni di carbonio e una ripresa sana, resiliente e che prevenga le minacce future, crei posti di lavoro dignitosi e sblocchi un'economia inclusiva e a basso impatto ambientale" (UNFCCC, 2020). Recentemente, anche le città firmatarie del Patto dei Sindaci europei hanno aumentato la loro ambizione climatica e si sono impegnate a fissare obiettivi a medio e lungo termine, coerenti con gli obiettivi dell'UE. The EU Mission Board for climate-neutral and smart cities (Commissione Europea, 2020) ha fissato l'obiettivo di "supportare 100 città al raggiungimento della neutralità climatica entro il 2030" e per farlo ha aperto un bando all'interno del programma europeo di finanziamento HorizonEurope. Nonostante molte città abbiano già pubblicato i loro obiettivi di neutralità climatica e tale concetto stia diventando sempre più centrale nel discorso politico, non c'è ancora una condivisione ampia della sua definizione e rimangono molte domande aperte sulla sua applicazione (Hsu, et al., 2020). Sebbene lo scopo sia chiaro e condiviso, le pratiche, i progetti e gli approcci che le città stanno introducendo sono ancora per lo più in fase sperimentale. Le misure per raggiungere la neutralità climatica comprendono sicuramente un maggiore utilizzo delle fonti di energia rinnovabile, l'efficientamento energetico, la graduale riduzione dell'utilizzo di combustibili fossili e interventi di riforestazione urbana, ma l'implementazione di queste soluzioni deve passare attraverso un percorso di valutazione ed analisi dello stato di fatto che permetta di sviluppare strategie e progetti tarati sulle effettive necessità del sistema socio-ecologico considerato.

Mentre metodi e standard per quantificare la produzione e lo stoccaggio di CO₂ sono ormai comuni per le imprese e le realtà private (ad esempio il Verified Carbon Standard), questi non sono ancora riconosciuti ed utilizzati in ambito urbano; la mancanza di coerenza nell'utilizzo di metodi e strumenti per la valutazione porta spesso a risultati imprecisi e non comparabili tra di loro (Hsu, et al., 2020). Questo contributo, nato all'interno di un progetto didattico e ispirato alla candidatura della città di Bologna all'iniziativa "100 Climate-neutral Cities" promossa dalla Commissione Europea (Comune di Bologna, 2022), propone una metodologia di analisi del territorio per definire e quantificare soluzioni da adottare per raggiungere la neutralità climatica, focalizzandosi sulle cosiddette emissioni interne. L'approccio metodologico descritto si basa sull'utilizzo del modello a cascata dei Servizi Ecosistemici (Hansen, et al., 2019), che permette di valutare in modo integrato i molteplici benefici forniti dagli ecosistemi e di pianificare interventi di gestione sostenibile del territorio considerando le città come ecosistemi socio-ecologici complessi, dove l'interazione tra gli elementi naturali e le attività umane

determina la qualità della vita dei cittadini e l'impatto ambientale complessivo.

2. Materiali e metodi

2.1 Il caso studio

Lo studio si concentra sul quartiere Navile situato a nord del centro storico della città di Bologna.

Si tratta di un'area densamente abitata, con circa 70 mila residenti (Comune di Bologna, 2022) e fortemente caratterizzata dalla presenza del Canale Navile. Il canale, realizzato durante il XXIV/XXV secolo era utilizzato, attraverso un sistema di chiuse, prevalentemente per la navigazione, consentendo un collegamento diretto con Venezia. Nei primi del '900, lo scopo del corso d'acqua cambia, andando ad alimentare una centrale idroelettrica, attualmente dismessa, che in passato produceva una buona percentuale dell'energia della città.

Una presenza significativa e diffusa di infrastrutture verdi e blu nell'area, sebbene ancora poco valorizzate e sfruttate, le rende potenziali leve per un intervento di rigenerazione urbana volto a migliorare il rapporto natura-città per l'intero quartiere.

2.2 Valutazione della neutralità climatica: metodi e strumenti

La metodologia sviluppata in questo contributo è stata costruita a partire dal framework dei servizi ecosistemici, considerando come indicatore di neutralità climatica il servizio di regolazione climatica, ed analizzando domanda ed offerta di emissioni e stoccaggio di CO₂. L'offerta di servizi ecosistemici (Millenium Ecosystem Assessment, 2023) si riferisce alla capacità di una particolare area di fornire, attraverso le corrispettive funzioni ecosistemiche, uno specifico insieme di beni e servizi ecosistemici in un determinato periodo di tempo (Burkhard et al., 2012). In questo contesto, ci riferiamo alla capacità dell'infrastruttura verde di assorbire CO₂ nel caso studio selezionato. La domanda di servizi ecosistemici è la somma di tutti i beni e servizi ecosistemici attualmente consumati, utilizzati e sfruttati in una particolare area in un determinato periodo di tempo e, nel caso del servizio di assorbimento, viene rappresentata dalla quantità di emissioni di CO₂ rilasciate in atmosfera. L'analisi della domanda di CO₂ considera le emissioni prodotte dagli edifici, dai trasporti e la mobilità, i processi industriali, l'illuminazione pubblica e i rifiuti. Inoltre, al fine di valutare il cambiamento degli stessi in futuro e pianificare soluzioni e progetti che siano resilienti nel tempo, sono stati formulati degli scenari futuri sulla base delle proiezioni di innalzamento medio di temperatura fornite dal PAESC - Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (Comune di Bologna, 2019).

Metodi di valutazione della domanda

L'analisi della domanda di CO₂ si è concentrata sull'elaborazione di stime delle emissioni per ambiti chiave. Questi ultimi, individuabili sia all'interno del progetto '100 Climate-neutral Cities' che all'interno del PAESC (Comune di Bologna, 2019), sono: edifici, trasporti e mobilità, processi industriali, illuminazione pubblica e rifiuti. L'analisi del PAESC evidenzia come l'edificato, inteso come sommatoria di edifici e attrezzature sia private sia comunali, i processi industriali (escluse le industrie contemplate nel Sistema Europeo di scambio delle quote di emissione-ETS) e l'illuminazione, siano responsabili del 70% delle emissioni comunali totali del 2018. Le emissioni prodotte dal patrimonio costruito sono state stimate in modo diretto e puntuale mentre per quelle degli ambiti minoritari sono stati applicati metodi indiretti e semplificati. Dall'analisi di letteratura (Ratti, 2005, Liu, 2020, Caputo, 2013) e in accordo con le direttive (UNI EN ISO 11300), vengono selezionati i parametri sostanziali da utilizzare per quantificare le emissioni degli edifici quali: I) numero dei piani, II) superfici utili e riscaldate, III) classe energetica media, IV) anno di costruzione. L'applicazione della metodologia al comparto in esame è stata possibile fruendo delle banche dati fornite dalla piattaforma comunale Iperbole-Open Data e dal rapporto annuale 2022 di ENEA (2022). L'analisi dei dati disponibili ha reso possibile ricavare la stima delle emissioni basandosi sull'età degli edifici del comparto, secondo le formule:

$$i) N = V / H_{med}$$

$$ii) S_{tr} = S_c \cdot N \cdot \alpha$$

$$iii) C_{tot} = S_{tr} \cdot C_{m^2}$$

$$iv) Me = C_{tot} \cdot \mu \cdot PCS$$

$$v) E = Me \cdot \beta$$

Legenda

N = il numero di piani

V = volumetrie dei singoli edifici

H_{med} = altezza media dell'interpiano (3 m)

S_{tr} = superficie totale riscaldata

S_c = superficie coperta - ricavata dalla Carta Tecnica Comunale (CTC) di Bologna

α = coeff. di ragguaglio medio (0.78)

C_{tot} = Consumi totali

C_{m²} = Consumo [m²]

Me = mc di metano standardizzato

μ = efficienza impianto (medio di una caldaia a gas)

PCS = potere calorifero superiore

E = t CO₂ eq

Analisi funzionale e altimetrica degli edifici tessuto urbano

Fonte dati: Iperbole

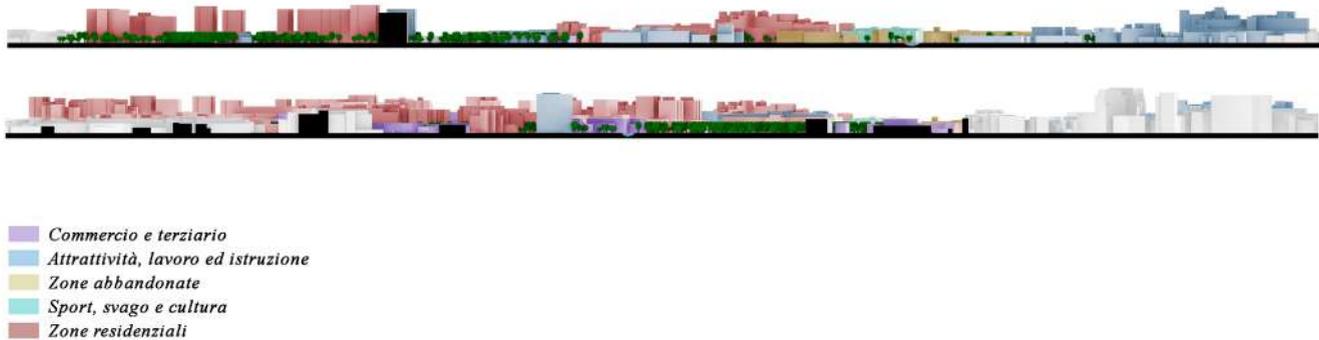


Fig. 1 – Sezioni urbanistiche evidenzianti le altezze degli edifici (Elaborazione degli autori, su base dati della CTC del Comune di Bologna (Iperbole, 2020))

β = coeff. ISPRA

Il risultato ottenuto (E), espresso in ton CO₂, fornisce dei valori di riferimento approssimati per un comparto a scala urbanistica. Tenendo in considerazione che la precisione dei risultati varia in base alla qualità dei dati di input, nel caso del quartiere Navile in oggetto, i valori catastali degli edifici ottenuti tramite l'analisi dei dati pubblici risultano adeguatamente approssimati per lo studio proposto.

Analisi funzionale e altimetrica degli edifici del tessuto urbano in esame

Le emissioni per gli altri ambiti sono state ricavate basando le stime sulle percentuali di emissioni di gas serra fornite dal PAESC (Comune di Bologna, 2019), congiuntamente ai valori di emissioni (E), ottenuti per gli edifici della zona di interesse. Nello specifico, il calcolo precedente fornisce un riferimento in emissioni (ton CO₂) per la conversione dei valori percentuali di seguito esposti:

- Emissioni dagli edifici: 70,5%
- Emissioni dai trasporti: 17,27%
- Emissioni dai rifiuti: 3,11%
- Emissioni dai processi industriali e agricoli: 8,68%
- Emissioni dall'illuminazione pubblica: 0,45%

Il presente contributo considera le emissioni del comparto Navile come proporzionali alle stime totali individuate dal PAESC, per cui rappresentando gli edifici il 70,5 % delle emissioni - ton CO₂ * 0.705 * x - dove x è la percentuale dell'ambito chiave, l'emissione totale del quartiere Navile si ricaverà:

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{edifici}} * 0.705 * 100$$

Metodo di valutazione dell'offerta

I principali responsabili dell'assorbimento di gas serra sono i cosiddetti "carbon sink", definiti come "Foreste e altri ecosistemi che assorbono il carbonio, rimuovendolo dall'atmosfera e compensando le emissioni di CO₂" dall'European Environment Agency (2023). Per questo, l'analisi dell'offerta si è incentrata sulla stima dell'assorbimento dei

“carbon sink” più rilevanti in un contesto urbano. Nello specifico, sono state studiate due fonti principali: le alberature e il suolo. Per quanto concerne le alberature, sono state utilizzate informazioni Open Data relative alla manutenzione del verde nella città di Bologna (Iperbole, 2020). Il database comunale, infatti, contiene informazioni sul numero, la tipologia e la collocazione degli alberi in manutenzione all’interno del quartiere Navile. Tra gli alberi censiti, le specie quantitativamente prevalenti sono:

- Acero (*Acer* spp), 266 esemplari
- Frassino (*Fraxinus* spp), 294 esemplari
- Bagolaro (*Celtis* spp), 396 esemplari
- Tiglio (*Tilia* spp), 247 esemplari

In accordo con uno studio dell’Università di Barcellona (Chaparro, et al., 2009) ad ogni albero è stato associato l’assorbimento correlato, secondo la formula:

$$S_a = \sum_i T_i * n_i * A_i$$

S_a = Sequestro totale alberature

T_i = tipo albero

n_i = numero del tipo

A_i = Assorbimento correlato

Si riportano di seguito, dunque, i valori medi di capacità di assorbimento per le specie individuate:

- Acero (*Acer* spp), 0,19 ton CO₂/anno
- Frassino (*Fraxinus* spp), 0,14 ton CO₂/anno
- Bagolaro (*Celtis* spp), 0,14 ton CO₂/anno

Alberatura presente nel quartiere Navile

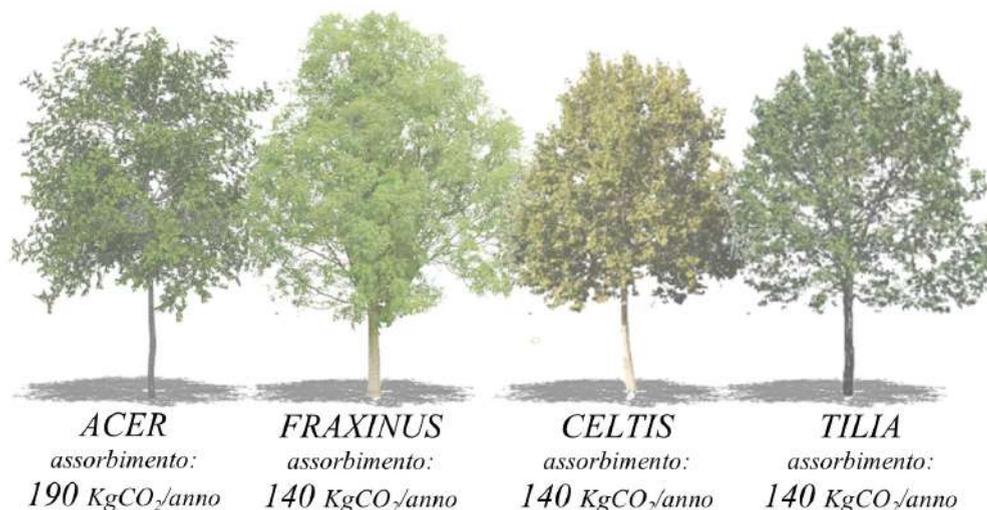


Fig. 2 – Specie arboree prevalenti nella zona del Navile di Bologna, con riferimento ai valori di assorbimento di CO₂ (Elaborazione degli autori).

Analisi della permeabilità del suolo

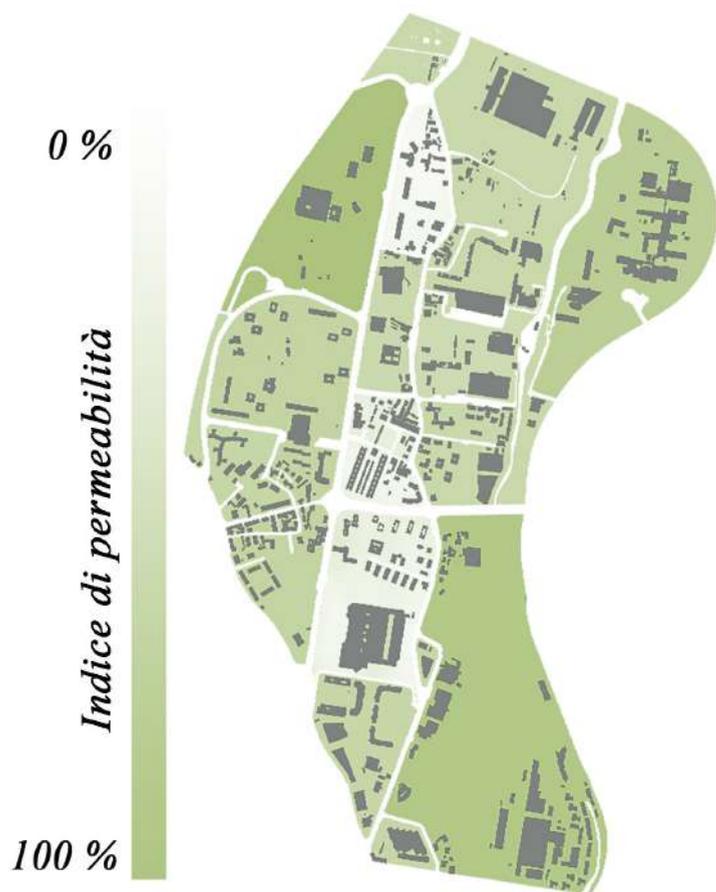


Fig. 3 – Analisi della permeabilità della zona di studio (Elaborazione degli autori su base dati della CTC del Comune di Bologna (Iperbole, 2020) e Corine Land Cover).

- Tiglio (*Tilia spp*), 0,14 ton CO₂/anno

La quantificazione dello stoccaggio di CO₂ del terreno è stata ricavata partendo dai dati Corine Land Cover (CLC, 2023), con lo scopo di stabilire lo stato della permeabilità della zona e il consumo di suolo generale del quartiere. Il valore di suolo permeabile è inteso come un *proxy* per valutare il quantitativo di suolo che ha funzione di “carbon-sink”. Il comparto è stato suddiviso in 15 microaree, e ad ognuna è stato associato un gradiente di permeabilità (Figura 3), in base alla sua percentuale non urbanizzata. Il gradiente di permeabilità risulta sintetizzare uno studio a più livelli del territorio: se da una parte i dati catastali hanno fornito gli ingombri dell’edificio, la visione satellitare ha reso possibile la valutazione della porzione permeabile, o meno.

In accordo con la letteratura (Guy, et al., 2001), è stato stimato l’assorbimento di 86g CO₂ /anno a m².

$$S_s = S_{pv} * \gamma$$

S_s = Stoccaggio totale suolo

S_{pv} = Superficie permeabile

γ = Assorbimento medio terreno permeabile

La capacità totale di stoccaggio del quartiere Navile si ricaverà:

$$S_{tot} = S_s + S_a$$

2.3 Valutazione di possibili scenari futuri per una pianificazione adattiva

Dalla differenza tra il valore E_{tot} (Emissioni complessive dell’area) – S_{tot} (Stoccaggio complessivo dell’area) si ottiene l’attuale bilancio di CO₂ per l’area. Sono stati valutati gli scenari futuri possibili, al fine di proporre soluzioni progettuali adattive, efficaci e resilienti nel tempo. Le considerazioni effettuate da questo studio tengono in conto un potenziale aumento di temperatura media (in un range che va da 1.2 a 3°C) (Comune di Bologna, 2021) e di popolazione residente, considerando le proiezioni al 2030 della città di Bologna. Questi due fattori hanno implicazioni piuttosto impattanti su diversi elementi, dall’ incremento dei consumi per gli usi, al riscaldamento e raffreddamento degli edifici, al traffico veicolare. I dati per le previsioni sono pervenuti da diverse fonti, quali dati ISPRA (2017), scenari demografici del Comune di Bologna (2015), (Fedrizzi, et al., 2011) e ricerche accademiche (Di Giulio, 2003). Gli scenari costruiti permettono dunque di sviluppare soluzioni progettuali concrete e resilienti ai cambiamenti nel tempo.

3. Risultati

3.1 Risultati della valutazione di offerta e domanda di CO₂

Il totale delle emissioni di gas serra, intesi come CO₂^{equivalente}, allo stato attuale, per il quartiere in esame ammonta a 27 512 ton CO₂ all'anno. In accordo con gli scenari sviluppati all'interno del PAESC del comune di Bologna, si stima che tale valore possa aumentare fino a 35 230 ton CO₂ all'anno, entro il 2030 (Comune di Bologna, 2019). Tuttavia, secondo i calcoli precedentemente esposti, l'offerta di assorbimento attuale è ancora limitata, ammontando a soli 733 ton CO₂ all'anno. Ciò implica che ci sia una differenza netta di produzione di anidride carbonica di 26 779 tonnellate annui rispetto alla capacità di stoccaggio. Senza l'apporto di alcun intervento, si prevede che questa cifra possa raggiungere le 34 497 ton CO₂ all'anno, entro il 2030. Uno degli obiettivi principali di questo studio è quello di sopperire a questo *gap* evidente tra la produzione di CO₂ e la capacità di stoccaggio, in linea con i target nazionali ed internazionali relativi alla riduzione delle emissioni di gas serra. È necessario considerare che i risultati delle stime presentate hanno un livello di incertezza associato, dovuto all'assenza di una metodologia comune nel calcolo delle emissioni, e alle semplificazioni necessariamente apportate nell'analisi del caso studio.

3.2 Strategie e Soluzioni progettuali

Il processo di raggiungimento della neutralità climatica si basa principalmente su due linee di intervento: la riduzione delle emissioni e l'aumento dell'assorbimento. I benefici generati dalla riduzione della domanda sono stati stimati ipotizzando l'applicazione di varie soluzioni progettuali, sia estensive sia puntuali, in grado di ridurre significativamente le emissioni di CO₂ dell'area. I dati del nuovo bilancio, proiettati al 2030, sono stati la base, necessaria, per la creazione di uno scenario che permetta l'adeguata quantificazione e il corretto posizionamento degli interventi riguardanti l'offerta.

Lo scenario di progetto descrive una serie di variazioni ideali che riguardano l'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile, la decarbonizzazione dei trasporti, il miglioramento della classe energetica degli edifici e la transizione energetica nel settore industriale. Si tratta di una serie di misure volte a ridurre l'impatto ambientale e favorire lo sviluppo sostenibile. Queste vengono esposte complessivamente in Figura 5, mentre vengono riportate a seguire le specifiche per le soluzioni attinenti alla neutralità climatica:

- In merito all'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile, si auspica un aumento di produzione e utilizzo. Vengono localizzati nuovi impianti di tipologia fotovoltaica, i quali sfruttano le coperture degli edifici del comparto evitando ulteriore consumo di suolo. La valutazione dell'energia producibile è ottenuta tramite un metodo speditivo, che tiene conto delle effettive possibilità date dai tetti dell'edificato. La tipologia più comune per il Navile risulta essere il tetto piano ma, al fine di ottenere un valore ragionevole di su-

Diagramma semplificato del procedimento di calcolo delle emissioni degli edifici
 (Rielaborazione degli autori su base dati Carta Tecnica Comunale del Comune di Bologna (Iperbole, 2020))

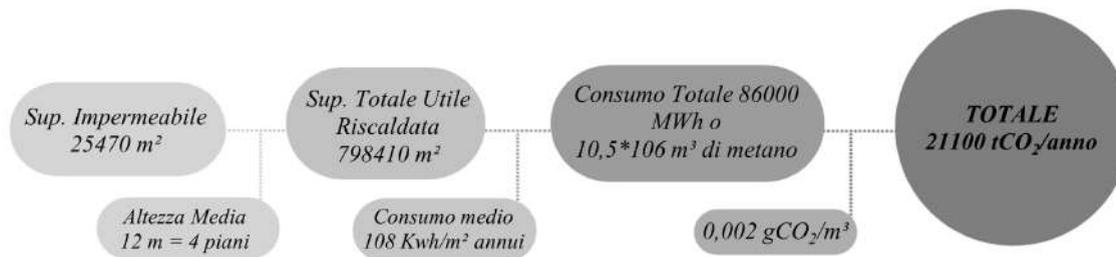


Diagramma semplificato del procedimento di calcolo dell'assorbimento del suolo
 (Rielaborazione degli autori su base dati Carta Tecnica Comunale del Comune di Bologna (Iperbole, 2020))



Diagramma semplificato del procedimento di calcolo dell'assorbimento delle alberature
 (Rielaborazione degli autori su base dati OPENDATA (Comune di Bologna, 2021))

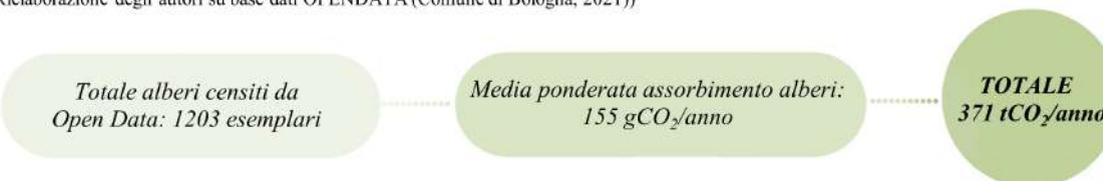


Diagramma riassuntivo complessivo assorbimento/emissioni CO₂
 (Rielaborazione degli autori su base dati PAESC (Comune di Bologna, 2019))

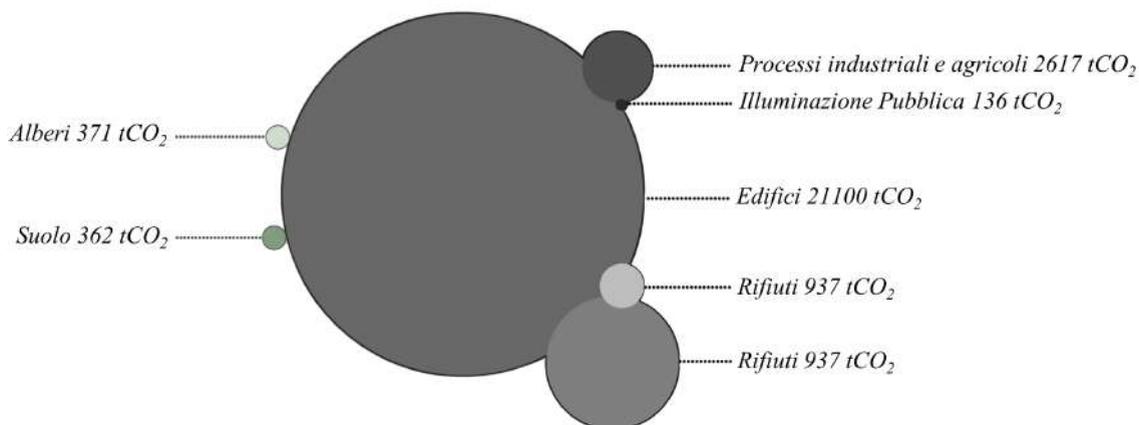


Fig. 4 – Diagrammi esplicativi dei risultati della valutazione di offerta e domanda di CO2 (Elaborazione degli autori su base dei dati forniti dal PAESC del Comune di Bologna).

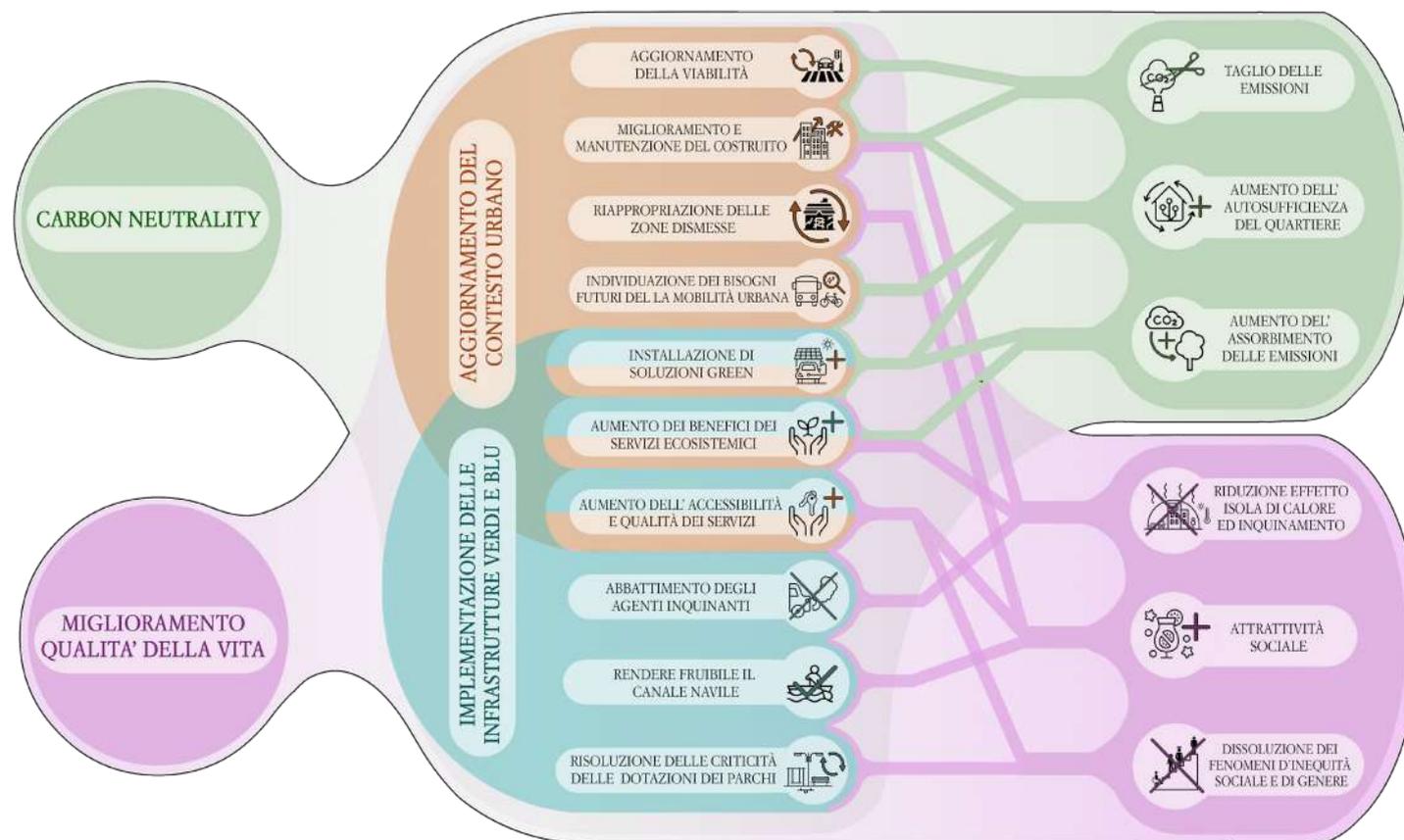


Fig. 5 – Quadro delle strategie e delle soluzioni progettuali (Elaborazione degli autori).

perficie coperta da impianto fotovoltaico e produttiva (escludendo superfici tecniche), si è considerato il 40% della copertura complessiva come adatta, ovvero circa 250000 m². Sono ipotizzati piccoli impianti che complessivamente hanno una dimensione di circa 102MW, capaci di produrre circa 46 GWh/anno di elettricità.

- Si prevede di migliorare di due classi energetiche gli edifici, allo scopo di promuovere l'efficienza energetica riducendo i costi di gestione, povertà energetica e le emissioni di CO₂. Questa soluzione è altresì coerente con le azioni promosse dal cosiddetto Recovery Plan, il programma di finanziamento promosso dallo Stato italiano nel maggio 2020 per supportare, attraverso bonus e sussidi fiscali, il miglioramento delle performance energetiche degli edifici, in particolare per l'edilizia privata (Ascione et al., 2022). Le soluzioni proposte comprendono interventi di isolamento esterno per superfici opache, di sostituzione degli infissi e, laddove possibile, di installazione di coperture verdi. Queste ultime, infatti, sono una valida soluzione per aumentare la prestanza energetica dei tetti e l'assorbimento di CO₂ tramite il terreno e la messa a dimora di arbusti specifici (ENEA, 2019).

- Per la decarbonizzazione dei trasporti, si prevede di passare a una transizione energetica basata sull'elettricità, considerando un aumento del 40% della produzione di energia elettrica per i trasporti, secondo quanto stimato dal PAESC (Comune di Bologna, 2019) per gli scenari futuri. Vengono posizionate colonne di ricarica elettrica in hub

strategici, di modo da agevolare la transizione elettrica anche nel settore dei trasporti privati.

- È prevista una riduzione del traffico veicolare stimata dal PAESC (Comune di Bologna, 2019) pari al 15%, attraverso l'adozione di politiche di mobilità sostenibile e la promozione del trasporto pubblico. In tal senso, particolare attenzione viene data alla mobilità lenta (biciclette e pedoni), potenziando la fruizione del sistema ciclabile esistente e rivalutando i percorsi pedonali naturalistici sul lungo Navile.

- Per l'illuminazione pubblica, con l'obiettivo di ridurre le emissioni, viene promossa l'adozione di tecnologie a basso impatto ambientale (LED) e l'utilizzo di energia solare, rendendo così autonomi i lampioni pubblici.

D'altro lato, la strategia proposta punta ad aumentare l'assorbimento di CO₂ da parte dell'infrastruttura verde, attraverso l'integrazione e l'implementazione di cosiddette Nature-Based Solutions (NBS) (Castellar, et al., 2021). Le NBS sono soluzioni progettuali ispirate dalla natura che utilizzano gli stessi processi naturali per incrementare la fornitura dei servizi ecosistemici fondamentali per l'uomo. I servizi ecosistemici, di approvvigionamento, regolazione, supporto e culturali, forniti dagli ecosistemi urbani offrono molteplici benefici, quanto mai necessari per affrontare le sfide urbane presenti e future, e migliorano la salute fisica e mentale dei cittadini (MEA, 2005, Kosanic & Petzold, 2020). All'interno di questo contributo, questi servizi si riferiscono, in particolare, alla capacità dell'infrastruttura verde e blu nell'area di contribuire alla regolazione del microclima e allo stoccaggio e al sequestro di CO₂. Nello specifico, le soluzioni identificate per l'area del Navile sono le seguenti:

- Aumento del 40% di tetti verdi, che comportano molteplici vantaggi per l'ambiente urbano, in particolare nel controllo dell'effetto isola di calore;

- 12 *Mechanical-Trees*, dispositivi di filtraggio dell'aria alti 12 metri, vengono installati per migliorare la qualità dell'aria nelle aree urbane del comparto a maggior densità di traffico (posizionati sulle rotonde). Studi su queste alberature artificiali hanno dimostrato di essere efficaci nella rimozione di particolato e di altri inquinanti dell'aria (Morrison, 2022);

- 300 *City-Trees*, posizionati in punti strategici all'interno della città per migliorare la qualità dell'aria, combinano innovative tecnologie di filtraggio degli inquinanti con l'estetica urbana (Kiran, et al., 2011, Nowak, et al., 2002);

- Aumento della superficie permeabile del quartiere, tramite l'individuazione e il successivo recupero di aree interne al quartiere, attualmente in uno stato di dismissione. Questo intervento comporta un aumento della quantità di suolo verde e quindi della capacità di stoccaggio dell'intero comparto, nonché la creazione di nuovi spazi pubblici che miglioreranno l'attrattività del quartiere;

- Messa a dimora di circa 5000 alberi, rappresentando un contributo significativo alla salute fisica e mentale dei cittadini e per la biodiversità della zona.

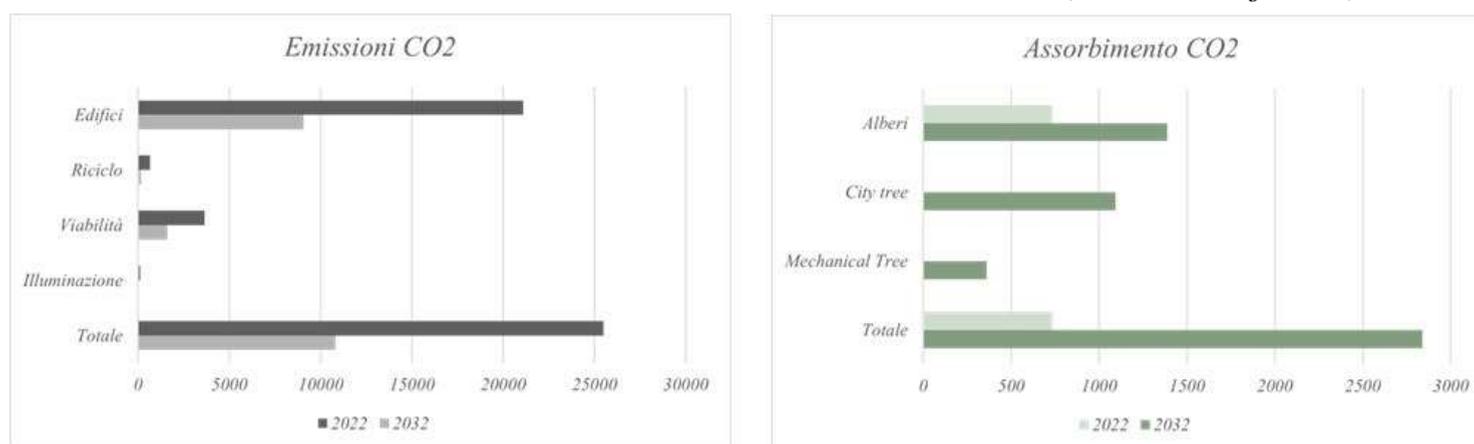
Come è possibile osservare, sono state previste una serie di soluzioni di diversa natura, la cui scelta, in termini numerici e di localizzazione all'interno del quartiere, è coerente con le caratteristiche urbane dell'area esaminata e con gli obiettivi progettuali fissati. Tali soluzioni permettono di ridurre gli inquinanti dell'aria, in modo sia naturale che artificiale: vista la necessità di ridurre drasticamente il differenziale fra assorbimento ed emissioni, si è puntato molto su strumenti tecnologici innovativi, con elevata capacità di assorbimento, quali i *Mechanical-Trees* e i *City-Trees*. Sebbene la loro realizzazione comporti una produzione di emissioni certamente deleteria, se considerata alla scala globale, tali soluzioni consentono il raggiungimento del regime di assorbimento desiderato in tempi molto brevi e permettono di attenuare il gap rilevato prima del completo sviluppo della piantumazione arborea.

È opportuno specificare che l'attuazione di questi interventi è stata pensata per fasi, in un arco temporale di realizzazione pari a 10 anni. Queste considerazioni sono dovute alle tempistiche effettive delle azioni progettuali, vista la loro estensione consistente nel tessuto urbano del quartiere. Inoltre, questo permette alle diverse proposte progettuali di poter essere rivalutate nel tempo, rendendo così l'intervento capace di adattarsi alle evoluzioni dei bisogni futuri rispetto agli scenari di progetto ipotizzati (proiezioni sintetiche vengono espone in Figura 6).

Lo studio e il posizionamento di soluzioni progettuali si spinge, in maniera provocatoria, verso un cambiamento radicale della realtà di quartiere, trasformandolo in un quartiere modello per la città di Bologna e, in generale, per le città vincitrici del bando "100 città climate-neutral and smart entro il 2030". Al fine di comprendere l'ingenza e la cadenza temporale degli ipotetici lavori necessari per raggiungere l'obiettivo prefissato, vengono ipotizzate delle fasi di cantierizzazione.

La divisione temporale ipotizzata suddivide le soluzioni in base alla loro fattibilità di realizzazione. Come si può evincere dalla Figura 7, il posizionamento di *Mechanical-Trees* e *City-Trees* potrebbe essere quasi immediato. In questo modo si avrebbe una diminuzione notevole di CO₂ in circolazione, ma non si avrebbero miglioramenti e implementazione di alcun servizio ecosistemico. Per notare risultati complessivamente significativi bisogna necessariamente guardare ad un lasso temporale più ampio, as-

Fig. 6 – Emissioni e assorbimento di CO₂ – confronto stato attuale/2032 (Elaborazione degli autori).



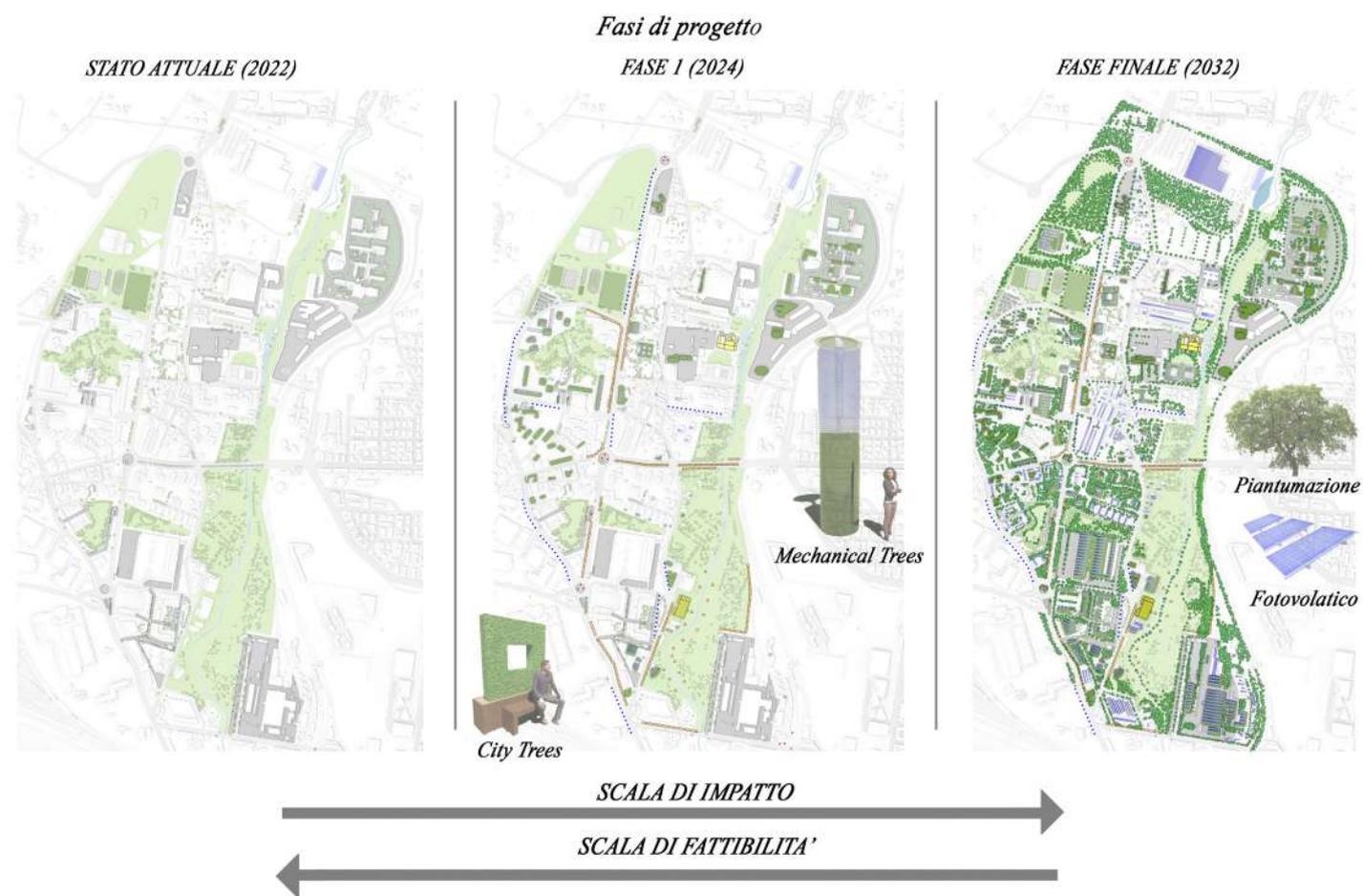


Fig. 7 – Cantierizzazione degli interventi dal 2022 al 2032 (Elaborazione degli autori).

sumendo un forte intento della collettività di realizzare gli interventi. In questo modo, si presuppone che il quartiere possa arrivare, al 2032, alla fase conclusiva della messa in campo degli interventi previsti. Ovviamente, le condizioni climatiche da qui al 2032, secondo le previsioni stesse del PAESC (Comune di Bologna, 2019), non saranno le medesime. Nonostante la cantierizzazione decennale degli interventi sia funzionale a facilitare la loro realizzazione, è importante tenere presente la loro stessa difficoltà di adattamento, qualora lo scenario reale sia peggiore di quello previsto: tali interventi non risulterebbero più adeguati, nel caso di uno scostamento peggiorativo maggiore di 1.2°C.

4. Discussioni e conclusioni

A seguito della Conferenza delle parti (COP 21) di Parigi del 2015, molte città hanno iniziato a sviluppare ambiziose strategie di mitigazione e adattamento climatico, compiendo sforzi tuttavia ancora insufficienti per limitare il riscaldamento globale a 1,5°C (Salvia, et al., 2021). Il presente contributo opera alla scala ridotta di un singolo quartie-

re, mostrando quanto siano necessari importanti interventi di rigenerazione ed efficientamento energetico del tessuto urbano, oltre che un massivo apporto di NBS (Castellar, et al., 2021) per supportare le città nel raggiungere la neutralità climatica. La metodologia proposta parte dall'idea che sia necessario ed urgente riuscire a trovare strumenti condivisi per la valutazione dello stato di fatto in termini di emissioni di CO₂, che permettano alle città di valutare e quantificare i propri bisogni. L'approccio proposto si basa sulla valutazione dei servizi ecosistemici considerando il servizio di regolazione climatica tra alcune delle sue componenti, come l'offerta (valutazione dello stoccaggio) e la domanda (valutazione delle emissioni). La quantificazione del bilancio di carbonio permette dunque, congiuntamente alla realizzazione di scenari futuri, di sviluppare delle soluzioni target-oriented che, opportunamente implementate e monitorate, possano contribuire a raggiungere la neutralità climatica entro il 2030. Inoltre, se inizialmente le soluzioni progettuali si pongono come scopo principale quello di andare ad azzerare il delta assorbimento-emissione di CO₂ del comparto, esse indirettamente concorrono a fornire una serie di benefit ambientali a lungo termine, capaci di contribuire in modo ancora più significativo e completo alla mitigazione climatica del quartiere.

Come si evince dalle soluzioni proposte, queste cambieranno completamente l'assetto del quartiere, presentando delle difficoltà in termini di fattibilità economica e di accettazione sociale. Una forte campagna di sensibilizzazione, unita a importanti investimenti economici, sarebbe dunque necessaria per supportare le soluzioni proposte e guidare il quartiere, e la città tutta, verso la neutralità climatica.

REFERENCES

- Agency, European Environment (2023) “EEA glossary”, <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/carbon-sink>.
- Ascione, F., De Masi, R. F., Mastellone, M., Ruggiero, S., Vanoli, G. P. (2022) “Improving the building stock sustainability in European Countries: A focus on the Italian case”, *Journal of Cleaner Production*, 365.
- Burkhard, B., F. Kroll, S. Nedkov, e F. Müller (2012) “Mapping ecosystem service supply, demand and budgets”, *Ecological Indicators*, 21: 17-29.
- Caputo P., Costa G., Ferrari S. (2013). “A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale” *Energy Policy* 55: 261-270.
- Castellar, J.A.C., L.A. Popartan, J. Pueyo Ros, N. Atanasova, G. Langergraber, I. Säumel, L. Corominas, J. Comas, V. Acuña (2021) “Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services” *Science of The Total Environment*.
- Chaparro, L., e J. Terradas. (2009) “Ecological services of urban forest in Barcelona.” Barcellona.
- CLC, *CORINE Land Cover*. (2023) <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.
- Commissione Europea. 2020. “EU Mission: Climate-Neutral and Smart Cities”
- Comune di Bologna. 2022. “Bologna tra le 100 città carbon neutral entro il 2030” Bologna: Iperbole, Rete civica.
- Comune di Bologna. (2019) “PAESC - Piano d’azione per l’energia sostenibile e il clima” <http://www.comune.bologna.it/paes/contenuti/143:47194/>.
- Comune di Bologna. (2022) “Popolazione residente per stato civile, età, sesso, cittadinanza, quartiere e zona - serie storica” Bologna: Open Data.
- Comune di Bologna (2015) “Scenari demografici a Bologna nel periodo 2015-2030, Bologna” Bologna.
- Comune di Bologna (2021) “Sezione Approfondimenti Conoscitivi, sezione ambiente -f”, Bologna.
- Damsø, T., T. Kjær, e T. Christensen. (2017) “Implementation of local climate action plans: Copenhagen – Towards a carbon-neutral capital”, *Journal of Cleaner Production*, 167.
- De Jong, M., S. Joss, D. Schraven, C. Zhan, e M. Weijnen. (2015) “Sustainable–Smart–Resilient–Low Carbon–Eco–Knowledge Cities; Making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization”, *Journal of Cleaner Production* 109: 25-38.
- Di Giulio, E. (2003) “Lo scenario energetico italiano e le politiche di abbattimento dei gas serra”, *Quaderni Crasl*.
- ENEA. (2019) “Infrastrutture “verdi” per migliorare l’efficienza energetica degli edifici e la qualità del microclima nelle aree urbane” https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/tecnologie-efficienza-risparmio-edifici/report-rds_ptr_2019_042.pdf.
- ENEA. (2022) “Rapporto annuale 2022 su certificazione energetica degli edifici pag.53 (Emilia-Romagna)”
- Erich D. Guy, Norman S. Levink. (2001) “GIS Modeling and Analysis of Ohio’s CO2 Budget: Mitigating CO2 Emissions” *OHIO J SC* 101: 34-41.
- European Parliament (2019) “Resolution on climate change in accordance with the Paris agreement.” Europe.
- Fedrizzi, R., e W. Sparber. (2011) “Valutazione delle emissioni di CO2 della città di Bolzano e scenari di riduzione possibili.” *Rivista di studi sulla sostenibilità*.
- Fu, Y., e X. Zhang. (2017) “Planning for Sustainable Cities? A Comparative Content Analysis of the Master Plans of Eco, Low-Carbon and Conventional New Towns in China.” *Habitat international* 63: 55-63.
- Hansen, R., A. Stahl Olafsson, A. P.N. Van der Jagt, E. Rall, e S. Pauleit. (2019) “Planning multifunctional green infrastructure for compact cities: What is the state of practice?” *Ecological Indicators* 96, parte 2: 99-110.
- Hsu A., Tan J., Ng Y.M. (2020) “Performance determinants show European cities are delivering on climate mitigation” *Nat. Clim. Chang.* 10, 1015-1022.

- Hsu, A, Jonas Tan Tan, Yi Ming Ng, e Wayne Toh. (2020) “Performance determinants show European cities are delivering on climate mitigation.” *Nat. Clim. Chang.* 10, 1015-1022.
- Huovila, A., H. Siikavirta, C. Rozado, J. Rokman, P. Tuominen, S. Paiho, A. Hedman, e P. Ylèn. (2022) “Carbon-neutral cities: Critical review of theory and practice” *Journal of Cleaner Production* 341.
- IPCC. (2018) “Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C” Geneva.
- Iperbole. (2020). “Carta Tecnica Comunale del Comune di Bologna” Città di Bologna.
- Iperbole. (2020) “Comune di Bologna, Iperbole, Open Data, Sezione Manutenzione del verde”
- ISPRA. (2017) “Consumi energetici e heating degree days (HDD) a confronto. Proiezioni al 2050 degli HDD in differenti scenari climatici”
- Kosanic, A., Petzold, J. (2020), “A systematic review of cultural ecosystem services and human wellbeing”, *Ecosystem Services*, 45.
- Kennedy, S., e S. Sgouridis. (2011) “Rigorous classification and carbon accounting principles for low and Zero Carbon Cities” *Energy Policy* 39, issue 9: 5259-5268.
- Kiran, Sandhya G., e Shah Kinnary. (2011) “Carbon sequestration by urban trees on roadsides of Vadodara city” *International Journal of Engineering Science and Technology (Engg Journals Publications)* 3 (4): 3066-3070.
- Liu P., Lin B., Zhou H., Wu X., Little J. (2020). “CO₂ emissions from urban buildings at the city scale: System dynamic projections and potential mitigation policies.” *Applied Energy* 277.
- Millenium Ecosystem Assessment (2005), “Ecosystems and Human Well-being Sythethis”
- Millenium Ecosystem Assessment. (2023) “Synthesis: Condition and Trends in Systems and Services, Trade-offs for Human Well-being, and Implications for the Future.” Chapter 28.
- Morrison, Ryan. (2022) “Forests of mechanical trees could be built to ‘soak up carbon dioxide’ and help stave off climate change, scientists claim”.
- Nowak, David J., e Daniel E. Crane (2002). “Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA.”, *Environmental Pollution*, 381-389.
- Ratti C., Baker N., Steemers K. (2005). “Energy consumption and urban texture” *Energy and Buildings* 37, issue 7: 762-776.
- Repubblica Italiana. (2020) “Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana” 16 02. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2023/02/16/23G00020/sg>.
- Salvia, M., D. Reckien, F. Pietrapertosa, e Eckersley. (2021) “Will climate mitigation ambitions lead to carbon neutrality? An analysis of the local-level plans of 327 cities in the EU” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110253>.
- UNFCCC. (2020). *Annual Report 2020*. United Nation Climate Change.
- UNI EN ISO 11300. (s.d.) “Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.”
- Woon, K. S., Phuang, Z., X., Taler, J., Varbanov, P. S., Chong, C. T., Klemeš, J. J., Lee, C. T. (2023), “Recent advances in urban green energy development towards carbon emissions neutrality”,
- *Energy*, 267.
- Wang, F., Harindintwali, J. D., Yuan, Z., Wang, M., Wang, F., Li, S., Yin, Z., Huang, L., Fu, Y., Li, L., Chang, S. X., Zhang, L., Rinklebe, J., Yuan, Z., Zhu, Q., Xiang, L., Tsang, D. C. W., Xu, L., Jiang, X., Liu, J., Wei, N., Kästner, M., Zou, Y., Sik Ok, Y., Shen, J., Peng, D., Zhang, W., Barceló, D., Zhou, Y., Bai, Z., Li, B., Zhang, B., Wei, K., Cao, H., Tan, Z., Zhao, L., He, X., Zheng, J., Bolan, N., Liu, X., Huang, C., Dietmann, S., Luo, M., Sun, N., Gong, J., Gong, Y., Brahusi, F., Zhang, T., Xiao, C., Li, X., Chen, W., Jiao, N., Lehmann, J., Zhu, Y., Jin, H., Schäffer, A., Tiedje, J. M., Chen, J. M. (2021), “Technologies and perspectives for achieving carbon neutrality”, *The Innovation*, 2, 4.

Moreno Di Battista

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Moreno Di Battista holds a degree in Architecture and Building Engineering from the Alma Mater Studiorum, University of Bologna. His thesis research focused on the creation of a renewable energy community, addressing the issues of citizen empowerment and green energy production in the historic centre of Bologna. He did an internship at Energy Cities in France, where he collaborated on a HorizonEurope project around Zero Net Cities. He has participated in several workshops promoted by Renzo Piano, FIU, C40 and Mario Cucinella.

Filippo Morescalchi

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Filippo Morescalchi is a graduating student in Architecture and Building Engineering at Alma Mater Studiorum, University of Bologna. His thesis research is focused on the use of generative algorithms to improve the design of construction site layouts. He has participated in several architectural contests promoted by Renzo Piano, C40. Currently, he is a BIM consultant, computational designer, and Civil 3D trainer at Strategie Digitali srl studio in Milan.

Samuele Garzone

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Samuele Garzone is a graduating student in Architecture and Building Engineering at Alma Mater Studiorum, University of Bologna. He is currently attending an internship at Mario Cucinella Architects (MCA) in Bologna, as a Computational Designer. Meanwhile, he is conducting research for his thesis that explores the concept of architectural quality in relation to its spatial potential, and he is testing it using Reinforcement Learning AI. He has participated in several architectural contests promoted by Archistorming, C40, and DNADD.

Claudia de Luca

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna
claudia.deluca5@unibo.it

Claudia de Luca (PhD) is a Junior Assistant Professor of the Department of Architecture, Alma Mater Studiorum, University of Bologna. She is an Environmental scientist (MSc) by training, now focusing on sustainable planning and urban and rural regeneration processes. At the moment, she works on two main research topics: rural regeneration and development through nature and heritage-based strategies, and on the role of ecosystem services to ensure sustainable and just development of urban areas. Involved in the Planning and Regeneration research group, she is actively involved in several H2020 project, HorizonEurope and Recovery Plan funded projects.

Benedetta Baldassarre

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Benedetta Baldassarre, architectural engineer, is a PhD student in Architecture and Design Cultures at the Department of Architecture, Alma Mater Studiorum, University of Bologna. Her thesis focuses on cultural tourism and climate change adaptation, to plan adaptive and resilient strategies of tourism for fostering local development in non-urban area. From 2021, she is part of the Planning and Regeneration research group, and she is involved in several H2020 and HorizonEurope projects, dealing especially with sustainable planning, climate change adaptation, and disaster risk management.

Marianna Pagano

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Marianna Pagano is a student in Architecture and Building Engineering at Alma Mater Studiorum, University of Bologna.

Ambra Bedonni

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Ambra Bedonni is a student in Architecture and Building Engineering at Alma Mater Studiorum, University of Bologna. She has participated in several architectural contest promoted by Renzo Piano, C40.

Alessandro Felisa

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Alessandro Felisa is a student in Architecture and Building Engineering at Alma Mater Studiorum, University of Bologna. He has participated in several architectural contest promoted by Renzo Piano, C4.