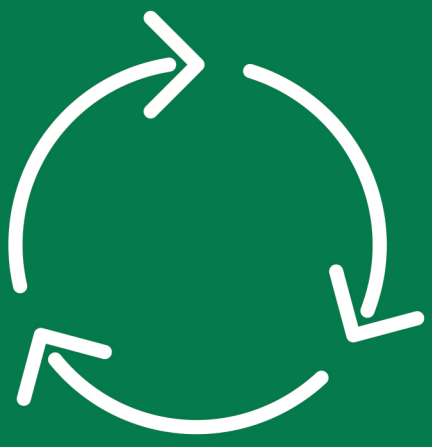


DIPARTIMENTO SOSTENIBILITÀ, CIRCOLARITÀ E ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO DEI SISTEMI PRODUTTIVI E TERRITORIALI

ISSN 2499-5347

SOLUZIONI E STRUMENTI PER LA RIGENERAZIONE URBANA

Position paper del gruppo di lavoro "*Rigenerazione urbana*" del Dipartimento sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei sistemi produttivi e territoriali.

COORDINAMENTO

C. Innella, E. Salvatori

CURATORI

C. Dalmastri, S. Falasca, C. Innella, E. Mancuso, E. Salvatori, C. Santarsiere, C. Tripepi, A. Zucaro

AUTORI

A. Anav, G. Barberio, S. Busi, A. R. Ceddia, C. Dalmastri, A. Del Fiore, E. De Marco, S. Dimatteo, P. R. Di Palma, F. Eboli, S. Falasca, G. Fiorentino, C. Innella, M. Langone, A. Luciano, V. Luprano, E. Mancuso, G. Marghella, M. Michetti, G. Migliore, M. Mircea, C. Nobili, R. Pentassuglia, C. Richiardi, E. Salvatori, C. Santarsiere, L. Sciubba, A. Screpanti, B. Sorrentino, M. Stefanova, C. Tripepi, R. Uccelli, C. Zampetti, A. Zucaro

AFFILIAZIONI

Le affiliazioni complete dei componenti del gruppo di lavoro sono riportate all'interno del volume

RT/2026/14/ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

SOLUZIONI E STRUMENTI PER LA RIGENERAZIONE URBANA

Position paper del gruppo di lavoro "Rigenerazione urbana"
del Dipartimento sostenibilità, circolarità e adattamento
al cambiamento climatico dei sistemi produttivi e territoriali.

COORDINAMENTO

C. Innella, E. Salvatori

CURATORI

C. Dalmastri, S. Falasca, C. Innella, E. Mancuso, E. Salvatori, C. Santarsiere, C. Tripepi, A. Zucaro

AUTORI

A. Anav, G. Barberio, S. Busi, A. R. Ceddia, C. Dalmastri, A. Del Fiore, E. De Marco, S. Dimatteo, P. R. Di Palma, F. Eboli, S. Falasca, G. Fiorentino, C. Innella, M. Langone, A. Luciano, V. Luprano, E. Mancuso, G. Marghella, M. Michetti, G. Migliore, M. Mircea, C. Nobili, R. Pentassuglia, C. Richiardi, E. Salvatori, C. Santarsiere, L. Sciubba, A. Screpanti, B. Sorrentino, M. Stefanova, C. Tripepi, R. Uccelli, C. Zampetti, A. Zucaro

AFFILIAZIONI

Le affiliazioni complete dei componenti del gruppo di lavoro sono riportate all'interno del volume

RT/2026/14/ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

Coordinamento del Gruppo di Lavoro: Carolina Innella (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Elisabetta Salvatori (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana)

Curatori del Position Paper: Carolina Innella (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Elisabetta Salvatori (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Claudia Dalmastri (SSPT-BIOTEC-RED), Serena Falasca (SSPT-CLIMAR-MSC), Erika Mancuso (SSPT-EC-SSC), Claudia Santarsiere (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Concetta Tripepi (SSPT-IMPACT-SPAC), Amalia Zucaro (SSPT-EC-RMP)

Autori del Position Paper: Alessandro Anav (SSPT-CLIMAR-MSC), Grazia Barberio (SSPT-ICESP), Simone Busi (SSPT-EC-AR), Anna Rita Ceddia (SSPT-STS), Claudia Dalmastri (SSPT-BIOTEC-RED), Antonella Del Fiore (SSPT-AGROS-IFAL), Emanuela De Marco (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Salvatore Dimatteo (SSPT-AGROS-BIOEC), Paolo Roberto Di Palma (SSPT-EC-RMP), Fabio Eboli (SSPT-STS), Serena Falasca (SSPT-CLIMAR-MSC), Gabriella Fiorentino (SSPT-EC-RMP), Carolina Innella (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Michela Langone (SSPT-EC-AR), Antonella Luciano (SSPT-EC-SSC), Vincenza Luprano (SSPT-IMPACT-SPAC), Erika Mancuso (SSPT-EC-SSC), Giuseppe Marghella (SSPT-IMPACT-SPAC), Melania Michetti (SSPT-CLIMAR), Giada Migliore (SSPT-IMPACT-TERPVS), Mihaela Mircea (SSPT-CLIMAR-AOC), Chiara Nobili (SSPT-AGROS-IFAL), Rocco Pentassuglia (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Chiara Richiardi (SSPT-IMPACT-BES), Elisabetta Salvatori (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Claudia Santarsiere (Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana), Luigi Sciubba (SSPT-EC-AR), Augusto Screpanti (SSPT-IMPACT-TERPVS), Beatrice Sorrentino (SSPT-IMPACT-TERPVS), Milena Stefanova (SSPT-AGROS-IFAL), Concetta Tripepi (SSPT-IMPACT-SPAC), Raffaella Uccelli (SSPT-BIOTEC-RED), Consuelo Zampetti (SSPT-TIMAS-MADD), Amalia Zucaro (SSPT-EC-RMP)

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

SOLUZIONI E STRUMENTI PER LA RIGENERAZIONE URBANA
Position paper del gruppo di lavoro "Rigenerazione urbana" del Dipartimento sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei sistemi produttivi e territoriali

Riassunto
Il presente Position Paper, elaborato dal Gruppo di Lavoro "Rigenerazione Urbana" del Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT) di ENEA, illustra conoscenze, strumenti e metodologie del Dipartimento che possono essere messe a supporto delle Pubbliche Amministrazioni locali e centrali impegnate nella pianificazione e gestione delle trasformazioni urbane. In un contesto in cui i processi di transizione ecologica e innovazione tecnologica stanno ridefinendo il ruolo delle città, il documento mira a favorire un dialogo strutturato tra ricerca, governance e territori, promuovendo una cultura della rigenerazione come leva per la sostenibilità e la competitività urbana. L'obiettivo è pertanto quello di tradurre risultati della ricerca e competenze tecnico-scientifiche in linee operative utili per accompagnare le istituzioni lungo percorsi di rigenerazione calibrati sui diversi contesti e per rafforzare la capacità delle istituzioni di rispondere alle sfide sociali, economiche, ambientali e sanitarie dell'urbanizzazione.

Parole chiave: Sviluppo sostenibile urbano; Resilienza urbana; Economia circolare; Governance partecipata; Innovazione sociale; Patrimonio edilizio e storico artistico; Sistemi agroalimentari innovativi; Capitale naturale; Salute e benessere; Monitoraggio.

Executive Summary 5
Tabella degli acronimi 6
1. Introduzione 8
2. Governance partecipata 11
2.1 Introduzione 11
2.2 Simbiosi urbana 12
2.3 Stakeholder engagement e co-creazione 13
2.4 Coinvolgimento delle scuole 14
2.5 Studio e Sviluppo di Comunità Circolari 16
2.6 Percorsi di "Capacity Building" rivolti alle PA e alle imprese 17
2.7 Network 18
2.8 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono 23
3. Materie prime ed acqua 24
3.1 Introduzione 24
3.2 Modelli di consumo circolari 24
3.3 Urban mining ed edilizia circolare 25
3.4 Gestione sostenibile dei rifiuti da costruzione e demolizione 26
3.5 Il risparmio idrico e il riutilizzo delle acque grigie e meteoriche 28
3.6 Il compostaggio di prossimità per una gestione sostenibile della frazione organica 30
3.7 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono 32
4. Rigenerazione urbana e sistemi agroalimentari innovativi 33
4.1 Introduzione 33
4.2 Urban Food Policies 33
4.3 Nuovi modelli di responsabilità per la governance delle risorse naturali: trasformazioni agroecologiche dei sistemi alimentari 34
4.4 Smart indoor agriculture 36
4.5 Acquaponica e bioconversioni per un uso efficiente delle risorse 37
4.6 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono 38
5. Patrimonio edilizio e storico-artistico 39
5.1 Introduzione 39
5.2 Tecnologie sostenibili per le indagini e la conservazione del patrimonio costruito 40
5.3 Corrosione e conservazione: analisi integrata del rischio per edifici storici in scenari di cambiamento climatico. 41

5.4 Superfici 3D idrofobiche e antighiaccio per il recupero urbano sostenibile 41
5.5 Protocolli sostenibili per il contenimento di patine biodeteriogene nei Beni Culturali 42
5.6 Biotecnologie sostenibili per la conservazione e il restauro del patrimonio culturale..... 43
5.7 Conservazione, gestione e valorizzazione delle collezioni museali 44
5.8 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono 45
6. Territorio e capitale naturale 46
6.1 Introduzione..... 46
6.2 Strumenti e approcci per la pianificazione delle Soluzioni basate sulla Natura (NbS) in ambito urbano 47
6.3 GREEN CAL: Modello ENEA per la gestione efficiente del verde pubblico urbano 50
6.4 Urban Carbon Farming..... 51
6.5 Stima della pericolosità da frane superficiali 52
6.6 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono 54
7. Salute e benessere..... 55
7.1 Introduzione..... 55
7.2 Salvaguardia dai campi elettromagnetici..... 56
7.3 Salute dei cittadini nei comuni italiani 57
7.4 Monitoraggio del benessere dei cittadini e qualità dell'aria 58
7.5 Vulnerabilità, esposizione e barriere ostative l'adattamento al cambiamento climatico..... 59
7.6 Edilizia: isolamento termico e comfort indoor 59
7.7 Rivestimenti antimicrobici..... 60
7.8 Progetto Gaia: verso una "Cittadinanza Globale"..... 61
7.9 Controllo delle zanzare vettori di malattie infettive in ambiente urbano 62
7.10 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono 63
8. Strumenti di valutazione e monitoraggio 64
8.1 Introduzione..... 64
8.2 Simulazioni di scenari mitigativi dell'isola urbana di calore ad alta risoluzione con il Weather Research and Forecasting model (WRF) 64
8.3 Rigenerazione urbana: impatto su meteorologia e qualità dell'aria..... 66
8.4 Valutazione della sostenibilità ambientale delle risorse urbane 67
8.5 Analisi costi-benefici e multicriterio applicata alla rigenerazione urbana..... 68
8.6 Valutazione dell'impronta emissiva delle politiche territoriali 68
8.7 Coerenza delle Politiche territoriali per lo sviluppo sostenibile 69
8.8 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono 70

9. Esempi di progetti pilota integrati 71
10. Prospettive future 85
Bibliografia 88

EXECUTIVE SUMMARY

Il presente Position Paper, elaborato dal Gruppo di Lavoro "Rigenerazione Urbana" del Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT) di ENEA, illustra conoscenze, strumenti e metodologie del Dipartimento che possono essere messe a supporto delle Pubbliche Amministrazioni locali e centrali impegnate nella pianificazione e gestione delle trasformazioni urbane. In un contesto in cui i processi di transizione ecologica e innovazione tecnologica stanno ridefinendo il ruolo delle città, il documento mira a favorire un dialogo strutturato tra ricerca, governance e territori, promuovendo una cultura della rigenerazione come leva per la sostenibilità e la competitività urbana. L'obiettivo è pertanto quello di tradurre risultati della ricerca e competenze tecnico-scientifiche in linee operative utili per accompagnare le istituzioni lungo percorsi di rigenerazione calibrati sui diversi contesti e per rafforzare la capacità delle istituzioni di rispondere alle sfide sociali, economiche, ambientali e sanitarie dell'urbanizzazione.

Il documento propone un approccio operativo articolato in tre principali linee di azione:

1. **Governance partecipata e collaborativa**, capace di coinvolgere cittadini, imprese, istituzioni e comunità scientifica nella definizione e implementazione di soluzioni condivise (Capitolo 2);
2. **Pianificazione e progettazione integrate**, che combinano interventi fisici, tecnologici e sociali per rigenerare i tessuti urbani e migliorare la resilienza ecologica e sociale (Capitoli 3, 4, 5, 6, 7);
3. **Monitoraggio e valutazione**, mediante strumenti di modellistica climatica e di qualità dell'aria, analisi costi-benefici e Life Cycle Assessment, per orientare le decisioni e misurare l'efficacia degli interventi (Capitolo 8).

Ciascuna linea d'azione è pensata per essere applicata in maniera modulare e adattabile ai diversi contesti territoriali, offrendo alle amministrazioni pubbliche un ventaglio di strumenti replicabili e scalabili che favoriscano la creazione di ecosistemi urbani rigenerativi.

Le tre linee non vanno intese come un blocco da adottare integralmente: ciascuna amministrazione può attivarle anche singolarmente, a partire dall'ambito in cui dispone di maggiore maturità o urgenza, costruendo nel tempo un percorso di rigenerazione progressivamente più ampio.

In particolare, l'approccio alla governance partecipata enfatizza la costruzione di reti multi-attoriali e processi di co-creazione, promuovendo un modello di governance policentrica in grado di integrare saperi locali, scientifici e istituzionali.

La pianificazione integrata proposta si fonda sull'interconnessione tra le dimensioni ambientali, sociali, economiche e culturali, e valorizza soluzioni basate sulla natura, innovazioni tecnologiche e modelli di economia circolare per la riqualificazione dei tessuti urbani e il miglioramento della salute dei cittadini.

Particolare attenzione è dedicata inoltre all'impiego di strumenti scientifici avanzati che permettono di valutare ex ante ed ex post gli impatti delle scelte pianificatorie e ottimizzare l'uso delle risorse.

Il Capitolo 9, infine, riporta esempi recenti di progetti integrati, già realizzati sui territori mettendo a sistema le competenze illustrate.

Il Position Paper intende quindi configurarsi come strumento di indirizzo e supporto operativo per le amministrazioni, orientando verso una visione sistemica della rigenerazione urbana, da costruire progressivamente, basata sulla collaborazione intersettoriale, sul trasferimento di conoscenze e sull'integrazione interdisciplinare dei saperi.

Infine, il documento propone un percorso pragmatico di accompagnamento alle politiche pubbliche, volto a trasformare le conoscenze tecnico-scientifiche in soluzioni concrete per città più resilienti, inclusive, circolari e climaticamente neutre, contribuendo così al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030.

TABELLA DEGLI ACRONIMI

ACRONIMO	SIGLA PER INTERO
AGROS	Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili
AR	Laboratorio Tecnologie per la Gestione Circolare di Acqua e Reflui
BIOTEC	Divisione Biotecnologie
CAM	Criteri Ambientali Minimi
CDW	Construction and Demolition Waste
CEM	Campi Elettromagnetici
CLIMAR	Divisione Modelli, Osservazioni e Scenari per il Cambiamento Climatico e la Qualità dell'Aria
CMS	Laboratorio Componenti e Sistemi Intelligenti per la Manifattura Sostenibile
DECORUM	Demolition and construction recycling unified management
EC	Divisione Economia Circolare
ECESP	European Circular Economy Stakeholder Platform

ACRONIMO	SIGLA PER INTERO
EEA	European Environment Agency
ES-PA	Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione
EU	European Union
GIS	Geographic Information System
GPP	Green Public Procurement
ICESP	Piattaforma Italiana degli attori per l'Economia Circolare
IMPACT	Divisione Impatti Antropici e del Cambiamento Climatico sul Territorio
LCA	Life Cycle Assesment
MADD	Laboratorio Tecnologie e materiali per la Manifattura Additiva
NATURB	Sezione Soluzioni Integrate e Nature-based per la rigenerazione Urbana
NbS	Nature-based Solutions
OSN	Obiettivi Strategici Nazionali di Sviluppo Sostenibile
PAN PCSD	Programma d'Azione Nazionale per la Coerenza delle Politiche per lo Sviluppo Sostenibile
PMP	Protocollo Mindfulness Psicosomatica
RMP	Laboratorio Tecnologie per Rifiuti e Materie Prime Seconde
SAVI	Sistema Alimentare Verde e Intelligente
SdGs	Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable development Goals)
SPAC	Laboratorio Tecnologie per la Salvaguardia del Patrimonio Architettonico e Culturale
SSC	Laboratorio Strumenti per la Sostenibilità e Circolarità di Sistemi Produttivi e Territoriali
SSH	Social Sciences and Humanities
SSPT	Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali
STEM	Science, Technology, Engineering, Mathematics
STS	Sezione Supporto Tecnico Strategico
TERPVS	Laboratorio Impatti sul Territorio e nei Paesi in Via di Sviluppo
TIMAS	Divisione Tecnologie e materiali per l'Industria Manifatturiera Sostenibile
ULL	Urban Living Lab
UN	United Nations
WRF	Weather Research and Forecasting model

1. INTRODUZIONE

Le città rappresentano oggi il principale laboratorio in cui si manifestano le sfide globali della sostenibilità, in quanto, concentrando la maggior parte della popolazione mondiale (United Nations, 2025), sono il fulcro delle trasformazioni legate al cambiamento climatico, alla transizione ecologica e alla crescente domanda di inclusione sociale (OECD, 2020). L'incremento delle emissioni di gas serra e degli inquinanti atmosferici, la perdita di biodiversità, il degrado del patrimonio edilizio e ambientale, la scarsità di risorse naturali, le disuguaglianze socioeconomiche e la vulnerabilità agli eventi climatici estremi sono le principali sfide che le città si trovano ad affrontare con sempre maggiore impellenza (IPCC, 2022; EEA, 2020; UN-Habitat, 2024b). Tuttavia, se da una parte esse concentrano popolazione, risorse e attività economiche, generando pressioni significative sui sistemi naturali e sulla stessa salute dei cittadini, al tempo stesso rappresentano luoghi privilegiati per l'innovazione e la sperimentazione di modelli sostenibili (European Commission, 2020; Carra et al., 2023).

Il tema della rigenerazione urbana e della gestione sostenibile delle risorse nei contesti urbani rappresenta pertanto una delle principali sfide per la transizione ecologica e per il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) (United Nations, 2015; Saganeiti, 2025). Secondo UN-Habitat (2024a; 2024b), la rigenerazione urbana deve essere intesa come un processo inclusivo e trasformativo che mira a rivitalizzare i tessuti urbani attraverso strategie integrate, in grado di promuovere sviluppo economico locale, resilienza climatica, coesione sociale e valorizzazione del patrimonio. Essa non si riduce a interventi di riqualificazione fisica, ma implica una visione sistemica che comprende governance partecipata, sostenibilità ambientale, innovazione sociale ed equità territoriale. Questo approccio è coerente con i principi della New Urban Agenda (UN-Habitat, 2016), che colloca le città al centro del raggiungimento degli SDGs: studi recenti hanno infatti dimostrato come tramite azioni di rigenerazione urbana a livello locale sia possibile un avanzamento concreto di 15 dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Saiu et al., 2022). Considerato che, secondo le stime più recenti, solo per il 17% degli SDGs c'è stato un significativo avanzamento verso i target al 2030 (United Nations Statistics Division, 2024), l'adozione di un approccio rigenerativo alle trasformazioni urbane appare ancora più urgente.

In questo contesto, le Amministrazioni locali assumono un ruolo strategico, essendo chiamate a guidare processi complessi sul territorio che richiedono risposte multisettoriali, superando così l'approccio frammentario "a silos" tradizionalmente adottato nella gestione urbana. Tuttavia, nonostante numerosi studi si siano concentrati su aspetti specifici della rigenerazione urbana, come la riqualificazione del patrimonio costruito, l'aumento della qualità ambientale o dell'inclusione sociale, nella messa a terra di azioni rigenerative sul territorio rimane la necessità di concepire la rigenerazione non come un modello unitario da implementare in blocco, bensì come un insieme di percorsi di

rigenerazione urbana: traiettorie graduali, modulari e adattabili, che ciascuna amministrazione possa attivare a partire dalle proprie risorse, competenze e priorità, componendo nel tempo interventi capaci di produrre risultati di sostenibilità concreti e misurabili.

Il presente Position Paper, elaborato dal Gruppo di Lavoro "Rigenerazione Urbana" del Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT) di ENEA, intende contribuire al superamento di questo gap offrendo un quadro di conoscenze, strumenti e metodologie a supporto delle amministrazioni locali impegnate nella pianificazione e gestione delle trasformazioni urbane. L'obiettivo è quello di tradurre risultati della ricerca e competenze tecnico-scientifiche in linee operative utili ad accompagnare le istituzioni lungo percorsi di rigenerazione calibrati sui rispettivi contesti, rafforzandone la capacità di rispondere alle sfide sociali, economiche, ambientali e sanitarie dell'urbanizzazione (EEA, 2020; IPCC, 2022).

In questa prospettiva, il documento valorizza un approccio olistico alla città, intesa come sistema complesso e interconnesso (Batty, 2013). Le diverse sezioni approfondiscono aspetti cruciali: dalla gestione circolare delle materie prime e dell'acqua, con strategie di riuso, urban mining, riduzione degli sprechi e innovazioni in ambito agricolo e produttivo (Geissdoerfer et al., 2017; Famiglietti et al., 2023), alla valorizzazione del patrimonio edilizio e storico-artistico, dove la rigenerazione urbana si intreccia con la conservazione dei beni culturali e con l'introduzione di tecnologie sostenibili per il restauro e il monitoraggio (ICOMOS, 2019). Particolare attenzione viene rivolta al territorio e al capitale naturale, con l'impiego di soluzioni basate sulla natura (NbS) per aumentare la resilienza ecologica (Kabisch et al., 2017; Sommese, 2024; Leonardi, 2023), e alla dimensione della salute e del benessere dei cittadini, che richiama la necessità di integrare qualità ambientale, sicurezza e innovazioni biomediche nelle politiche urbane (WHO, 2016). A queste dimensioni si affianca lo sviluppo di strumenti di modellistica climatica e della qualità dell'aria, che permettono di supportare la pianificazione locale attraverso previsioni e simulazioni avanzate (Jacob & Winner, 2009).

Proprio la natura interconnessa della città rende la rigenerazione urbana un tema intrinsecamente trasversale: un singolo intervento sul territorio – la riqualificazione di uno spazio pubblico, il recupero di un edificio dismesso, la rinaturalizzazione di un'area degradata – attiva simultaneamente molteplici dimensioni, generando benefici ambientali, sociali, sanitari ed economici tra loro interdipendenti. Per questo le competenze presentate nei capitoli successivi non vanno lette come ambiti separati, ma come tasselli che si combinano in funzione degli obiettivi di ciascun territorio. Tale trasversalità, tuttavia, non implica che le amministrazioni debbano necessariamente mobilitare tutte le dimensioni in un'unica soluzione integrata, spesso difficilmente sostenibile soprattutto per i Comuni di piccole e medie dimensioni. Al contrario, il documento propone una logica di gradualità: percorsi che possono prendere avvio anche da un singolo ambito tematico – quello in cui l'amministrazione dispone di

maggiore maturità o urgenza – per poi estendersi progressivamente ad altre dimensioni, costruendo nel tempo una visione sistemica senza richiederla come precondizione. In questo senso, le diverse competenze del Dipartimento costituiscono altrettante porte d'ingresso al processo rigenerativo, ciascuna accessibile in autonomia e al tempo stesso connessa alle altre, così da consentire ad ogni amministrazione di individuare il punto di partenza più coerente con il proprio contesto, le proprie risorse e il proprio grado di maturità istituzionale.

Un tratto distintivo dell'approccio proposto è l'attenzione alla governance partecipata, che riconosce la necessità di coinvolgere attivamente istituzioni, imprese, università, scuole, cittadini e società civile nei processi decisionali (Fung, 2015; Mahmoud et al., 2025). Strumenti come gli Urban Living Lab e gli School Living Lab vengono qui presentati come metodologie replicabili e scalabili, già sperimentate in contesti nazionali e internazionali (Voytenko et al., 2016), utili per attivare processi di co-progettazione e co-creazione sul territorio.

Accanto agli approcci partecipativi, il documento illustra strumenti analitici e valutativi che possono supportare le amministrazioni nella definizione delle priorità di intervento. Tra questi si segnalano il Life Cycle Assessment (LCA) per la valutazione degli impatti ambientali (ISO, 2006; Famiglietti et al., 2023), le analisi costi-benefici e multicriterio per integrare aspetti economici, sociali e ambientali nei processi decisionali (Munda, 2004), e la verifica della coerenza delle politiche locali con gli obiettivi della Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile e con gli impegni europei (European Commission, 2020).

Il Position Paper sottolinea inoltre l'importanza delle reti e delle piattaforme nazionali e internazionali, cui le amministrazioni locali possono aderire per rafforzare la propria capacità di azione. Iniziative come la Circular Cities Declaration o la piattaforma italiana ICESP permettono infatti di accedere a esperienze, buone pratiche e strumenti comuni, favorendo un apprendimento reciproco e accelerando l'adozione di modelli di città circolari e rigenerative (ICLEI, 2020; Circular Cities Frontrunner Group, 2025).

La prospettiva qui proposta è dunque orientata a sostenere le amministrazioni nel passaggio da una gestione tradizionale dei servizi urbani a un modello integrato di rigenerazione urbana e territoriale. Le competenze tecnico-scientifiche presentate, insieme agli strumenti di governance, di pianificazione e di monitoraggio e valutazione, costituiscono un patrimonio di conoscenze immediatamente utilizzabile per progettare politiche locali innovative, capaci di conciliare crescita economica, qualità della vita e tutela degli ecosistemi.

Infine, il documento intende configurarsi come strumento di supporto decisionale e operativo per le città, mettendo a disposizione delle amministrazioni metodologie validate, casi di studio e pratiche replicabili. Solo attraverso un dialogo continuo tra ricerca e governo del territorio sarà possibile

promuovere città più resilienti, inclusive e climaticamente neutrali, capaci di affrontare le sfide globali con soluzioni radicate nei contesti locali.

Questo approccio integrato consente di trasformare i problemi urbani in opportunità di innovazione e rigenerazione, promuovendo città più resilienti, inclusive e sostenibili, capaci di coniugare sviluppo economico, qualità della vita e tutela dell'ambiente. Il documento si pone quindi come strumento operativo e strategico per supportare le amministrazioni locali nella traduzione delle conoscenze scientifiche in azioni concrete e replicabili sul territorio, rafforzando la capacità di risposta alle sfide globali e locali.

2. GOVERNANCE PARTECIPATA

Coordinatrice: Erika Mancuso (EC-SSC)

2.1 Introduzione

In questo capitolo si fa riferimento al concetto di governance partecipata e collaborativa inteso come "governance multistakeholder". La governance multi-stakeholder, anche chiamata governance multi-partecipativa, è un sistema di governo nuovo ed in evoluzione che prevede l'inclusione delle parti interessate, appunto gli stakeholders, nel processo decisionale e nella fase di implementazione di politiche volte alla gestione del bene comune.

In questo contesto, pertanto, si propongono competenze maturate in seno al Dipartimento che possono supportare un "governo partecipativo" delle città.

Le competenze presentate in questo capitolo coprono l'intero arco del processo partecipativo: dall'attivazione di sinergie tra gli attori urbani (simbiosi urbana), al loro coinvolgimento diretto attraverso metodologie di engagement e co-creazione, fino alla formazione delle nuove generazioni, allo studio delle comunità, ai percorsi di capacity building per PA e imprese e all'inserimento in reti consolidate. Si tratta di strumenti modulari, attivabili gradualmente: ciascuna amministrazione può individuare il punto di partenza più coerente con il proprio contesto e costruire nel tempo un percorso di governance partecipata.

Vengono, pertanto, riportate delle competenze quali potenziali strumenti per una governance di tipo partecipativo che affianca le amministrazioni nella creazione di opportunità di cambiamento, mettendo a disposizione metodologie e strumenti a supporto dei processi decisionali e di governo del territorio.

2.2 Simbiosi urbana

Nella prospettiva della governance partecipata, la simbiosi urbana costituisce un terreno privilegiato di collaborazione tra attori diversi, poiché la creazione di sinergie tra imprese, cittadini e istituzioni presuppone forme strutturate di dialogo e coordinamento.

Si propone un approccio conosciuto e ampiamente sperimentato in pregressi progetti ENEA che, a partire dalla dimensione industriale arriva al coinvolgimento di quella urbana.

L'approccio complessivo è di tipo circolare e mira a creare relazioni virtuose tra diverse entità urbane (aziende, cittadini, istituzioni) per ottimizzare l'uso delle risorse, ridurre gli sprechi e promuovere un'economia circolare urbana. Grazie a questo approccio è possibile valorizzare gli scarti e i sottoprodotti di un'attività come input per un'altra, creando un circolo virtuoso di riutilizzo e valorizzazione delle risorse (Cutaia et al., 2020). La simbiosi urbana riconosce quindi il potenziale dei rifiuti urbani (es. scarti alimentari, rifiuti organici, materiali riciclabili, fanghi di depurazione) come materia prima per nuove produzioni andando anche oltre la mera gestione dei rifiuti, configurandosi quindi come un'economia delle sinergie e delle simbiosi tra attività industriali, tra sistema industriale e città, tra città e territorio extraurbano (Mancini et al., 2024).

L'economia circolare è un'economia rigenerativa dei materiali, delle risorse naturali, dell'energia, dell'acqua, delle risorse culturali, sociali, delle relazioni. Essa collega la città alla campagna e alle filiere produttive in un circuito virtuoso, con rapporti di complementarità produttiva non solo con il territorio agricolo, ma anche con i centri urbani minori. Essa dovrebbe essere sempre più fondata su processi di creazione di valore che riusano, recuperano, e riciclano ogni scarto o prodotto a fine vita, innescando circuiti virtuosi che minimizzano anche l'utilizzo di risorse energetiche.

Si propone una competenza che favorisce un approccio simbiotico nell'ambito urbano, ovvero un approccio integrato, olistico e multidisciplinare per lo sviluppo urbano sostenibile, al fine di traguardare ambienti urbani di migliore qualità attraverso un uso efficiente delle risorse e sinergie tra i diversi sistemi presenti sul territorio urbano. Questo approccio, inclusivo e multidisciplinare allo sviluppo urbano sostenibile, può anche contribuire alla riduzione della povertà, creando ambienti urbani e paesi migliori per tutti i loro abitanti e affrontando le problematiche legate al cambiamento climatico.

L'approccio proposto si avvale di competenze specifiche in fatto di sviluppo di percorsi di Simbiosi industriale e progetti relativi alla smart port city. Allo stesso tempo, le competenze presenti saranno adattate ed allineate alle peculiarità del contesto territoriale.

ENEA ha messo a punto specifici strumenti per la simbiosi industriale, fra cui una metodologia per il coinvolgimento delle aziende, una piattaforma per il matching delle risorse, la rete italiana di simbiosi industriale SUN per la condivisione e promozione delle esperienze condivise e vari progetti che a livello

regionale, nazionale ed internazionale, sviluppano modelli di economia circolare attraverso l'approccio della simbiosi industriale (Cutaia et al., 2019).

La tematica e l'approccio circolare sono sicuramente asset focali del Dipartimento SSPT che coinvolgono decisamente tutta la Divisione EC, la Sezione NATURB, la sezione del Supporto Strategico, la sezione supporto Piattaforma ICESP, ma anche la Divisione per tecnologie materiali e industria sostenibile (TIMAS), e per le biotecnologie (BIOTEC), e la divisione dei Sistemi Agroalimentari sostenibili (AGROS) nonché la tematica climatica sia come impatti (IMPACT) che come osservazioni e modelli (CLIMAR).

In termini di governance partecipata, il valore di questo approccio risiede proprio nella sua capacità di mettere in dialogo attori abitualmente separati — imprese, cittadini e istituzioni — attorno a obiettivi condivisi di uso efficiente delle risorse, creando le condizioni relazionali su cui può innestarsi un percorso di rigenerazione.

2.3 Stakeholder engagement e co-creazione

I processi di stakeholder engagement e co-creazione sono alla base della governance partecipata. Esistono diversi strumenti per implementare questo tipo di processi. In questo ambito, si propone l'approccio metodologico degli Urban Living Lab (ULL), la cui efficacia è ampiamente riconosciuta anche dalla Commissione Europea, quali strumenti per coinvolgere gli stakeholder e per co-progettare a livello urbano.

Per poter traguardare un sistema economico e sociale improntato sulla gestione efficiente e circolare delle risorse, il coinvolgimento di tutti gli attori è riconosciuto come un elemento chiave in un'ottica di "co-creazione", basato sulla cooperazione tra diversi soggetti: istituzioni pubbliche, accademia, attori economici, cittadini e organizzazioni civili.

Sebbene gli ULL siano già stati sperimentati e implementati in tutto il mondo, la prima descrizione in letteratura di una metodologia puntuale per l'implementazione di ULL finalizzati alla co-creazione di attività basate sulla gestione circolare delle risorse, da realizzare in uno specifico territorio urbano è stata realizzata di recente da ENEA (Innella et al., 2024 a) e testata nell'ambito di alcune attività progettuali (Innella et al., 2024 b)

La competenza disponibile sviluppata e testata in attività progettuali a livello nazionale (progetto RECiProCo, Basilicata Heritage Smart Lab) ed internazionale (progetto Biocirculacities) è basata su quattro fasi principali: (i) Fase di scouting e analisi del contesto territoriale (studio del territorio e mappatura dei potenziali stakeholder di interesse); (ii) Fase di ascolto/esplorazione (individuazione dei bisogni del territorio sui temi della circolarità); (iii) Fase di partecipazione (info-formazione e scambio di esperienze tra i partecipanti); (iv) Fase esecutiva (co-progettazione di attività di economia circolare

da realizzare nel territorio di riferimento). Ognuna di queste quattro fasi è a sua volta strutturata in altre fasi, come rappresentato graficamente nella Figura 2.1.

Il punto di forza dell'approccio è l'estrema replicabilità in qualsiasi contesto urbano e la grande versatilità: oltre a poter essere esteso ad altre aree tematiche della rigenerazione urbana, offre alle amministrazioni un metodo strutturato per coinvolgere gli stakeholder del territorio e tradurre il confronto in progettualità condivisa.

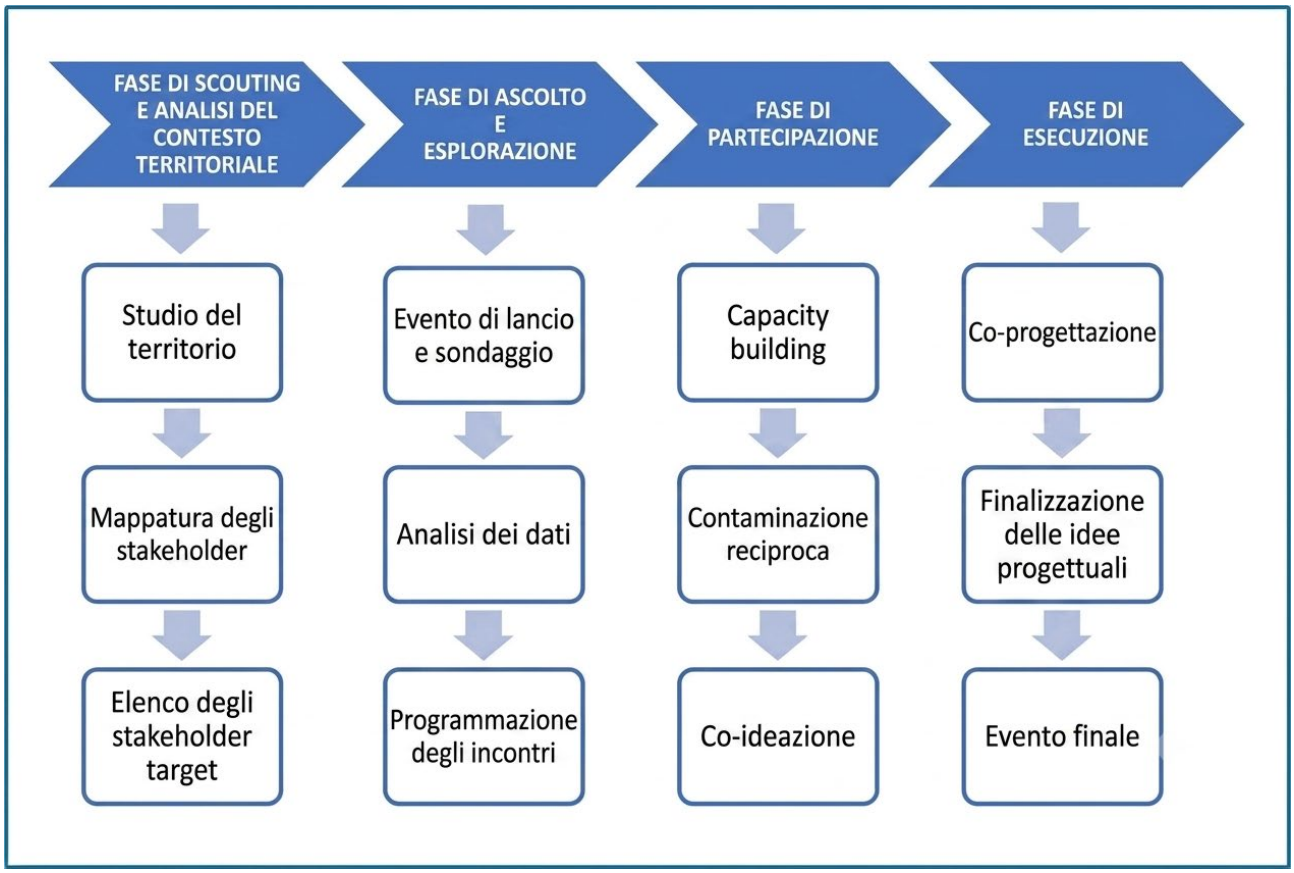


Figura 2.1. Framework metodologico per realizzare gli Urban Living Lab (Modificato da: Innella et al., 2024)

2.4 Coinvolgimento delle scuole

Le scuole rappresentano i principali driver del cambiamento trasformativo delle città. In questa direzione coinvolgere le scuole in processi di sensibilizzazione di co-creazione può innescare un processo di governance partecipata che coinvolge anche le giovani generazioni.

Tuttavia, coinvolgere le scuole ed avviare percorsi formativi sulla sostenibilità è un'impresa impegnativa, poiché l'argomento è complesso e integra molte discipline, mentre i metodi di insegnamento tradizionali non bastano a incoraggiare il cambiamento trasformativo. La competenza proposta in quest'ambito è stata sviluppata e testata durante diverse attività progettuali dedicate sia alla formazione dei docenti, in ambito sostenibilità, economia circolare, problematiche degli edifici legate alla vulnerabilità sismica, risparmio energetico, comfort e salubrità indoor (applicata la

metodologia della didattica inversa con proposte di casi studio), che alla formazione degli studenti. In particolare, la formazione dedicata agli/alle studenti/studentesse consiste in una metodologia in grado di coinvolgere i fruitori non solo in percorsi di co-progettazione di attività ma anche nella realizzazione delle stesse. L'organizzazione di eventi come il Climathon ha visto la formazione e il coinvolgimento degli studenti nello sviluppo di idee progettuali per l'implementazione di strategie di economia circolare nel loro contesto territoriale.

L'approccio metodologico integra le teorie di Living Lab e di Tinkering (progettare e realizzare un'idea con gli studenti, al fine di rendere l'attività maggiormente inclusiva e motivante).

Tale metodologia (Innella et. al., 2023; Innella et al., 2024) rappresentata graficamente nella Figura 2.2 può essere opportunamente modulata e adattata alle specifiche necessità nel corso di una o più annualità scolastiche.

La metodologia è molto flessibile e pertanto si modula facilmente anche ad altre aree tematiche prese in considerazione nell'ambito della rigenerazione urbana.

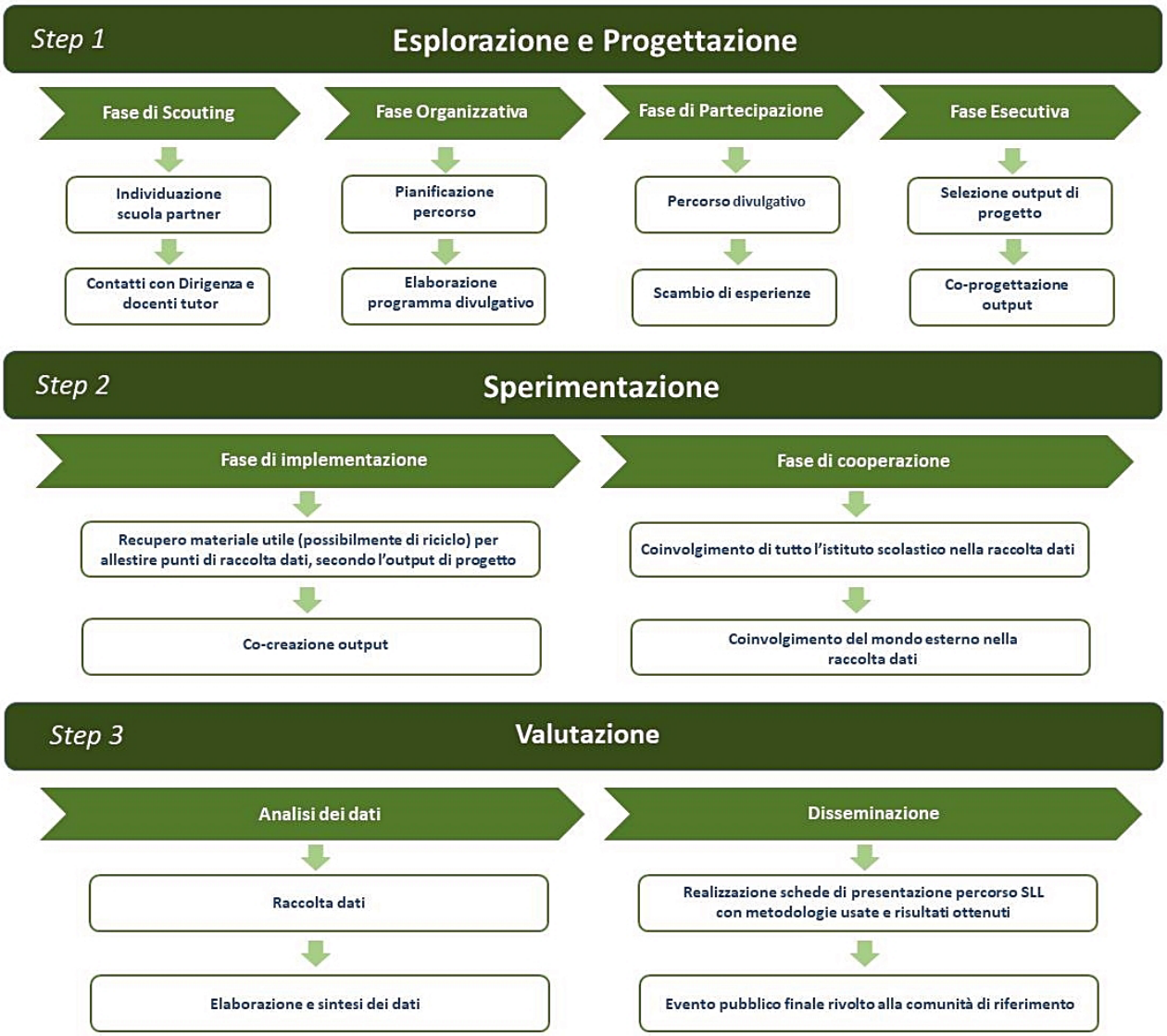


Figura 2.2. Framework metodologico per realizzare gli School Living Lab

2.5 Studio e Sviluppo di Comunità Circolari

Per la ricerca e l'analisi di modelli di gestione e uso delle risorse finalizzate allo studio di Comunità Circolari, si propone un approccio misto che prevede componenti di metodo e analisi qualitativa e quantitativa.

Nel primo caso, si fa riferimento ad interviste, analisi di temi e contenuti, ed evidenze, mentre nel secondo caso si fa riferimento a metodologie e analisi di dati strutturati e indicatori specifici. L'approccio metodologico proposto combina aspetti qualitativi, tra cui definizione di criteri di analisi relativi, ad esempio, alle tipologie di coinvolgimento di attori e portatori di interesse, obiettivi delle Agende per la ricerca e l'innovazione, aspetti quantitativi (e.g. statistiche territoriali).

Si utilizzano per gli aspetti qualitativi, le rassegne tematiche, i focus group o tavoli tematici, lo strumento matriciale per l'organizzazione e l'analisi dei dati, e più in generale l'impiego di software per la visualizzazione ed esplorazione (e.g. Gephi), o per l'elaborazione di statistiche descrittive. In particolare, si evidenzia la dimestichezza nell'impiego di analisi e strumenti in ottica comparativa. Ulteriori sviluppi potranno includere una sinergia tra discipline STEM e SSH (Ceddia et al., 2024).

Per le amministrazioni, queste competenze offrono una lettura approfondita del contesto socio-istituzionale e di policy, utile a far emergere i collegamenti e le relazioni — formali e informali — su cui poggiano le dinamiche locali. È una base conoscitiva necessaria per progettare azioni e strategie rigenerative efficaci, calibrate sulle specificità di ciascun territorio.

2.6 Percorsi di "Capacity Building" rivolti alle PA e alle imprese

Il dipartimento SSPT offre un portfolio di competenze che possono essere messe a sistema nell'ambito di percorsi di formazione e sviluppo di competenze rivolti alla PA e imprese coinvolte nella rigenerazione urbana, fornendo programmi di formazione personalizzati in base alle esigenze dei singoli stakeholder. Le principali tematiche su cui possono essere incentrati i percorsi di formazione riguardano: uso efficiente delle risorse, sostenibilità, etichette ambientali, analisi del ciclo di vita, eco-design e circular design, modelli di business sostenibili, sharing economy, consumo consapevole e modelli di consumo circolare, anche in ambito food, supporto in percorsi di economia circolare, azioni per aumentare la qualità ambientale, favorire l'adattamento climatico e ridurre la vulnerabilità delle aree urbane, pianificazione e gestione di NbS, biorestauro, certificazione e valutazione ambientale, materie prime non energetiche, protezione e valorizzazione del patrimonio edilizio e storico-artistico.

L'approccio proposto si avvale di competenze specifiche in fatto di sviluppo di percorsi di Capacity Building tramite lezioni e seminari interattivi, Focus group, Laboratori operativi, Laboratori learning by doing, diffusione di buone pratiche e casi di successo, training on the job, approccio "bottom-up" che consente di indagare i fabbisogni delle imprese e della PA per organizzare corsi "su misura" rispondenti alle specifiche esigenze territoriali. Obiettivo principale di tale approccio è trasmettere competenze e capacità, metodologie e strumenti operativi di supporto, per un management orientato ad una gestione circolare ed efficiente delle risorse (Creanza et al, 2019).

L'approccio ENEA anche in questo ambito tematico è multidisciplinare e olistico e si basa sui principi della condivisione e della partecipazione. ENEA, come agenzia, si rivolge a PA, imprese e intera società e questo mandato trova piena vocazione nelle attività condotte per lo sviluppo della sostenibilità dei sistemi produttivi e territoriali e per la transizione verso l'economia circolare e la resilienza climatica. In

particolare, il focus sui territori non può prescindere dal coinvolgimento di tutti gli stakeholder per poter attuare una co-governance e rendere efficaci politiche, iniziative e strumenti.

L'approccio proposto presenta l'indiscusso valore aggiunto delle competenze verticali radicate nel mondo della ricerca e dell'innovazione, che vengono messe a sistema attraverso criteri di interdisciplinarità, con una presenza forte anche di soft skills (creatività, network, lavorare in gruppo, facilitazione). Per le amministrazioni e le imprese, questo si traduce in percorsi formativi calibrati sui fabbisogni reali del territorio, capaci di rafforzare le competenze interne necessarie a progettare e gestire in autonomia gli interventi di rigenerazione, riducendo nel tempo la dipendenza da supporto esterno.

2.7 Network

L'adesione a network nazionali e internazionali rappresenta oggi una leva strategica per rafforzare la capacità delle istituzioni di incidere sui processi di transizione ecologica e di rigenerazione urbana, consentendo lo scambio di conoscenze, la condivisione di buone pratiche e la costruzione di alleanze multi-attoriali e multilivello.

In tale prospettiva, il Dipartimento SSPT è impegnato attivamente, su più livelli territoriali e istituzionali, in diversi network dedicati alla rigenerazione urbana e alla transizione verso modelli di sviluppo sostenibile nelle aree urbane.

A livello internazionale, il Dipartimento partecipa all' Advances in Cleaner Production Forum[1], iniziativa multidisciplinare e transdisciplinare che promuove l'adozione di pratiche di produzione più pulita e di consumo sostenibile come strumenti chiave per l'attuazione di strategie integrate e preventive. L'approccio del Forum si fonda su una visione olistica, orientata all'ottimizzazione dei processi, alla progettazione etica dei prodotti e alla fornitura responsabile dei servizi. Tali attività si collocano nell'ambito dell'iniziativa "Accelerating the Transition to Equitable, Sustainable, Livable, Post-Fossil Carbon Societies", che mira a favorire la transizione verso società eque, sostenibili, vivibili e post-fossili.

A livello europeo, il Dipartimento è partner di supporto della Circular Cities Declaration[2], sottoscritta da circa 90 città e supportata da diversi attori istituzionali e scientifici. Tale dichiarazione costituisce un impegno politico e programmatico che i governi locali e regionali europei assumono al fine di accelerare la transizione verso l'economia circolare. Gli obiettivi principali del network possono essere sintetizzati come segue:

[1] https://www.advancesincleanerproduction.net/network/

[2] https://circularcitiesdeclaration.eu/

1. consentire alle amministrazioni locali e regionali di manifestare e comunicare il proprio impegno in favore della circolarità;
2. fornire una visione condivisa di ciò che costituisce una "città circolare";
3. evidenziare il ruolo cruciale delle autorità locali e regionali nell'implementazione della transizione;
4. creare una comunità di pratiche fondata sullo scambio di esperienze, sfide e successi.

Il Dipartimento contribuisce inoltre ai lavori della piattaforma europea degli stakeholder per l'economia circolare (European Circular Economy Stakeholder Platform – ECESP[3]), iniziativa promossa dalla Commissione Europea e dal Comitato sociale economico europeo nel 2018 come una delle 54 azioni del primo piano di azione europeo sull'economia circolare[4] che, primo di successivi piani/atti, ha fatto emergere con chiarezza il concetto della collaborazione tra stakeholder come passaggio obbligato per attuare la transizione. ENEA prende parte alle iniziative trasversali e ai gruppi di lavoro specifici di ECESP, con particolare riferimento al gruppo dedicato alle circular cities, incentivi economici e ambiente costruito.

Sempre in ambito europeo, partecipa ai lavori del CEN TC465/WG1 "Nature-Based Solutions", impegnato nella definizione di standard e linee guida sulle soluzioni basate sulla natura.

Sul piano nazionale, il Dipartimento è membro del Green City Network[5], promosso dalla Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, con l'obiettivo di supportare le città italiane – grandi, medie e piccole – nel rafforzare le politiche locali di sostenibilità. Le attività si concentrano in particolare sulla qualità ecologica urbana, sulla mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, sulla riduzione del consumo di suolo e sulla promozione di un uso efficiente e circolare delle risorse.

Sempre sul piano nazionale, il Dipartimento partecipa ai lavori dell'Osservatorio sulla Transizione Ecologica nelle Città (OTEC), che riunisce amministrazioni locali, mondo della ricerca, imprese e società civile per favorire il confronto, l'apprendimento reciproco e la diffusione delle buone pratiche tra le città partecipanti. L'Osservatorio articola le proprie attività in quattro Gruppi di Lavoro tematici dedicati rispettivamente all'adattamento climatico, alla mitigazione climatica, alla circolarità e al ripristino e all'aumento del capitale naturale nelle città. Nell'ambito di OTEC il Dipartimento è presente in tutti i Gruppi di lavoro e coordina il Gruppo di Lavoro sulla circolarità, contribuendo a mettere a sistema esperienze territoriali in cui le strategie urbane di circolarità si intrecciano con l'innovazione sociale, e

[3] https://circulareconomy.europa.eu/platform/en

[4] https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy_en

[5] https://www.greencitynetwork.it/

dando continuità al lavoro di analisi e selezione di casi di eccellenza confluito nel primo Rapporto dell'Osservatorio. Contestualmente, il Dipartimento partecipa ai lavori della Commissione Tecnica UNI CT/058 "Città, comunità e infrastrutture sostenibili", contribuendo sia al Gruppo di Lavoro GL 01 – Governance e sviluppo delle città e delle comunità sostenibili, che ha elaborato la Norma UNI1610384 sui requisiti per il coinvolgimento attivo delle comunità e degli stakeholder nella governance locale, sia al Gruppo di Lavoro GL 02 – Sostenibilità negli ecosistemi urbani.

Un ulteriore ambito di partecipazione nazionale è rappresentato dal Forum Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile[6], istituito dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. Il Forum si configura come uno spazio multi-attoriale e multilivello di confronto tra istituzioni pubbliche, società civile ed esperti, volto a promuovere pratiche e processi di sostenibilità. Esso si fonda sui principi dell'Open Government e sperimenta modelli innovativi di partecipazione per l'attuazione della Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile.

A livello regionale, il Dipartimento è membro del consiglio direttivo del Cluster delle Industrie Culturali e Creative della Regione Basilicata – Basilicata Creativa[7]. In tale contesto, contribuisce a iniziative progettuali di rigenerazione urbana e innovazione sociale, con particolare attenzione alla valorizzazione del patrimonio culturale e storico-artistico quale leva per lo sviluppo territoriale.

Un'attenzione specifica merita ICESP[8] la Piattaforma Italiana degli Stakeholder per l'Economia Circolare, promossa nel maggio 2018 a seguito della selezione dell'ENEA nel primo gruppo di coordinamento dell'omologa piattaforma europea ECESP. Il mandato di creare un hub nazionale è stato interpretato con l'obiettivo di valorizzare la peculiarità italiana, portando la grande competenza ed esperienza nazionale sul tema dell'economia circolare a livello internazionale e aumentando la rappresentatività del paese nella comunità internazionale. Le finalità della piattaforma italiana convergono con quelle europee nel promuovere la diffusione della conoscenza, favorire il dialogo e le sinergie tra gli attori, e mappare le buone pratiche italiane attraverso un database dedicato che offre l'opportunità di successivo invio ad ECESP per la pubblicazione a livello internazionale.

ICESP si configura come tavolo di condivisione delle azioni e delle iniziative in corso, realizzando uno strumento operativo permanente per promuovere il dialogo e le interazioni. Attualmente la piattaforma conta 149 organizzazioni firmatarie, ma la partecipazione alle consultazioni dei gruppi è estesa e attualmente conta più di 320 organizzazioni con circa 600 esperti. La composizione della piattaforma segue l'approccio della quadrupla elica, includendo istituzioni e pubblica amministrazione centrale e

[6] Collegamento al sito del MASE

[7] https://www.basilicatacreativa.it/

[8] https://www.icesp.it/

locale, imprese e associazioni di categoria che costituiscono la maggior parte degli aderenti, il mondo della ricerca e il terzo settore rappresentativo della società civile.

ICESP persegue gli obiettivi nei tre pilastri fondamentali:

- Pilastro "Mappatura Buone Pratiche" che mappa e valorizza esperienze virtuose di economia circolare, favorendone la replicabilità in diversi contesti quali motore della transizione. Promuove il trasferimento delle conoscenze, l'innovazione e il monitoraggio degli impatti, contribuendo a diffondere modelli efficaci e circolari.
- Pilastro "Diffusione della Conoscenza" che promuove la comunicazione e la formazione sui temi dell'economia circolare, valorizzando i contenuti prodotti dalla piattaforma. Mira a rendere l'EC più accessibile attraverso strumenti digitali, eventi, campagne e iniziative di sensibilizzazione rivolte a cittadini, imprese e istituzioni.
- Pilastro "Dialogo Multistakeholder" che favorisce il confronto tra attori pubblici e privati, promuovendo sinergie tra gruppi tematici e territori. È spazio di ascolto, co-progettazione e scambio per rafforzare la rete ICESP e stimolare una partecipazione ampia e informata, in particolare su selezionati focus strategici definiti in Assemblea plenaria. I focus strategici definiti per il biennio 2025-2026 rappresentano temi di particolare rilevanza e sono:
    - Focus "Ecodesign" che supporta l'adozione dell'eco-progettazione in linea con il Regolamento ESPR. Analizza normative, ostacoli e opportunità per progettare prodotti sostenibili e duraturi, contribuendo alla transizione circolare delle filiere industriali.
    - Focus "Materie Prime Critiche (CRM)" che affronta il tema della sicurezza e circolarità delle materie prime strategiche. Promuove dialogo con le imprese, condivisione di buone pratiche e sinergie istituzionali, in linea con le politiche europee e nazionali sul tema.
    - Focus "Biotecnologie Circolari" che promuove soluzioni biotecnologiche innovative per valorizzare risorse biologiche e ridurre l'impatto ambientale. Mira a superare barriere normative e a rafforzare il dialogo tra ricerca e industria per sviluppare modelli bio-based resilienti.
    - Focus "Città e Territorio Circolari" che integra economia circolare, rigenerazione urbana e adattamento climatico. Si focalizza su Nature-based Solutions e strumenti operativi per città più sostenibili, promuovendo pratiche territoriali circolari e partecipate.
    - Focus "Economia Circolare e Cambiamenti Climatici" che esplora il contributo dell'economia circolare alla mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici. Lavora su filiere produttive e approcci multisettoriali per favorire la resilienza e la decarbonizzazione attraverso soluzioni sistemiche.

Gli strumenti operativi della piattaforma includono il sito web (www.icesp.it) come principale canale di informazione e interazione e il database delle buone pratiche, uno dei risultati più tangibili dell'attività

ICESP, con 246 buone pratiche pubblicate sul sito a seguito di valutazione secondo i criteri: efficacia, rilevanza, innovazione, replicabilità, benefici dell'applicazione e contributo educativo e comportamentale, riconoscendo che la transizione verso l'economia circolare implica un cambiamento culturale profondo.

La piattaforma mantiene un'apertura costante alla partecipazione, invitando nuove organizzazioni ad aderire alle attività, e sollecitando l'invio di nuove buone pratiche al database. Questa apertura riflette la filosofia collaborativa di ICESP nel considerare la condivisione di conoscenze ed esperienze come elemento fondamentale per accelerare la transizione verso l'economia circolare a livello nazionale e contribuire al posizionamento dell'Italia nel panorama internazionale.

Nell'ambito di ICESP il Dipartimento coordina il Focus Strategico "Città e Territorio Circolari", congiuntamente ad Università Iuav di Venezia e Università di Torino, con il coinvolgimento di circa 100 stakeholder nazionali. L'iniziativa si concentra sull'elaborazione di strumenti e visioni per supportare le città e le aree urbane nella transizione verso la neutralità climatica, promuovendo il paradigma delle città rigenerative e circolari. Tale approccio, ispirato al principio di sviluppo nature-positive, mira a ridefinire i processi urbani attraverso modelli di governance e progettazione capaci di integrare sostenibilità ambientale, inclusione sociale e resilienza territoriale.

2.8 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono

Tematiche Trasversali / Competenza	Clima e qualità ambientale	Innovazione sociale	SdGs a cui risponde
Simbiosi urbana	L'uso efficiente delle risorse in ottica circolare implica un minor uso e consumo di energia e quindi riduzioni di gas ad effetto serra rilasciate e minore energia dovuta al mancato prelievo di risorse vergini.	I processi di simbiosi generano densità di legami e attività che producono, a loro volta, nuova occupazione, fornendo un contributo rilevante in termini d'impatto sociale e di umanizzazione dello sviluppo. Un ulteriore e non secondario aspetto è rappresentato dalla crescita di consapevolezza nella comunità locale sul ruolo delle eco-innovazioni.	
Stakeholder engagement e co-creazione		L'ULL contribuisce all'innovazione sociale perché coinvolge cittadini ed associazioni in processi co-creativi che determinano maggiore consapevolezza ed aumento di conoscenza	
Coinvolgimento delle scuole		Attraverso gli SLL è possibile utilizzare uno strumento divulgativo e formativo sulle tematiche di economia circolare e sostenibilità. Gli SLL consentono processi di co-creazione attraverso cui la scuola diventa promotrice di cultura sostenibile sul territorio.	
Studio e Sviluppo di Comunità Circolari			
Percorsi di "Capacity Building" rivolti alle PA e alle imprese	Sono previste azioni per aumentare la qualità ambientale, favorire l'adattamento climatico e riduzione di vulnerabilità	Gli Enti locali e le imprese che beneficiano di questa competenza possono attuare più facilmente azioni innovative sui territori per l'innovazione sociale, e per lo sviluppo di nuove politiche per la sostenibilità.	

3. MATERIE PRIME ED ACQUA

Coordinatrice: Amalia Zucaro (EC-RMP)

3.1 Introduzione

La quantità e la qualità delle risorse disponibili determinano le dimensioni e i modelli di oscillazione delle economie, delle popolazioni e delle risorse urbane. La globalità di questi processi viene definita "metabolismo urbano", strettamente interconnessa con lo sviluppo e la sostenibilità dei modelli di business all'interno e intorno alle città.

Per una corretta gestione delle risorse urbane è necessario comprendere i concetti di economie e comunità sostenibili, considerando gli aspetti ecologici, la disponibilità e la qualità delle risorse energetiche e materiali all'interno delle città (come la catena alimentare, l'edilizia abitativa, i trasporti, il commercio, la salute, la qualità dell'aria e dell'acqua) e al loro esterno (come le produzioni agricole ed industriali, la gestione dei rifiuti, l'integrità delle acque superficiali e sotterranee, la gestione del sistema idrico integrato, il paesaggio, la conservazione degli ecosistemi), definendo così opportunità e limiti per l'ulteriore sviluppo e il benessere delle popolazioni sia urbane che rurali (Zucaro and Agostinho, 2025).

La scarsa disponibilità di risorse naturali, l'implementazione di sistemi di approvvigionamento più resilienti e adattabili, la necessità di cambiamento nello stile di vita e nei modelli di consumo e produzione locali, stanno portando all'implementazione di uno stile di vita urbano a minore intensità di risorse. È necessario promuovere nuovi modelli economici e aziendali innovativi in grado di ridurre il degrado delle risorse e più in generale dell'ambiente, favorendo il recupero e la rigenerazione dei rifiuti e degli scarti di lavorazione, per una corretta gestione e salvaguardia dei sistemi ambientali e dei paesaggi.

Al fine di affrontare adeguatamente gli aspetti della sostenibilità, di seguito vengono dettagliate le principali competenze per una corretta gestione delle materie prime e delle acque.

3.2 Modelli di consumo circolari

Tutte le 10 "R" delle strategie di economia circolare sono in relazione agli aspetti del consumo delle risorse anche da parte dei cittadini-consumatori.

Tale principio è valido in generale, ma assume una rilevanza e una complessità particolari nel caso della risorsa idrica, dove la presenza di numerosi attori, diversi livelli di governance e interdipendenze tra settori richiede un approccio coordinato e multilivello, capace di integrare comportamenti individuali e politiche pubbliche (Beltrani et al., 2025). Per tale ragione le amministrazioni delle aree urbane possono intervenire per favorire e sostenere attività di consumo sostenibile e circolare, sia attraverso

campagne di sensibilizzazione e info-formazione rivolte a studenti e cittadini sulle tematiche ambientali (Meisterl et al., 2024) sostenendo la realizzazione di alcune attività e servizi in tale ottica (per es. centri del riuso, spazi di coworking, orti e giardini condivisi), sia attraverso il coinvolgimento dei cittadini e degli altri stakeholder del territorio in processi di co-creazione (Szabó et al, 2024).

La metodologia di engagement, info-formazione e co-creazione che è stata messa a punto, basata sull'approccio di Urban Living Lab, risponde non solo agli scopi della sensibilizzazione e info-formazione, ma può supportare l'implementazione di attività e servizi (come, ad esempio, piattaforme di sharing economy, repair café, spazi di co-working, orti urbani) che possono favorire pratiche di consumo più circolare, con ricadute positive dal punto di vista ambientale, economico e sociale.

Le competenze offerte favoriscono le interazioni tra le amministrazioni e tutti gli stakeholder del territorio in processi di engagement, info-formazione e co-creazione di attività e servizi destinati ad incentivare, promuovere e sostenere il consumo circolare.

3.3 Urban mining ed edilizia circolare

Le città e le attività produttive ed industriali rappresentano una preziosa fonte di risorse, attraverso i flussi di residui e rifiuti prodotti e gli stock di materiali in esse immagazzinati. L'urban mining è un processo che consiste nel recuperare materiali da strutture urbane dismesse, rifiuti e prodotti a fine vita per reimmetterli nel ciclo produttivo come materie prime seconde. Questo approccio mira a ridurre la dipendenza da risorse naturali vergini, minimizzare l'impatto ambientale e creare nuove opportunità economiche.

Diversi sono gli approcci e gli strumenti che ENEA utilizza nell'effettuare queste valutazioni: (a) analisi e quantificazione dei flussi di materia, energia e rifiuti ("material flow analysis"), (b) analisi degli stock e (c) Life Cycle Assessment ed embodied carbon ed energy per la misurazione della sostenibilità ambientale. Tra i flussi di particolare interesse un esempio è rappresentato dagli stock contenuti negli edifici e nelle infrastrutture che possono liberarsi nel corso di interventi di riqualificazione e che possono essere valorizzati in nuovi progetti di costruzione e rigenerazione (Luciano et. al, 2023a).

L'approccio proposto e testato da ENEA per la quantificazione di questi stock (sviluppato nell'ambito del progetto ES-PA – Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione) (Luciano et al. 2023a, b), è multiscalare e considera differenti livelli di intervento: macro, meso e micro che corrispondono alla scala nazionale, regionale/provinciale/distretto, città/quartiere o singolo edificio (Figura 3.1). Ognuno di questi livelli ha scopi ed obiettivi specifici oltre che destinatari differenti. L'analisi alla scala nazionale affronta l'obiettivo di individuare l'entità dei materiali recuperabili dal parco edilizio italiano con la finalità di supportare un piano di uso efficiente delle risorse a livello paese in sinergia con altre iniziative di mappatura dei flussi (Luciano et al. 2020). La scala intermedia potrà essere utilizzata per

pianificazioni strategiche regionali o provinciali e di aree più o meno vaste caratterizzate da omogeneità nei caratteri costruttivi (es. borghi aree interne, etc.). La scala locale avrà l'obiettivo di fornire strumenti operativi per la pianificazione urbana, di quartiere o di singolo edificio.

Le competenze offerte sono molteplici: (a) programmazione e progettazione degli interventi di riqualificazione del patrimonio edilizio con pratiche circolari attraverso la stima dello stock di materiali e l'individuazione delle migliori opzioni di riutilizzo; (b) analisi dei flussi materiali ("material flow analysis"), (c) supporto tecnico per l'individuazione delle tecnologie più idonee per il recupero dei materiali, (d) individuazione di percorsi di simbiosi industriale urbana; e) supporto allo sviluppo di piani nazionali, regionali e locali di uso efficiente delle risorse. Tali competenze e approcci possono essere applicati con successo anche agli altri flussi di residui e rifiuti che interessano l'ambiente urbano in una prospettiva più ampia di metabolismo urbano e simbiosi urbana.

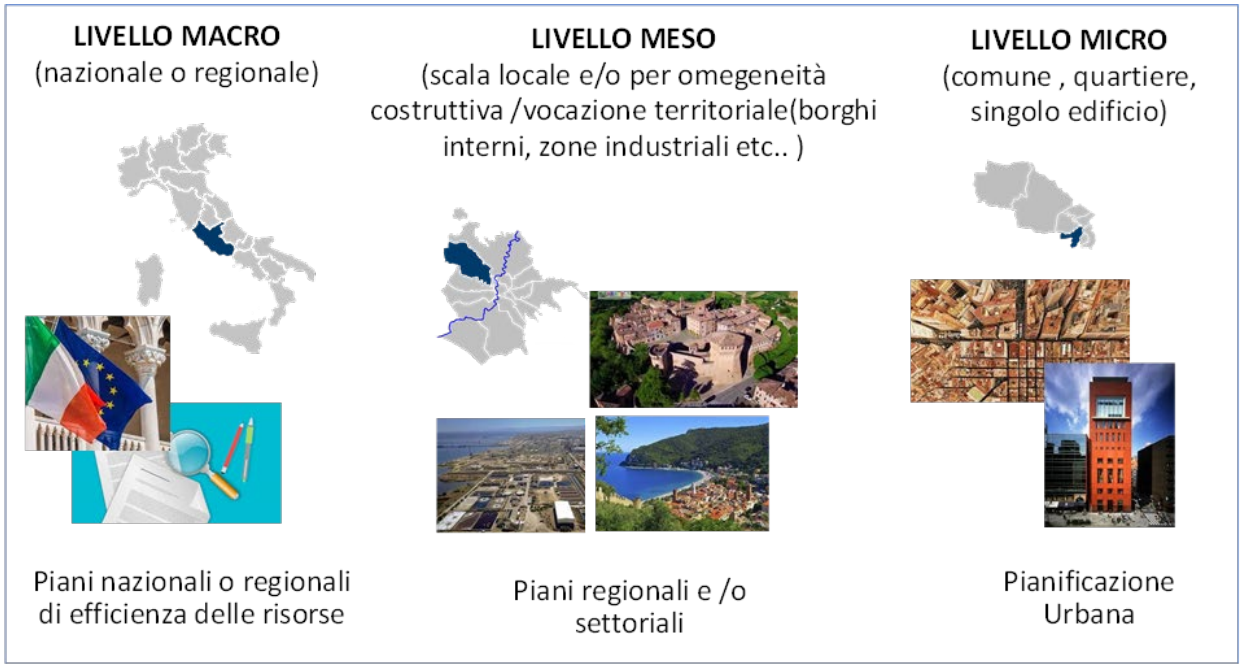


Figura 3.1. Livelli di applicazione del modello multi-scala per la quantificazione degli stock

3.4 Gestione sostenibile dei rifiuti da costruzione e demolizione

La rigenerazione urbana mira a migliorare la qualità della vita nelle aree urbane attraverso interventi che includono il riutilizzo dei materiali da costruzione e demolizione per creare un modello più circolare nel settore delle costruzioni. Sebbene diverse alternative per la sostituzione delle materie prime siano state ampiamente studiate dal punto di vista tecnico ed economico (Luciano et al., 2021), diverse criticità ostacolano un ampio tasso di sostituzione delle materie prime vergini con flussi valorizzati da CDW, rallentando la transizione verso l'economia circolare.

L'ENEA, da diversi anni, analizza lo stato di attuazione di politiche, azioni e buone pratiche a diversi livelli (europeo, nazionale e regionale), seguendo una metodologia sviluppata nell'ambito del progetto CONDEREFF "Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency", che combina ricerche documentali mirate ed indagini specifiche, attraverso la somministrazione di questionari e interviste guidate (Figura 3.2a). Tale approccio, consente di poter individuare proposte di miglioramento delle policy di settore partendo dalle esperienze di successo che possono quindi essere efficacemente trasferite e replicate, con il vantaggio ulteriore di trarre spunto anche dalle difficoltà incontrate nel processo di implementazione (Luciano et al., 2022).

L'ENEA ha inoltre contribuito allo sviluppo della piattaforma DECORUM (Figura 3.2b), sviluppata nell'ambito del Progetto "Demolition and construction recycling unified management", volta a favorire l'interrelazione tra tutti i soggetti coinvolti nel processo edilizio (stazioni appaltanti, progettisti, imprese di costruzione, impianti di riciclo) e poter gestire tutte le fasi del ciclo di vita delle opere pubbliche (dall'appalto fino alla realizzazione dell'opera) con l'obiettivo di agevolare la gestione ed il riutilizzo dei rifiuti da costruzione e demolizione (Luciano et al., 2021).

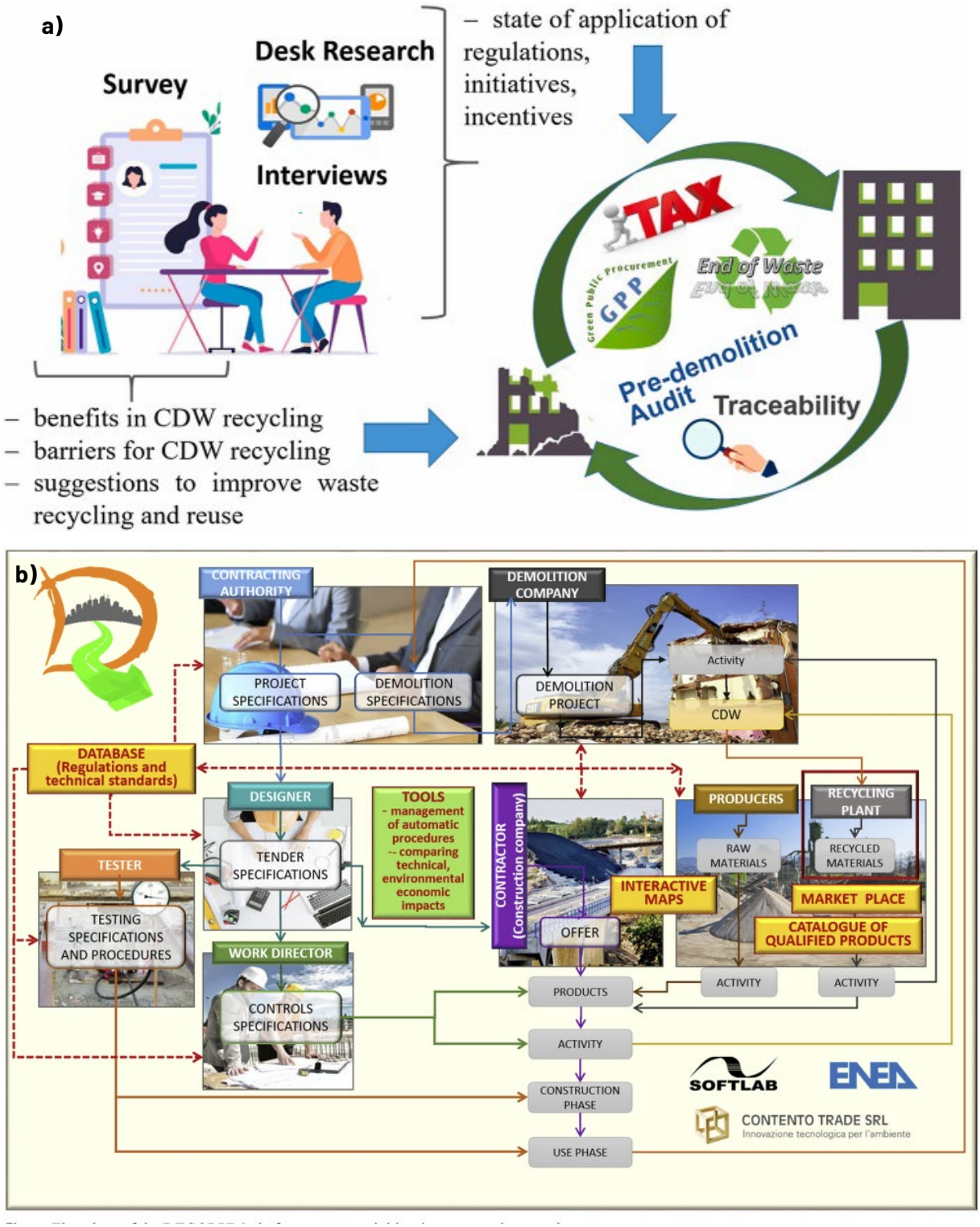


Figura 3.2. a) Metodologia di analisi di policies, incentivi e disincentivi per migliorare il riutilizzo dei rifiuti da costruzione e demolizione, b) Piattaforma DECORUM

3.5 Il risparmio idrico e il riutilizzo delle acque grigie e meteoriche

Il risparmio idrico ed il recupero e il riutilizzo delle acque meteoriche e grigie in ambito urbano sono azioni fondamentali per ridurre il prelievo dalle risorse idriche potabili oltre che per mitigare gli effetti dell'urbanizzazione sul ciclo idrologico e sulla qualità delle acque superficiali e il rischio di allagamenti

(Filippo et al., 2021; Langone and Petta, 2024). Queste pratiche favoriscono un uso sostenibile della risorsa idrica, contribuendo alla resilienza delle città ai cambiamenti climatici (Petta and Langone, 2025).

Per lo sviluppo di scenari di risparmio idrico e di recupero dele risorse idriche non convenzionali, con particolare riferimento alle acque meteoriche provenienti dalle coperture e alle acque grigie a scala di edificio, quartiere, e dell'intera area urbana è stata messa a punto da ENEA una metodologia basata su 6 fasi: 1) raccolta delle informazioni (dati georeferenziati, meteoclimatici, fabbisogni idrici, dotazione impiantistica, etc) per la costruzione di un quadro conoscitivo approfondito, attraverso il coinvolgimento dei principali stakeholder; 2) valutazione del potenziale di recupero delle acque meteoriche e grigie, nonché del fabbisogno idrico non potabile; 3) elaborazione degli scenari di efficientamento della gestione della risorsa idrica, con il continuo coinvolgimento degli stakeholder; 4) individuazione degli scenari prioritari; 5) Sviluppo tecnico degli scenari prioritari; e 6) redazione del report conclusivo e organizzazione di incontri con gli stakeholder per la disseminazione dei risultati (Figura 3.3).

Le competenze offerte favoriscono lo studio del contesto per l'analisi dei dati, la valutazione del potenziale di risparmio idrico nonché di recupero delle acque meteoriche e grigie, la valutazione dei fabbisogni idrici non potabili e il coordinamento di stakeholder.



Figura 3.3 La metodologia ENEA per il risparmio idrico e il riutilizzo delle acque grigie e meteoriche.

3.6 Il compostaggio di prossimità per una gestione sostenibile della frazione organica

Il compostaggio di prossimità rappresenta un valido modello per migliorare la gestione delle risorse ambientali ed in particolare per recuperare sostanza organica dai rifiuti da destinare al ripristino della fertilità del suolo (gestione a km 0 degli scarti organici).

L'ENEA svolge da anni attività sperimentali finalizzate a valutare il processo di recupero della frazione organica dei rifiuti con diverse compostiere domestiche e compostiere elettromeccaniche, che accelerano il compostaggio durante la fase attiva, riducono la produzione di cattivi odori ed eliminano la possibile presenza di animali indesiderati (Landolfo e Musmeci, 2013; Fiorentino et al., 2024). In particolare, le compostiere elettromeccaniche si pongono come tecnologia di riferimento per il trattamento di scarti organici prodotti da piccole comunità (es. isole, centri montani, paesi decentrati) e particolari contesti (es. utenze non domestiche).

Il punto di forza del compostaggio di prossimità è la sua scalabilità. Dalla singola utenza domestica (es. famiglia), alla forma associativa di più utenze domestiche e non ed infine alla possibilità di partecipazione dell'amministrazione comunale con un attivo coinvolgimento dei diversi stakeholder/attori interessati (Figura 3.4).

Le competenze offerte possono variare dal supporto alle amministrazioni per l'acquisto di compostiere elettromeccaniche, ad attività di formazione dei conduttori delle macchine e corsi di formazione sul processo di compostaggio e delle regole per il suo corretto svolgimento ai singoli utenti, cittadini e scuole.

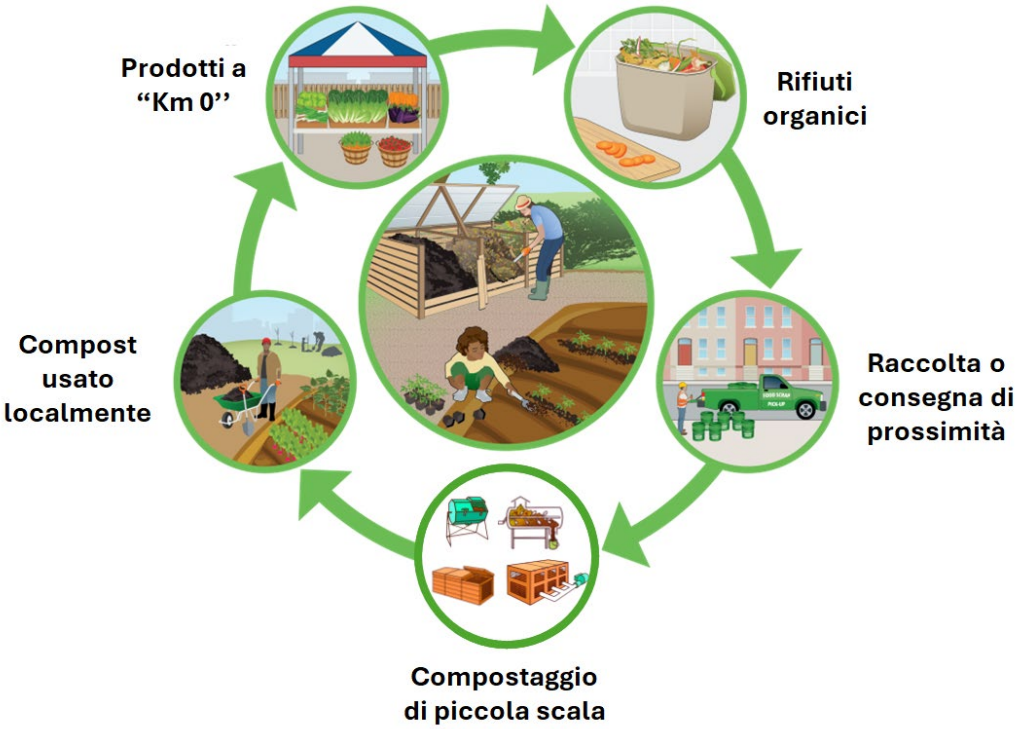


Figura 3.4. Il compostaggio di prossimità per una gestione sostenibile della frazione organica.

3.7 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono

Tematiche Trasversali / Competenza	Clima e qualità ambientale	Innovazione sociale	SdGs a cui risponde
Modelli di consumo circolari	Attività di supporto al consumo circolare al fine di favorire un continuo miglioramento della qualità dell'aria, dell'acqua e del microclima urbano.	Creazione di spazi di socializzazione e collaborazione tra cittadini, e tra cittadini ed amministrazione, rafforzando il senso di appartenenza e di responsabilità condivisa verso l'ambiente.	
Urban mining ed edilizia circolare	L'approccio mira a ridurre la dipendenza da risorse naturali vergini, minimizzando così l'impatto ambientale (distruzione di habitat, inquinamento ed emissioni di CO_2) derivante dalla loro estrazione		
Gestione sostenibile dei rifiuti da costruzione e demolizione	Il recupero dei materiali a fine vita favorisce la chiusura dei cicli, minimizzando l'impatto sull'ambiente.	Consente di poter individuare proposte di miglioramento delle policy di settore	
Il risparmio idrico e il riutilizzo delle acque grigie e meteoriche	Strategie efficaci per ridurre il consumo di acqua potabile, con benefici energetici, economici e ambientali: (i) minore pressione sulle risorse idriche, (ii) mitigazione degli effetti dell'urbanizzazione sul ciclo idrologico, (iii) riduzione del carico sulle reti di drenaggio e fognarie, (iv) risparmio sugli investimenti pubblici e (v) riduzione del costo dell'acqua per i cittadini.	Promozione di approcci e tecnologie accessibili oltre che modelli collaborativi per la diffusione di una nuova cultura dell'acqua che unisce sostenibilità ambientale e coesione sociale.	
Il compostaggio di prossimità per una gestione sostenibile della frazione organica	La produzione di compost di qualità aiuta il ripristino della qualità del suolo in termini di fertilità e di capacità di ritenzione idrica, previene la produzione di rifiuti organici, riduce le emissioni di gas climalteranti e diminuisce i trasporti dei rifiuti organici.	L'adesione al compostaggio di prossimità aumenta il coinvolgimento di cittadini ed aumenta la sensibilità degli utenti in materia di gestione sostenibile dei rifiuti.	

4. RIGENERAZIONE URBANA E SISTEMI AGROALIMENTARI INNOVATIVI

Coordinatrici: Antonella Del Fiore, Chiara Nobili (AGROS-IFAL)

4.1 Introduzione

Le città affrontano oggi sfide sempre più complesse legate al cambiamento climatico, alla pressione demografica e alle disuguaglianze, che richiedono per essere affrontate strumenti capaci di integrare pianificazione urbana, innovazione e gestione sostenibile delle risorse. In questo scenario, le Urban Food Policies rappresentano una leva strategica per valorizzare il cibo come elemento di rigenerazione ambientale, sociale ed economica (FAO, 2018; HLPE, 2017). Politiche urbane mirate rendono infatti il sistema agroalimentare più sostenibile e competitivo, integrando bisogni spesso trascurati e promuovendo spazi urbani funzionali, filiere locali e soluzioni innovative. Le città stanno quindi adottando approcci sistemici in cui sicurezza alimentare, resilienza territoriale ed equità sociale sono dimensioni interconnesse.

A questo obiettivo tendono piani del cibo, regolamenti per l'agricoltura urbana e strategie di economia circolare, che promuovono filiere corte, riduzione dello spreco e modelli produttivi innovativi (Moragues-Faus & Morgan, 2015; HLPE, 2019; Sonnino, 2016). In questo contesto assume crescente importanza l'approccio agroecologico, capace di generare resilienza e connettere attori urbani, periurbani e rurali. La sua integrazione in Living Labs e spazi di co-creazione favorisce collaborazioni interdisciplinari coerenti con gli indirizzi europei di ricerca.

Grazie alla combinazione tra governance delle risorse, innovazione digitale e agroecologia, l'azione della Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili - AGROS contribuisce alla rigenerazione urbana come processo trasformativo che ridefinisce modelli di città sostenibile attraverso spazi produttivi, tecnologie agro-smart, reti solidali e politiche integrate.

4.2 Urban Food Policies

Negli ultimi anni, la crescente complessità delle sfide urbane, tra cui cambiamento climatico, pressione demografica, disuguaglianze socio-economiche, crisi dei sistemi alimentari, ha spinto le amministrazioni a sviluppare approcci più sistemici e multilivello, capaci di interconnettere aspetti ambientali, economici e sociali.

All'interno di questo quadro, le politiche urbane stanno attribuendo un ruolo sempre più centrale al tema del cibo, riconoscendo come la governance agroalimentare possa contribuire in modo significativo alla resilienza urbana. Le città elaborano strategie che non si limitano alla sicurezza alimentare, ma puntano a ridurre l'impronta ecologica del ciclo del cibo, promuovere filiere corte, favorire forme di agricoltura innovativa e generare nuovi spazi di inclusione e partecipazione attiva.

Le Urban Policies, intese come strategie integrate finalizzate a guidare lo sviluppo sostenibile delle città attraverso interventi che combinano pianificazione territoriale, innovazione sociale e gestione efficiente delle risorse, includono sempre più spesso interventi legati al sistema agroalimentare. In questo contesto, le Urban Food Policies si configurano come strumenti chiave per la rigenerazione urbana attraverso piani del cibo, regolamenti per gli spazi produttivi, incentivi all'agricoltura urbana e indoor, programmi educativi e partnership pubblico-private, le città ricostruiscono relazioni virtuose tra produzione, distribuzione e consumo. Questo orientamento integra obiettivi ambientali, come la riduzione delle emissioni, la gestione circolare dei rifiuti organici, la tutela della biodiversità, con finalità sociali, quali il diritto al cibo sano, la coesione delle comunità locali e la creazione di nuove economie urbane.

In un contesto di transizione ecologica, le urban policies non sono quindi semplici strumenti amministrativi, ma vere e proprie piattaforme di innovazione territoriale. La loro efficacia dipende dalla capacità di orchestrare attori diversi, promuovere soluzioni tecnologiche e naturali e costruire quadri regolatori flessibili, in grado di adattarsi ai mutamenti climatici ed energetici. La rigenerazione urbana orientata al sistema agroalimentare diventa così un laboratorio strategico per immaginare città più resilienti, eque e sostenibili.

4.3 Nuovi modelli di responsabilità per la governance delle risorse naturali: trasformazioni agroecologiche dei sistemi alimentari

L'approccio agroecologico applica il principio di direzionalità delle politiche di Scienza, Tecnologia e Innovazione (STI) di terza generazione adottando 13 principi normativi condivisi su livello internazionale. La ricerca di ENEA mira alla concretizzazione di questo principio considerando due ambiti principali: la governance delle risorse terrestri, con particolare attenzione al suolo, e gli ecosistemi di innovazione orientati alle trasformazioni agroecologiche dei sistemi alimentari. L'obiettivo è sviluppare una metodologia interdisciplinare capace di integrare approcci basati su evidenze con approcci orientati agli obiettivi, così da rafforzare i quadri di governance mediante pratiche conoscitive riflessive, inclusive e orientate al bene comune.

L'impostazione metodologica combina prospettive scientifiche e sistemi informativi e si articola in una strategia di lungo periodo che integra un quadro di progettazione per sistemi informativi socio-tecnici con sperimentazioni in contesti territoriali reali (landscape, NUTS 3, NUTS 2). L'implementazione è progressiva, adattiva e orientata all'apprendimento: le componenti critiche vengono sviluppate internamente, mentre altre sono integrate attraverso progetti finanziati e iniziative ENEA (Figura 4.1). Attualmente il lavoro è focalizzato sulla creazione di workflow replicabili per il monitoraggio dell'uso del suolo tramite tecniche di intelligenza artificiale e telerilevamento, che costituiranno la base delle prove successive.

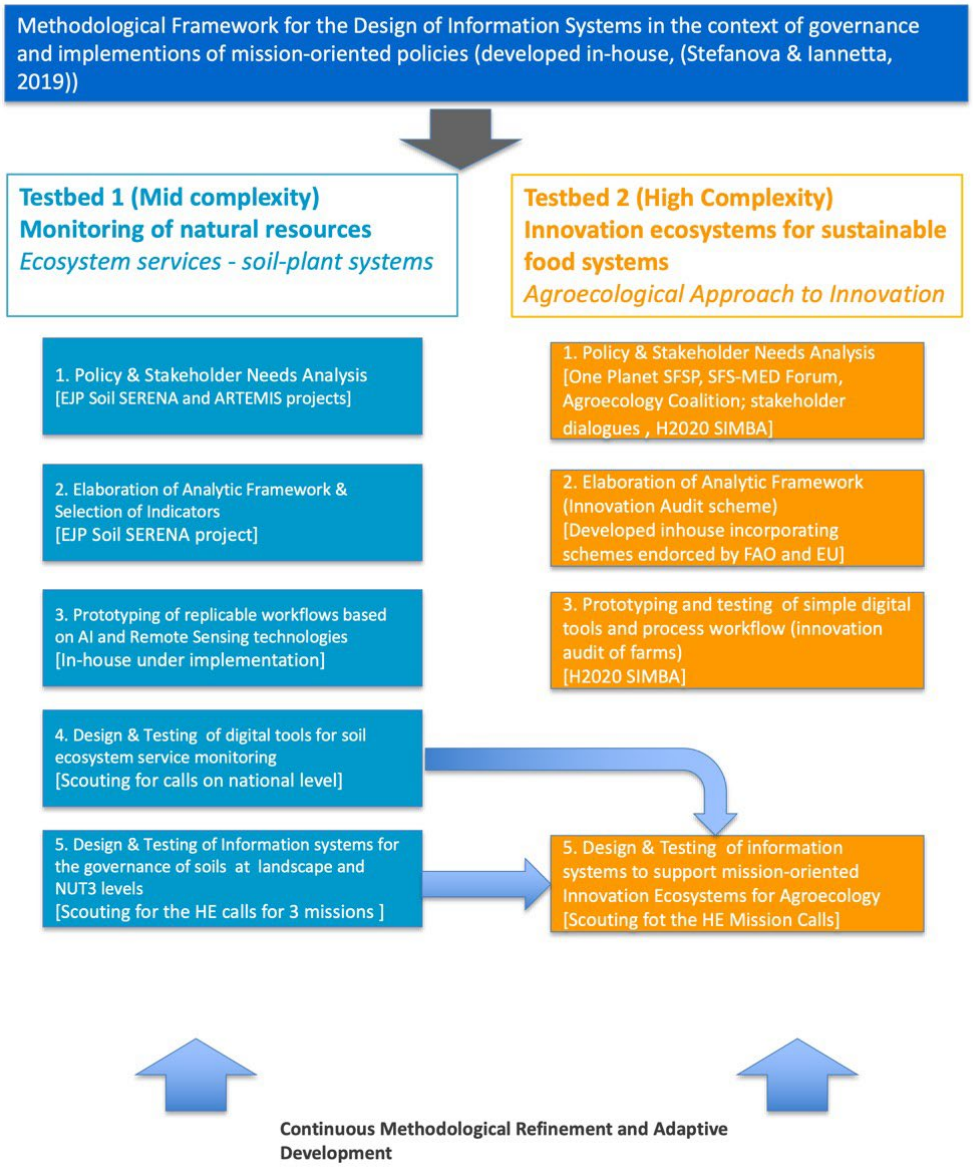


Figura 4.1. Approccio metodologico di ENEA

L'approccio agroecologico rappresenta un elemento chiave anche nei sistemi sostenibili alimentari urbani, per il suo contributo alla resilienza ambientale e sociale e alla connessione tra attori urbani, periurbani e rurali. Questo approccio può essere applicato efficacemente nei Living Labs e in altri contesti di co-creazione, favorendo collaborazioni tra esperti di suolo, piante, biologia, fisica, chimica e discipline affini, in coerenza con gli orientamenti sistemici e intersettoriali dei programmi europei di ricerca e innovazione.

L'interdisciplinarità costituisce il principale punto di forza della ricerca, in quanto consente di colmare gap tra settori, aprire l'accesso a nuove aree emergenti e favorire innovazione attraverso prospettive

complementari. L'impiego di metodi formali e della matematica costruttiva rafforza ulteriormente il quadro metodologico, garantendo integrità dei flussi informativi e adeguatezza delle soluzioni digitali. Questo posiziona la ricerca in linea con i requisiti previsti dal Regolamento europeo sull'Intelligenza Artificiale (EU AI Act) e con le sue implicazioni per le politiche pubbliche e i processi di innovazione.

4.4 Smart indoor agriculture

La smart indoor agriculture impiega sistemi multilivello ("vertical farm"), per la coltivazione in ambienti confinati e controllati, con illuminazione LED calibrata, irrigazione (prevalentemente idroponica), ventilazione, climatizzazione e trattamento dell'aria (Nardi et al., 2022). Un sistema di controllo automatizzato monitora i principali parametri ambientali (luce, temperatura, umidità, CO_2, qualità dell'aria), mentre la soluzione nutritiva è ottimizzata per pH, ossigeno e temperatura. Le pareti a tenuta termica assicurano un microclima stabile (Figura 4.2). L'approccio consente produzioni a Km 0, fresche e di alta qualità, indipendenti dalla stagionalità, con risparmio idrico fino al 95% grazie a sistemi a ciclo chiuso e recupero condensa (Metelli et al., 2023; Garegnani et al., 2024).

Le vertical farm possono essere integrate in contesti urbani, anche in aree dismesse, riducendo trasporti ed emissioni, e favorendo coesione sociale ed economia circolare. L'approccio infatti risponde alle sfide dell'adattamento climatico, supportando una produzione resiliente, e promuove innovazione sociale tramite modelli collaborativi tra enti e comunità. Contribuisce al rimodellamento delle politiche alimentari e alla sostenibilità delle risorse.

Le tecnologie disponibili includono sistemi di coltivazione automatizzata con sensoristica integrata e sistemi di illuminazione LED ad alta efficienza, possibilità di personalizzazione di componenti tramite stampa 3D, e piattaforme per fenotipizzazione multispettrale (fluorimetro UV-vis, camera iperspettrale, kit fotosintesi, colorimetro, termocamera, sistema high-throughput PlantEye by Phenospex).

Le competenze offerte comprendono supporto nella progettazione e gestione di sistemi automatizzati di coltivazione, sviluppo di ricette di coltivazione (nutrienti e luce) personalizzate, fenotipizzazione vegetale e analisi biochimiche per valutazioni nutraceutiche.



Figura 4.2. (A) Sistema di coltivazione containerizzato con pareti termicamente isolate e a tenuta d'aria che garantiscono la stabilità del microclima interno, progettato per ambienti urbani ed estremi, con struttura multilivello, completamente automatizzato, dotato di illuminazione LED calibrata, sistema idroponico, controllo climatico e monitoraggio continuo dei parametri ambientali (Container Farm SSPT-AGROS-AGRI4.0). (B) Fioritura dello zafferano pharma-grade in ambiente idroponico controllato ('camere lunari' SSPT-AGROS-AGRI4.0). (C) Coltivazione indoor con sistema idroponico e illuminazione LED calibrata (Grow box SSPT-AGROS-AGRI4.0).

4.5 Acquaponica e bioconversioni per un uso efficiente delle risorse

La piattaforma acquaponica in ambiente urbano confinato, sviluppata nell'ambito del progetto DEMETRA, si basa sul riutilizzo di scarti e sottoprodotti per il recupero di molecole bioattive e di composti funzionali e per il loro impiego in colture e allevamenti paralleli (microalghe e insetti).

Attraverso la realizzazione di infrastrutture produttive altamente funzionali in spazi inutilizzati, l'obiettivo è di implementare, con il coinvolgimento dei cittadini-consumatori nella micro-produzione acquaponica domestica di ortaggi e pesci, un sistema urbano di orticoltura-itticoltura diffusa. Il sistema alimentare integrato, denominato SAVI (Sistema Alimentare Verde e Intelligente), in grado di produrre cibo sicuro e con elevate proprietà nutritive, propone un ampio riutilizzo degli scarti provenienti dal processo di lavorazione sia dei vegetali che dei prodotti ittici, attraverso l'estrazione di materie prime seconde che vengono utilizzate per fornire input organici al sistema e ottenere molecole bioattive per produrre cibi funzionali con potenziali effetti metabolici benefici.

Uno dei punti di forza dell'approccio SAVI è la sua replicabilità in qualsiasi contesto urbano o in qualsiasi area antropizzata, poiché le soluzioni sviluppate nell'ambiente ipogeo sono esportabili e adattabili ad altri contesti. La competenza che si propone è a supporto della consapevolezza pubblica sull'utilizzo di sistemi circolari e resilienti, come il SAVI, capaci di garantire un approvvigionamento alimentare sicuro, pulito e sano.

4.6 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono

Tematiche Trasversali / Competenza	Clima e qualità ambientale	Innovazione sociale	SdGs a cui risponde
Urban food policies	Migliorare clima e qualità ambientale attraverso infrastrutture verdi, agricoltura urbana sostenibile, riduzione delle emissioni e gestione efficiente delle risorse, aumentando resilienza, benessere e biodiversità urbana.	Promuovere innovazione sociale attraverso reti collaborative, orti e food policy partecipate, inclusione attiva delle comunità e nuovi modelli solidali che rafforzano coesione, equità e resilienza urbana	
Nuovi modelli di responsabilità per la governance delle risorse naturali: trasformazioni agroecologiche dei sistemi alimentari	La ricerca migliora clima e qualità ambientale rafforzando la governance del suolo, fondamentale per resilienza climatica e salute degli ecosistemi, e promuovendo innovazioni agroecologiche che riducono impatti ambientali, emissioni e degrado delle risorse naturali.	L'approccio agroecologico promuove innovazione sociale creando nuove forme di collaborazione tra attori territoriali e favorendo processi di co-creazione nei Living Labs, dove comunità, esperti e istituzioni sperimentano insieme soluzioni condivise per sistemi alimentari più inclusivi e sostenibili.	
Smart indoor agriculture	La coltivazione viene resa indipendente dalla stagionalità e dalle variazioni climatiche, supportando la produzione resiliente alle variazioni ambientali e riducendo gli input chimici in ambiente	Permettono lo sviluppo di soluzioni innovative per le sfide sociali, culturali, economiche e ambientali, con la collaborazione tra diversi settori (pubblico, privato, non-profit, cittadinanza, scuole, ospedali, comunità di anziani) per creare coesione sociale. Contribuisce al rimodellamento delle politiche alimentari.	
Acquaponica e bioconversioni per un uso efficiente delle risorse	Tecniche e sistemi produttivi espressamente ideati, progettati e realizzati per funzionare in un ambiente confinato offrendo soluzioni indipendenti e non condizionate dalle variazioni climatiche	Coinvolgimento dei cittadini-consumatori nella micro-produzione acquaponica domestica di ortaggi e pesci, per consentire un sistema urbano di orticoltura-itticoltura diffusa	

5. PATRIMONIO EDILIZIO E STORICO-ARTISTICO

Coordinatrice: Concetta Tripepi (IMPACT-SPAC)

5.1 Introduzione

Patrimonio edilizio e storico-artistico concorrono a preservare la memoria delle comunità e promuovono lo sviluppo culturale dei territori. La loro protezione e valorizzazione sono aspetti primari ma complessi da affrontare, sia perché gli oggetti di studio sono intrinsecamente fragili e appartenenti a varie tipologie difficilmente uniformabili, sia per le diverse categorie di rischio e i vincoli che su di essi insistono.

Il buon esito del percorso di conservazione dipende dall'efficacia del processo diagnostico e delle strategie di intervento, che richiedono un approccio orientato alla tutela del bene in tutte le sue declinazioni e alla salvaguardia della sicurezza e del benessere di operatori e fruitori (Figura5.1). Occorre monitorare le condizioni strutturali e ambientali degli edifici, preferendo metodologie d'indagine che minimizzino il disturbo nei confronti degli occupanti, e intervenire sulle superfici esposte agli agenti atmosferici e sulle opere di valore storico-artistico con tecniche innovative che riducano l'uso di prodotti inquinanti.

In risposta a queste esigenze, ENEA è impegnata da anni nella ricerca di soluzioni coerenti con gli obiettivi per lo sviluppo sostenibile. Studia tecnologie per il monitoraggio e l'indagine strutturale degli edifici e svolge analisi del rischio di corrosione anche in scenari di cambiamento climatico. Progetta superfici idrofobiche adatte alle esigenze del contesto urbano. Sviluppa protocolli per il contenimento di patine biodeteriogene su opere e monumenti e procedure basate su biotecnologie microbiche e prodotti bio-based per la pulitura di superfici di interesse storico-artistico. Analizza l'interazione tra presenza umana e contesto espositivo in ambienti museali.

Queste azioni si collocano tra le misure utili ad aumentare la resilienza, mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici, migliorare la qualità ambientale e sostenere l'innovazione sociale.

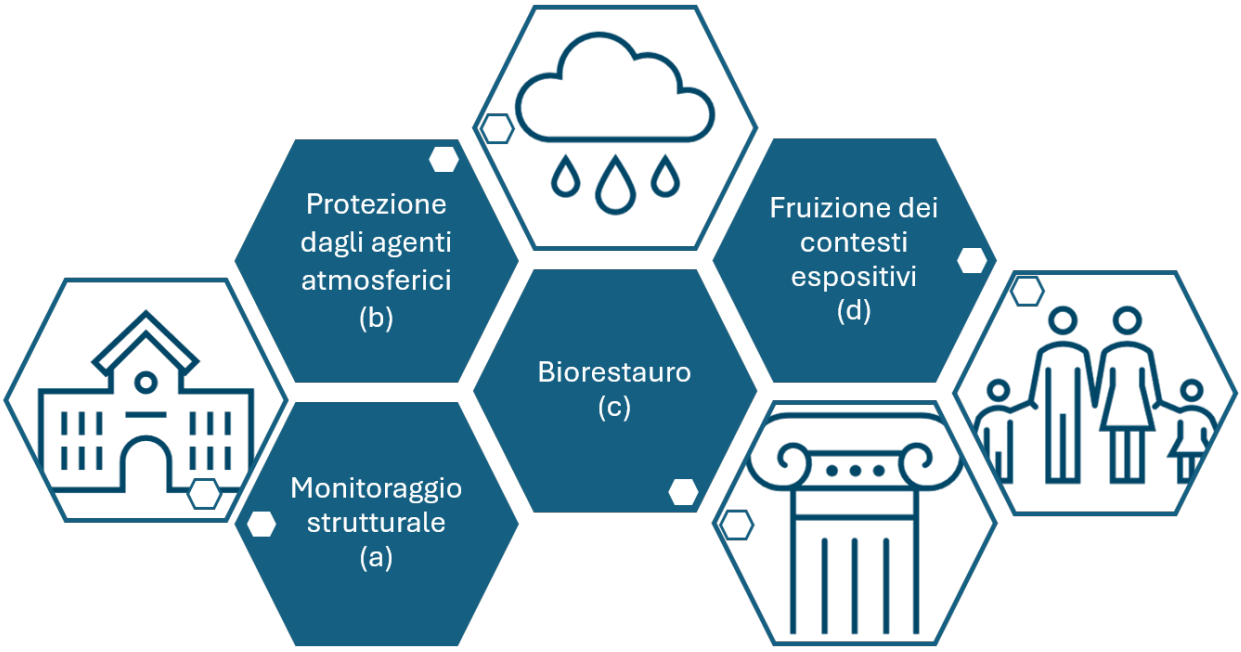


Figura 5.1: Azioni integrate per la conservazione e valorizzazione del patrimonio edilizio e storico-artistico: (a) monitoraggio della salute strutturale degli edifici; (b) protezione delle superfici esposte agli agenti atmosferici; (c) biopulitura di superfici di interesse storico artistico; (d) analisi dell'interazione tra presenza umana e contesto espositivo negli ambienti museali.

5.2 Tecnologie sostenibili per le indagini e la conservazione del patrimonio costruito

Per favorire la conservazione del patrimonio costruito è importante potenziare l'utilizzo di tecnologie di indagine che monitorino lo stato di salute degli edifici minimizzando l'impatto sugli occupanti e sulle funzioni svolte all'interno degli stessi, secondo un approccio sostenibile. L'installazione di sensori e la diagnostica non distruttiva rispondono a queste esigenze e sono efficaci nell'evidenziare stati di danneggiamento in corso di evoluzione.

Si propone un approccio che consiste nella registrazione della risposta dinamica della struttura e nell'esecuzione di prove non distruttive sugli elementi strutturali. La risposta in termini di accelerazione in vari punti dell'edificio, restituita da sensori accelerometrici, consente di risalire alle sue frequenze proprie (Tripepi et al., 2023). Le prove non distruttive soniche e ultrasoniche consistono nel calcolo della velocità di propagazione di onde generate nel materiale e consentono di valutarne l'integrità (Santarsiero et al., 2024, Breysse et al, 2021). Una variazione delle caratteristiche della risposta dinamica e/o una riduzione delle velocità nel tempo possono essere indicative di un danneggiamento evidenziando la necessità, per il proprietario o il gestore del bene, di procedere con approfondimenti di indagine e, se necessario, con interventi di messa in sicurezza e/o di rinforzo strutturale. Un approccio

di questo tipo ha il vantaggio di limitare i disagi nei confronti degli occupanti e/o degli utenti dei servizi ospitati all'interno dell'edificio, non richiede asportazione di materiali strutturali né impattanti interventi di ripristino e non produce volumi rilevanti di rifiuti. Un check-up regolare dell'edificio è quindi praticabile, consentendo di evidenziare tempestivamente comportamenti strutturali anomali.

ENEA dispone di strumentazione e tecnici specializzati nell'esecuzione di questo tipo di prove e di ricercatori aventi le competenze (nel campo della fisica, dell'ingegneria, dell'architettura e della conservazione dei Beni Culturali) necessarie all'elaborazione e interpretazione dei dati.

Affinché il monitoraggio possa proseguire dopo le fasi di avvio e di implementazione iniziale del metodo, ENEA può svolgere attività di trasferimento tecnologico/metodologico.

5.3 Corrosione e conservazione: analisi integrata del rischio per edifici storici in scenari di cambiamento climatico.

Il degrado dei materiali causato dalla corrosione atmosferica è una questione rilevante nell'ambito della conservazione degli edifici storici e richiede di essere studiato con particolare riferimento all'azione esercitata dall'inquinamento e dalle condizioni climatiche sia attuali che future.

L'approccio di indagine proposto, applicato da ENEA in uno studio in cui è stato analizzato il degrado dei materiali su beni culturali situati in Giordania (Sorrentino et al., 2024), è di tipo interdisciplinare. Esso consiste nel valutare, attraverso tecniche di machine learning (Random Forest), l'influenza degli agenti inquinanti e dei fattori ambientali nello sviluppo del degrado dei materiali e nell'utilizzare la tecnologia GIS (Geographic Information System) per la mappatura e l'analisi spaziale di ampi set di informazioni. Integrando quindi i dati sull'inquinamento con modelli predittivi e scenari climatici è possibile individuare le zone più vulnerabili per poter progettare le strategie di conservazione più efficaci.

I punti di forza della metodologia consistono nell' approccio interdisciplinare, che integra modellazione climatica analisi chimico-fisiche e strumenti GIS, nell'applicabilità dei risultati per la pianificazione della conservazione preventiva e nel supporto alla gestione sostenibile del patrimonio culturale.

ENEA può replicare questo tipo di studi in altri contesti territoriali avendo le competenze per svolgere analisi della corrosione e del degrado su edifici storici, modellazione dell'impatto degli inquinanti atmosferici sui materiali, mappatura dei rischi di deterioramento in diversi scenari climatici, sviluppo di strategie di conservazione basate su elaborazioni scientifiche.

5.4 Superfici 3D idrofobiche e antighiaccio per il recupero urbano sostenibile

Le superfici idrofobiche ottenute con stampa 3D impiegano materiali e geometrie avanzate per ottenere proprietà di repellenza all'acqua, autopulizia e resistenza agli agenti atmosferici (Galvagno et

al., 2024). L'approccio permette di implementare soluzioni modulari adatte alle esigenze del contesto urbano, migliorando la gestione dell'acqua piovana e aumentando la durabilità delle superfici pubbliche (es. pavimentazioni di percorsi pedonali aree gioco e piste ciclabili, pannelli autopulenti per facciate, elementi di arredo come panchine e pensiline). Le tecnologie additive rendono scalabile e replicabile la produzione, riducendo sprechi e impatti ambientali.

La metodologia proposta consiste nella progettazione biomimetica di texture ispirate alle superfici naturali (foglia di loto) e nella stampa 3D con utilizzo di materiali compositi e biopolimeri adatti per applicazioni outdoor. Test in camera climatica consentono di validarne le performance idrofobiche e attraverso la caratterizzazione chimico-fisica del prodotto sono valutate struttura, morfologia, rugosità e bagnabilità delle superfici.

L'approccio presenta numerosi punti di forza. Le superfici idrofobiche 3D sono progettate su misura per specifiche condizioni climatiche e architettoniche e sono facilmente sostituibili o integrabili rendendo la soluzione modulare e adattabile. La loro introduzione negli spazi pubblici può costituire un valore aggiunto nel processo di rigenerazione urbana con potenziale per installazioni artistiche e percorsi educativi. Tali superfici riducono l'impiego di trattamenti chimici e di detergenti e possono essere realizzate con materiali riciclabili o biopolimeri favorendo così la sostenibilità ambientale. La circolarità del processo di stampa 3D è determinata dal riutilizzo degli scarti e dalla realizzazione su richiesta che limita gli sprechi. Le superfici possono inoltre essere rigenerate senza smaltimento completo.

ENEA ha le competenze tecnico-scientifiche per la progettazione di questo tipo di superfici, può svolgere consulenza sulla messa a punto di materiali sostenibili e tecniche di stampa 3D da applicare al contesto urbano e può sviluppare linee guida e buone pratiche per l'impiego urbano di tecnologie idrofobiche.

5.5 Protocolli sostenibili per il contenimento di patine biodeteriogene nei Beni Culturali

La formazione di patine biodeteriogene, su opere e monumenti, comporta un'alterazione estetica e un potenziale danno chimico-fisico. Per la loro rimozione, le superfici sono sanificate con biocidi a base di sali di ammonio quaternari. Nel tempo questi trattamenti hanno perso efficacia e ristretto il campo di utilizzo imponendo trattamenti frequenti e con alte concentrazioni di prodotto, esponendo operatori, fruitori, opere e ambiente a livelli di rischio maggiori e accelerando lo sviluppo di resistenze da parte dei soggetti target.

I prodotti fitoderivati da anni sono indagati per essere un'alternativa efficace che, grazie alla complessità delle molecole presenti in estratti naturali non raffinati, allarga lo spettro di azione e limita l'insorgenza di resistenze (Ranaldi et al., 2025, Sprocati et al., 2021, Rugnini et al., 2020). Associati a

un'accurata caratterizzazione della problematica e a trattamenti che sfruttino sistemi fisici e meccanici, questi prodotti consentono di raggiungere ottimi risultati di pulitura delle superfici limitando anche le ricolonizzazioni e il numero di interventi nel tempo.

L'approccio metodologico proposto consiste nella caratterizzazione microbiologica di superfici e aria, mediante tecniche colturali e molecolari, e nello sviluppo di miscele di oli essenziali ed estratti alcolici da prodotti commerciali e sperimentali. Per ogni opera da trattare è predisposto un protocollo applicativo specifico, che tenga conto delle peculiarità delle matrici e dello stato di conservazione. All'applicazione segue il monitoraggio degli effetti a breve medio e lungo termine. Il punto di forza consiste nell'aver individuato prodotti di pulitura efficaci e facilmente inseribili in un sistema di valorizzazione delle biomasse di scarto attraverso processi produttivi economicamente ed energeticamente sostenibili.

ENEA possiede le competenze necessarie a svolgere attività di consulenza per la valutazione di protocolli sostenibili finalizzati alla rimozione di tali patine, può eseguire la caratterizzazione microbiologica della matrice mediante metodi visivi (microscopia) colturali e molecolari e può valutare e monitorare gli effetti post trattamento.

5.6 Biotecnologie sostenibili per la conservazione e il restauro del patrimonio culturale

Nell'ambito del biorestauro, le biotecnologie microbiche e i prodotti bio-based sviluppati da ENEA offrono strategie operative per la conservazione e il restauro sostenibile dei beni culturali e consentono di ridurre e/o sostituire l'uso di prodotti tossici o pericolosi per la salute e per l'ambiente.

Le metodologie proposte consistono nella pulitura di superfici di interesse storico-artistico attraverso procedure basate sull'impiego di microrganismi, dei loro prodotti metabolici e di composti bio-based, per la rimozione di depositi coerenti - organici e inorganici - e per il trattamento del biodeterioramento (Zaratti et al., 2024, Alisi et al, 2022). Queste procedure di biopulitura sono selettive rispetto al deposito da rimuovere e non alterano il materiale costitutivo. Attraverso metodiche di microbiologia classica e test biochimici vengono studiate le potenzialità biotecnologiche dei ceppi microbici allo scopo di elaborare strategie conservative (biopulitura) e preventive a lungo termine. Sono inoltre sviluppati prodotti e processi bio-based come consolidanti e protettivi nella realizzazione di biomateriali (Alisi et al, 2021).

I punti di forza dell'approccio risiedono nell'impiego di microrganismi – con i loro derivati – e di sostanze vegetali per lo sviluppo di nuovi prodotti bio-based di origine rinnovabile da impiegare per la conservazione dei beni culturali come alternativa sostenibile e circolare ai prodotti chimici per il restauro. L'innovazione degli interventi così realizzati consiste nella reversibilità e nella riduzione di effetti permanenti indesiderati.

ENEA ha risorse strumentali e competenze tecnico-scientifiche per la caratterizzazione microbiologica di siti archeologici, per l'isolamento di microorganismi con caratteristiche metaboliche di interesse per le problematiche di biodeterioramento del patrimonio artistico e per la realizzazione di biomateriali per il restauro sostenibile. Inoltre, si occupa dell'applicazione degli interventi di biopulitura e controllo dei biodeteriogeni sulle superfici e sui manufatti artistici.

5.7 Conservazione, gestione e valorizzazione delle collezioni museali

Mentre le strategie di controllo climatico indoor sono una pratica comune per ottimizzare la conservazione delle collezioni d'arte negli spazi museali, di recente si sta affrontando anche la questione di come il microclima e la qualità dell'aria possano condizionare la fruizione da parte dei visitatori e di come, viceversa, i visitatori possano influenzare l'ambiente in cui si trovano.

Per studiare l'interazione tra presenza umana e spazio espositivo è necessario seguire un approccio integrato, registrando da una parte i parametri chimico-fisici ambientali e acquisendo dall'altra informazioni sul benessere e sul coinvolgimento dei visitatori (Aversa et al, 2025, Aversa et al., 2024). Il metodo proposto include l'utilizzo di un sistema di monitoraggio microclimatico e della qualità dell'aria compatto, poco invasivo e di facile installazione. L'insieme è costituito da una rete di sensori wireless commerciali, che rilevano luminosità, flusso d'aria, temperatura, umidità relativa, concentrazione di anidride carbonica. Tali misure strumentali sono integrate e confrontate con le sensazioni dei visitatori, acquisite attraverso l'impiego di QR-code disposti lungo il percorso di visita in punti opportunamente scelti, per realizzare un dialogo indiretto tra Museo e utenti. La lettura dei QR-code permette ai visitatori di accedere facilmente e in tempo reale a uno spazio web predisposto dai curatori con approfondimenti sulle opere dove poter lasciare un riscontro sull'apprezzamento delle stesse, sulla qualità del contesto espositivo e sul comfort ambientale percepito durante la permanenza.

Il punto di forza della metodologia consiste nell'integrazione dei dati oggettivi misurati dagli strumenti con le valutazioni percettive restituite dagli utenti per arrivare a svolgere un'analisi ampia dell'influenza reciproca tra visitatori e ambiente museale circostante. ENEA dispone di tecnici specializzati in progettazione di sistemi di monitoraggio ambientale e della qualità dell'aria e di ricercatori aventi competenze (nel campo della fisica, dell'ingegneria, dell'architettura e della conservazione dei Beni Culturali) necessarie all'elaborazione e interpretazione dei dati acquisiti.

5.8 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono

Tematiche Trasversali / Competenza	Clima e qualità ambientale	Innovazione sociale	SdGs a cui risponde
Tecnologie sostenibili per le indagini e la conservazione del patrimonio costruito	Propone strategie di indagine sostenibili e a basso impatto ambientale		
Corrosione e conservazione: analisi integrata del rischio per edifici storici in scenari di cambiamento climatico	Contribuisce a prevenire interventi di restauro frequenti e l'uso di materiali ad alta intensità energetica.	Contribuisce a rafforzare l'identità locale e a promuovere il turismo sostenibile.	
Superfici 3D Idrofobiche e Antighiaccio per il Recupero Urbano Sostenibile	Utilizza superfici idrofobiche per ridurre l'accumulo di inquinanti, migliorare l'autopulizia urbana senza detergenti e favorire l'infiltrazione e il deflusso controllato delle acque meteoriche.	Offre possibilità di co-progettazione con le comunità locali	
Protocolli sostenibili per il contenimento di patine biodeteriogene nei Beni Culturali	Sostituisce a prodotti e formulati industriali, per il trattamento biocida e la disinfezione di manufatti e monumenti, alternative ecosostenibili e con efficacia prolungata nel tempo.		
Biotecnologie sostenibili per la conservazione e il restauro del patrimonio culturale	Sostituisce prodotti di sintesi pericolosi per la salute e l'ambiente con alternative biotecnologiche, per la pulitura di superfici di interesse storico-artistico, producendo anche meno scarti e inquinamento.	Favorisce buone pratiche per lo sviluppo locale e culturale.	
Conservazione, gestione e valorizzazione delle collezioni museali		Contribuisce a migliorare la conservazione la fruizione e la conoscenza delle collezioni museali con il coinvolgimento attivo dei visitatori.	

6. TERRITORIO E CAPITALE NATURALE

Coordinatrice: Claudia Santarsiere (NATURB)

6.1 Introduzione

Negli ultimi sessant'anni abbiamo assistito ad una rapida crescita delle aree urbane sia in Europa che nel resto del mondo, fenomeno questo noto come urbanizzazione (UN Habitat, 2019). Essa comporta un incremento della copertura artificiale del suolo, con la conversione di aree coltivate e naturali in superfici impermeabili, dovuta non solo all'espansione delle città, ma anche alla densificazione entro aree urbane già esistenti (EEA, 2016). L'impermeabilizzazione del suolo influisce sul flusso di materia ed energia negli ecosistemi urbani, esacerbando gli effetti dei cambiamenti climatici e rendendo il territorio stesso più fragile e più esposto alle conseguenze degli eventi estremi, quali frane e alluvioni.

La crescente vulnerabilità delle aree urbane ai cambiamenti climatici, dovuta alla concentrazione della popolazione, dell'ambiente costruito, del sistema infrastrutturale critico e delle attività umane, richiede pertanto una sempre maggiore attenzione alle questioni territoriali ed ecologiche nell'ambito dei processi di rigenerazione urbana. Ciò ha reso necessaria l'attuazione di politiche, strategie ed azioni "climate-proof", come obiettivo da raggiungere attraverso l'aggiornamento e l'innovazione degli strumenti di governo del territorio, secondo un approccio integrato e multiscala.

Questo scenario si riflette nel quadro politico a livello internazionale, europeo e nazionale che, negli ultimi anni, ha riconosciuto esplicitamente il ruolo chiave svolto dal capitale naturale nell'adattamento climatico, adottando un approccio sinergico tra le politiche e strategie sul clima e quelle sulla biodiversità. Tale approccio si è pienamente realizzato nella Legge UE per il Ripristino della Natura (Regolamento UE 2024/1991 del Parlamento Europeo e del Consiglio), entrata in vigore lo scorso 18 agosto, che fissa per la prima volta in assoluto obiettivi vincolanti per ripristinare gli ecosistemi, gli habitat e le specie dell'UE, anche al fine di raggiungere i target di adattamento climatico nelle aree urbane.

Di seguito vengono riportate le principali competenze offerte dal Dipartimento SSPT per la gestione sostenibile del territorio e del capitale naturale nelle aree urbane, volte sia ad aumentare la resilienza delle stesse, anche tramite l'implementazione di soluzioni basate sulla natura, sia alla predisposizione di sistemi di previsione ed allerta rapida.

6.2 Strumenti e approcci per la pianificazione delle Soluzioni basate sulla Natura (NbS) in ambito urbano

Le Soluzioni basate sulla Natura (Nature-based Solutions, NbS) (UNEA, 2022) rappresentano uno strumento fondamentale nei processi di rigenerazione urbana, poiché forniscono benefici multipli ("servizi ecosistemici") che contribuiscono alla transizione ecologica delle città (Figura 6.1).

Il concetto di NbS racchiude ed ingloba una vasta gamma di approcci ecosistemici, tra cui le infrastrutture verdi, blu e la forestazione urbana, e consta di molteplici soluzioni. Tra queste sono incluse non solo i parchi e le alberature urbane, ma anche soluzioni più specifiche come ad esempio microforeste, giardini della pioggia, orti comunitari, verde pensile sugli edifici e arredi verdi urbani.

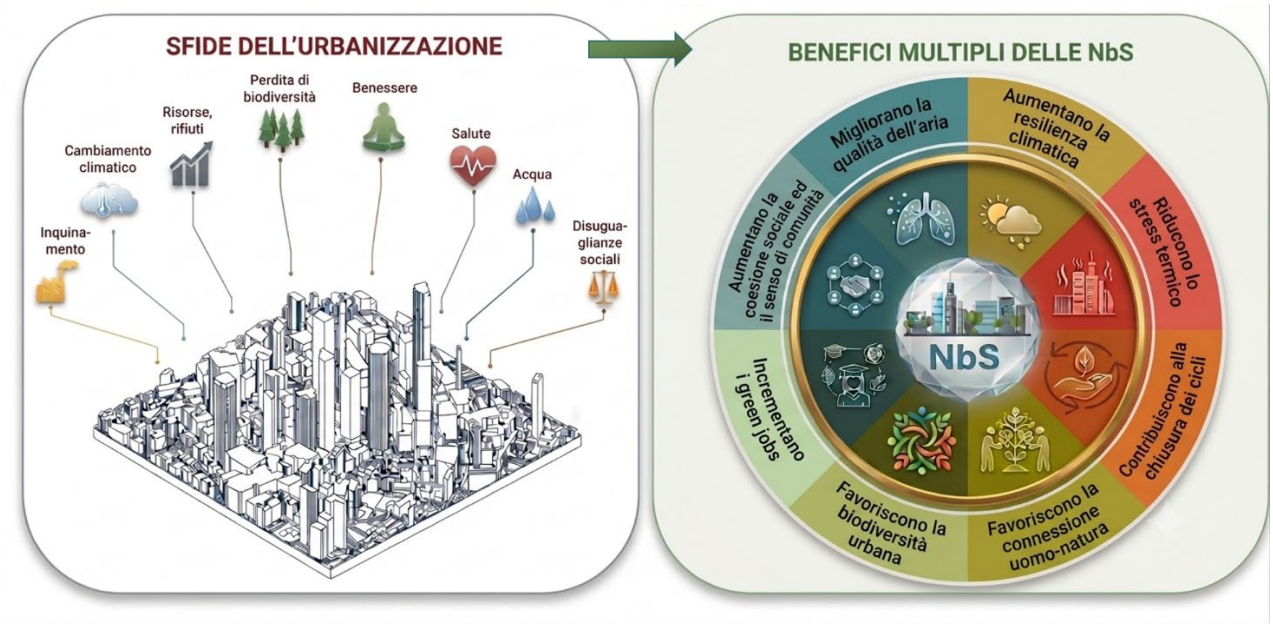


Figura 6.1 – Sfide dell'urbanizzazione e benefici multipli offerti dalle NbS. Le NbS, se correttamente progettate e gestite, contribuiscono a: 1) Adattamento al cambiamento climatico: riducono le isole di calore urbane e gli effetti delle precipitazioni estreme; 2) Miglioramento della qualità dell'aria: rimuovono inquinanti quali ozono troposferico, ossidi di azoto, particolato atmosferico; 3) Transizione delle città verso un modello circolare: contribuiscono alla chiusura dei cicli di acqua e nutrienti e all'utilizzo efficiente delle risorse; 4) Miglioramento della salute e del benessere dei cittadini: riducono lo stress e aumentano la coesione sociale; 5) Ripristino della biodiversità: forniscono habitat per piante e animali e rafforzano la rete ecologica.

L'approccio del Dipartimento SSPT alle NbS si basa su competenze tecnico-scientifiche, tecnologiche, ecologiche e di gestione integrata dell'ambiente urbano, che consentono di pianificare, stimarne i potenziali benefici e fornire indicazioni per una gestione ottimale di differenti tipologie di NbS adattate al contesto urbano sito-specifico, per massimizzare la fornitura di servizi ecosistemici e ridurre i potenziali disservizi (es. gestione del verde complicata e costosa, potenziale allergenico), incluso evitare fenomeni di maladattamento (Nardella et al., 2024). Dai giardini della pioggia ai pavimenti

permeabili, dai setti multifunzionali alle coperture habitat (Latini et al., 2024), ogni territorio deve adattare le NbS al proprio clima, alla biodiversità e alle risorse locali disponibili. Inoltre, l'approccio fornisce competenze orientate a supportare le strategie locali di adattamento climatico, in linea con quanto previsto dalla Legge UE per il Ripristino della Natura (Salvatori et al., 2024).

Gli strumenti ed i servizi messi a disposizione del Dipartimento SSPT sul tema NbS comprendono:

- Monitoraggio di dati microclimatici, di qualità dell'aria ed ambientali, tecnologie geospaziali (GIS e telerilevamento satellitare), software open source (es. R, Google Earth Engine, QGIS) e dataset innovativi, utili per mappare a scala di dettaglio e monitorare gli ecosistemi urbani esistenti, nonché per pianificarne il possibile ampliamento;
- Approcci modellistici (es. WRF-Chem – Figura 6.2, InVEST), che consentono di quantificare in termini biofisici servizi ecosistemici come la mitigazione dell'isola di calore urbana e il miglioramento della qualità dell'aria, a cui possono essere associate analisi economiche a supporto del valore strategico della vegetazione urbana (Anav et al., 2024);
- Metodologie ecologiche e tool per fornire linee guida operative di pianificazione e gestione delle NbS (es. Anthosart Green Tool, https://anthosart.florintesa.it/), tra cui la scelta delle specie vegetali più idonee al contesto sito-specifico e più efficaci nella fornitura dei servizi ecosistemici, o il supporto tecnico alla progettazione di soluzioni integrate che combinano il verde con l'utilizzo di materiali innovativi e sostenibili, nonché con sistemi di raccolta e riutilizzo delle acque piovane, in un'ottica di economia circolare;
- Metodologie di stakeholder engagement e co-creazione (vedere Paragrafi 2.3 e 2.4) per il coinvolgimento delle comunità locali nei processi decisionali relativi alle NbS, che diventano così non solo strumenti di riqualificazione ambientale, ma anche catalizzatori di innovazione sociale;

Tali metodologie consentono di elaborare cataloghi di NbS su misura per ciascuna realtà locale (come già fatto per il Comune di Roma) fondamentali per:

- Identificare le soluzioni più adatte, dal punto di vista tecnico, ecologico e sociale, al contesto specifico del singolo quartiere;
- Fornire informazioni pratiche e replicabili anche in altre aree della città (o in aree urbane limitrofe), con indicazioni su design, cura e manutenzione e benefici attesi;
- Prioritizzare gli interventi in base ai rischi, ai servizi ecosistemici offerti, ai co-benefici sociali e alla sostenibilità ecologica locale;
- Facilitare l'integrazione delle NbS nei piani urbanistici, nelle ordinanze e nel bilancio comunale;

Un'Amministrazione pubblica con un suo specifico Catalogo NbS ha un tool in più per accedere ai finanziamenti regionali, nazionali ed europei e rafforza la capacità del Comune di guidare strategie di resilienza e tutela ambientale.

Infine, il Dipartimento può elaborare percorsi personalizzati di "Capacity Building" per le Amministrazioni locali, volti alla formazione del personale addetto alla pianificazione e gestione adattiva delle NbS urbane (vedere Par. 2.6).

Il punto di forza dell'approccio presentato sta nella sua natura multidisciplinare, che integra competenze diverse per sviluppare soluzioni adattate a scala urbana e di edificio in modo sito-specifico, che risultano però replicabili e adattabili ad altri contesti.

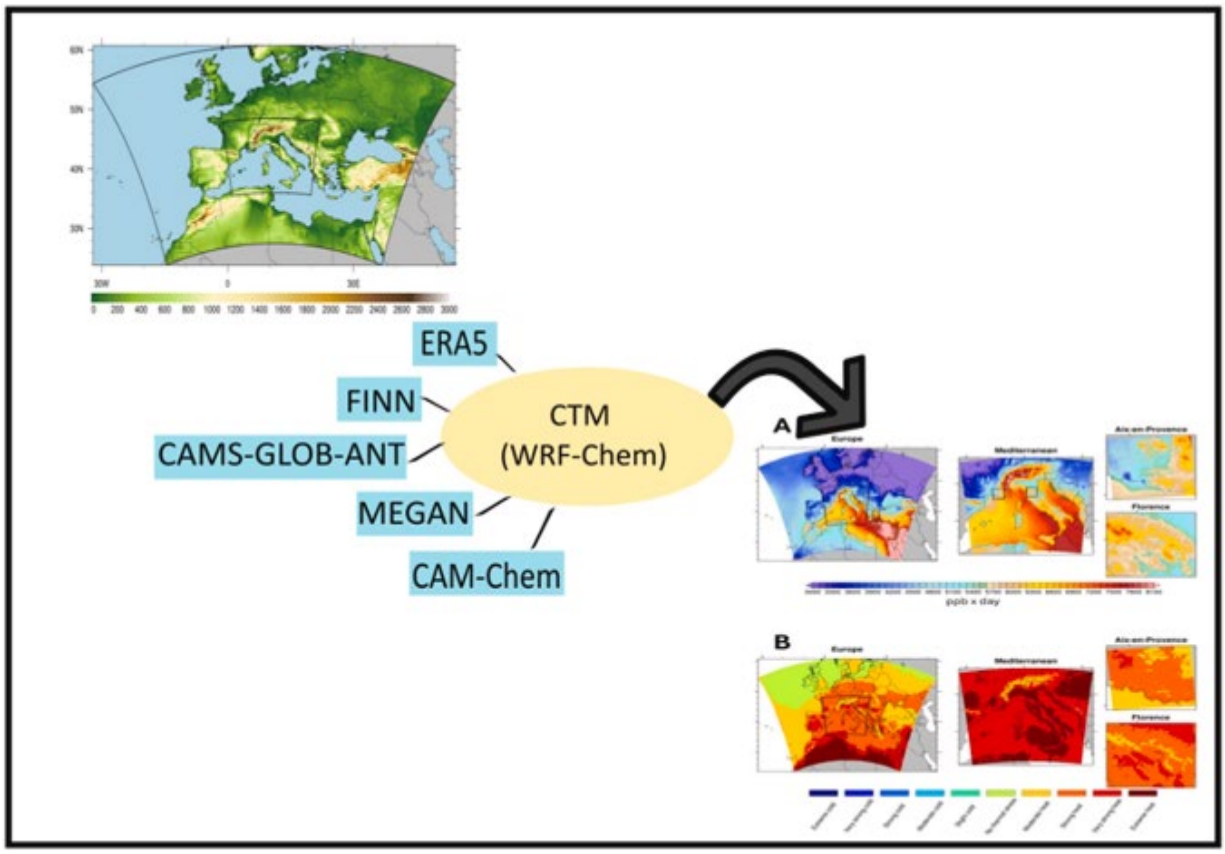


Figura 6.2 Schema del sistema modellistico WRF-Chem per la valutazione dei servizi ecosistemici legati alla qualità dell'aria. Il modello chimico-trasportistico (CTM) WRF-Chem integra diversi dataset di input (ERA5 per le condizioni meteorologiche, CAMS-GLOB-ANT per le emissioni antropiche, FINN per le emissioni da incendi, MEGAN per le emissioni biogeniche, CAM-Chem per le condizioni al contorno) per simulare le concentrazioni atmosferiche di inquinanti. I pannelli A e B mostrano due esempi di output modellistici relativi a variabili ambientali chiave, su diverse scale geografiche (europea, mediterranea e urbana), utili per valutare i benefici delle soluzioni basate sulla natura in ambito urbano.

6.3 GREEN CAL: Modello ENEA per la gestione efficiente del verde pubblico urbano

Il modello GREEN CAL, sviluppato da ENEA, rappresenta una risposta concreta a supporto delle Amministrazioni Pubbliche e degli operatori del settore per la pianificazione di interventi di manutenzione delle aree verdi urbane (Pollino et al., 2024).

L'approccio metodologico si basa su un uso integrato di sistemi GIS per mappare e classificare le aree verdi, abbinate a tecniche di sfalcio diversificate (come applicazione di decespugliatori, tagliaerba e trince per la manutenzione), a cui si aggiunge un'analisi costi-benefici che consente una valutazione economica delle strategie di manutenzione del verde, che tiene conto anche dell'intera catena del valore nel riciclo e riuso dei rifiuti, permettendo non solo una gestione efficiente, ma anche un avanzamento verso modelli di economia circolare (Figura 6.3)

Uno dei principali punti di forza del modello risiede nella sua capacità di ridurre significativamente (fino al 70%) i costi di gestione del verde pubblico, semplificando il lavoro di pianificazione degli enti locali. Tuttavia, per garantire un efficace utilizzo del modello, è necessario prevedere percorsi di formazione specifica per gli operatori, per superare le resistenze legate alle pratiche tradizionali.

Nel contesto della rigenerazione urbana, il modello si configura come uno strumento strategico capace di supportare diversi ambiti d'intervento. Favorisce una pianificazione efficiente della manutenzione del verde pubblico, particolarmente utile nella mitigazione del rischio di incendi in ambito urbano e nel contrasto agli effetti delle ondate di calore. Inoltre, rappresenta un valido strumento per una gestione efficiente delle risorse idriche e per la pianificazione di interventi di riforestazione urbana

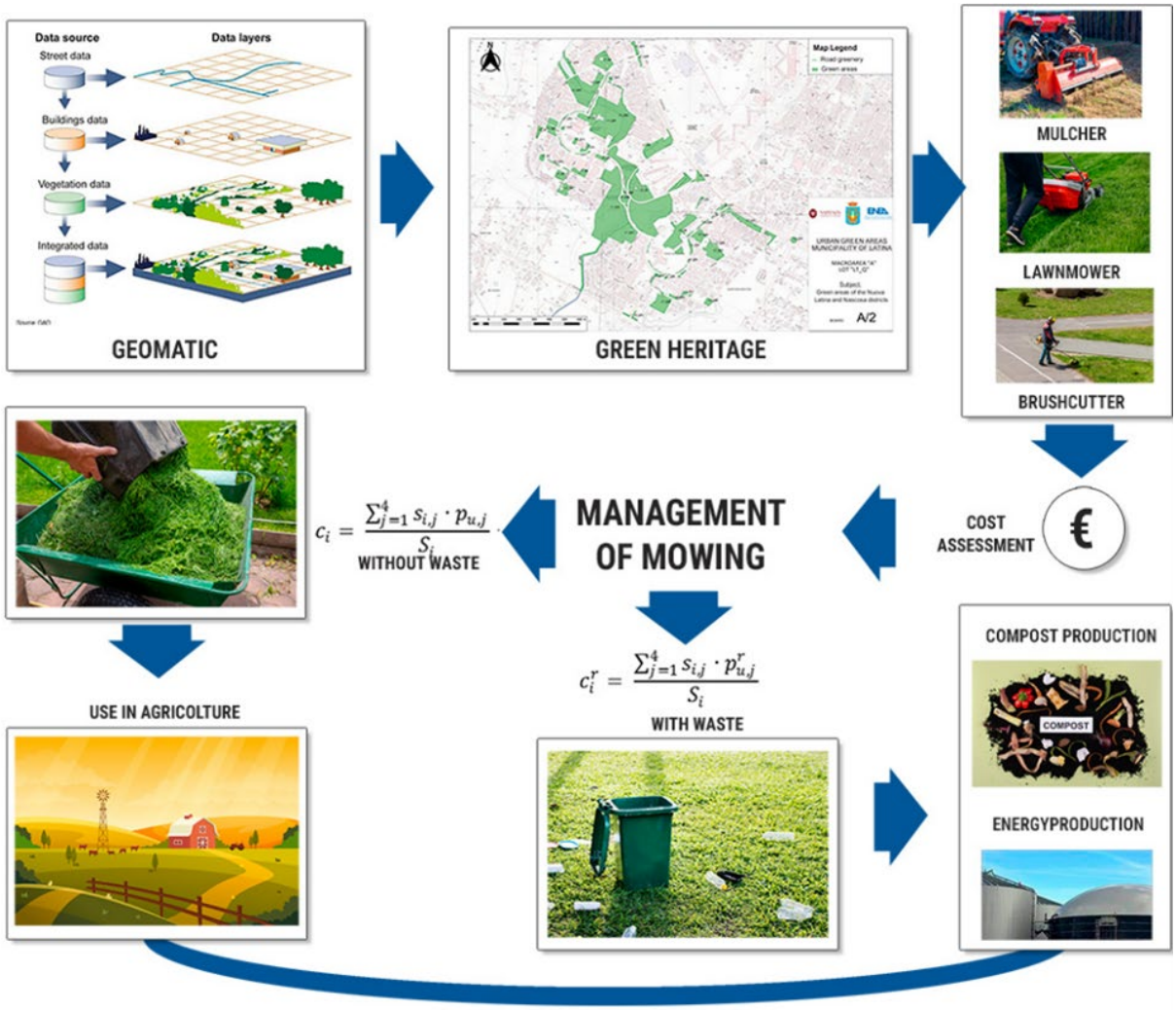


Figura 6.3. Il diagramma illustra il funzionamento del modello GREEN CAL per ottimizzare la gestione delle aree verdi urbane. A partire da dati geospaziali integrati tramite sistemi GIS (geomatic), è possibile mappare il patrimonio verde urbano (Green Heritage) e pianificare gli interventi di sfalcio utilizzando diverse tecniche (mulcher, tosaerba, decespugliatore). Il modello consente di valutare i costi di gestione, supportando amministratori e tecnici nella pianificazione efficiente degli interventi, contribuendo a ridurre i costi fino al 70% contrastando il degrado urbano.

6.4 Urban Carbon Farming

L'Unione Europea ha pubblicato il Regolamento UE 2024/3012 che istituisce un quadro di certificazione europea per gli assorbimenti permanenti di carbonio, lo stoccaggio di carbonio nei prodotti ed il "carbon farming". Con questo regolamento, si riconoscono efficaci e virtuosi l'insieme delle pratiche agricole mirate ad aumentare il sequestro di carbonio all'interno del suolo. Tra queste pratiche, è ormai consolidata l'applicazione ripetuta di compost e digestato di alta qualità, che aumenta la sostanza organica del suolo, migliora la produttività del suolo e la sua capacità di svolgere servizi agroecologici. Oltre ai suoli agricoli, l'uso di compost e ammendanti ha un ampio potenziale d'utilizzo nel contesto

urbano in parchi, giardini, aiuole e altre aree verdi al fine di creare un ciclo virtuoso per produrre benefici concreti:

- miglioramento della fertilità dei suoli urbani, poiché l'ammendante compostato arricchisce il terreno di elementi nutritivi e microrganismi, favorendo lo sviluppo di una vegetazione più robusta.
- aumento della capacità di ritenzione idrica del suolo, in quanto un terreno più ricco di sostanza organica incrementa la sua capacità di assorbire l'acqua piovana e riduce i ristagni superficiali in caso di forti precipitazioni.
- mitigazione delle isole di calore poiché una vegetazione sana e ben sviluppata crea ampie zone d'ombre e attraverso l'evapotraspirazione rilascia umidità nell'aria, riducendo le temperature dell'ambiente circostante.

L'obiettivo dello Urban Carbon Farming è massimizzare la capacità del suolo e della vegetazione urbana di catturare e trattenere anidride carbonica, contribuendo fattivamente alla mitigazione del cambiamento climatico. Il suolo rappresenta un significativo serbatoio di carbonio ed il suo arricchimento con sostanza organica può generare un impatto positivo. L'impiego del compost in aree verdi urbane o utilizzato direttamente dai cittadini in ambito domestico o amatoriale rappresenta una minima parte (inferiore al 5%) dell'attuale mercato degli ammendanti compostati prodotti in Italia. Le opportunità di commercializzazione del compost nella Pubblica Amministrazione sono favorite da diversi strumenti normativi come il Green Public Procurement (GPP) o i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per il servizio di gestione del verde pubblico, ma risultano ancora poco utilizzate.

Il Dipartimento SSPT di ENEA, grazie alla sinergia tra diverse competenze scientifiche, è in grado di supportare sia le amministrazioni comunali per realizzare attività di Urban Carbon Farming che includono la gestione sostenibile della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (dalla raccolta al trattamento) ed il possibile uso in aree verde o in NbS, sia il legislatore per sviluppare metodologie standardizzate, scientificamente robuste ed affidabili, e tecnologie di monitoraggio per la quantificazione dirette degli assorbimenti effettivi di carbonio e delle emissioni indirette evitate.

6.5 Stima della pericolosità da frane superficiali

Le frane superficiali rappresentano una minaccia crescente per il territorio, soprattutto in un contesto di espansione urbanistica e di eventi meteo estremi dovuti ai cambiamenti climatici (Falconi et al., 2023). Per mitigare il rischio associato a questo tipo di dissesto, è fondamentale sviluppare stime e scenari di pericolosità, sia per quanto riguarda l'innesco che per la propagazione del fenomeno, operando su scale che vanno da quella regionale a quella di bacino.

L'approccio metodologico adottato per la stima della pericolosità si basa su analisi in ambiente GIS, supportate da tool specifici (come ShaLPA e ShaLIA) appositamente sviluppati da ENEA e/o open

source (Vegliante et al., 2024; Falconi et al., 2025). Per valutare la suscettibilità all'innesco, si utilizza un approccio statistico (analisi bi-variata), mentre per stimare la propagazione delle frane si ricorre a modelli geometrici. I modelli si avvalgono di dati provenienti da geodatabase open source, da reti di monitoraggio esistenti a livello regionale ed europeo (Copernicus) e da reti di monitoraggio specificamente realizzate.

Uno dei principali punti di forza di questo approccio risiede nella possibilità di integrare i modelli con dati e/o scenari meteoclimatici utili per la predisposizione di sistemi di allerta rapida, fondamentali anche per la difesa delle infrastrutture critiche. Inoltre, i modelli proposti si distinguono per la loro semplicità di gestione, che ne facilita l'applicazione in contesti operativi. Tuttavia, data la complessità dei processi di propagazione è spesso necessario semplificare i modelli, con conseguente riduzione del dettaglio a scala di versante.

Quest'approccio, che integra strumenti GIS, tool dedicati e stazioni di monitoraggio per la misura dell'umidità del suolo — fattore chiave nell'innesco delle frane superficiali — offre un contributo concreto e strategico alla rigenerazione urbana in quanto consente non solo di ridurre il rischio di frane, ma anche di ripensare lo spazio urbano in modo più sicuro e sostenibile.

6.6 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono

Tematiche Trasversali / Competenza	Clima e qualità ambientale	Innovazione sociale	SdGs a cui risponde
Strumenti e approcci per la pianificazione delle Soluzioni basate sulla Natura (NbS) in ambito urbano	Contribuiscono al miglioramento della la qualità dell'aria; Contribuiscono all'adattamento climatico, riducendo l'effetto isola di calore e aumentando la resilienza rispetto alle precipitazioni estreme; Alcune NbS partecipano attivamente alla mitigazione dei cambiamenti climatici: i tetti verdi, ad esempio, migliorano l'efficienza energetica degli edifici contribuendo a ridurre le emissioni, mentre le foreste urbane sequestrano CO_2. Arricchiscono la biodiversità e incrementano il comfort urbano complessivo.	Promuovono il coinvolgimento attivo di cittadini e stakeholder nei processi di progettazione e gestione degli interventi, generando co-benefici in termini di coesione e inclusione sociale. Supportano processi decisionali trasparenti e inclusivi che innescano il cambiamento trasformativo della società; Contribuiscono al benessere collettivo offrendo opportunità ricreative e occupazionali, migliorando complessivamente la qualità della vita.	
GREEN CAL: Modello ENEA per la gestione efficiente del verde pubblico urbano	Contribuisce al miglioramento della qualità ambientale e all'adattamento climatico attraverso una gestione efficiente delle aree verdi Contribuisce alla mitigazione del cambiamento climatico, ottimizzando le operazioni di gestione del verse (ridotte emissioni di CO_2).	Favorisce l'inclusione sociale attraverso una partecipazione attiva dei cittadini nella gestione degli spazi aperti.	
Urban Carbon Farming	Massimizza la capacità del suolo e della vegetazione urbana di sequestrare il carbonio, contribuendo alla mitigazione del cambiamento climatico Contribuisce allo sviluppo della vegetazione urbana, supportando la fornitura di servizi ecosistemici quali mitigazione dell'isola di calore urbana.	Promuove il coinvolgimento attivo di cittadini e stakeholder nei processi di gestione sostenibile della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (dalla raccolta al trattamento) ed il possibile uso del compost in aree verdi urbane	
Stima della pericolosità da frane superficiali	Contribuisce all'adattamento climatico attraverso una pianificazione territoriale strategica orientata alla riduzione del rischio di frane in caso di eventi meteorologici estremi, predisponendo sistemi di allerta rapida, fondamentali per aumentare la resilienza del territorio e delle comunità.	Gli scenari di pericolosità da frane superficiali coinvolgono attivamente le amministrazioni nella definizione di Piani Regolatori e di Assetto Idrogeologico, e promuovono la partecipazione dei cittadini nelle azioni di mitigazione dei rischi naturali connessi ai cambiamenti climatici.	

7. SALUTE E BENESSERE

Coordinatrice: Claudia Dalmastri (BIOTEC-RED)

7.1 Introduzione

L'interconnessione tra la salute umana, animale e ambientale alla base dell'approccio "One Health" richiede una stretta collaborazione interdisciplinare in tutti i campi della ricerca e dell'innovazione tecnologica nel perseguire obiettivi sostenibili. La cooperazione intersettoriale è dunque necessaria al fine di preservare o migliorare la salute delle popolazioni e degli ecosistemi, sia a livello di prevenzione che per affrontare sfide sanitarie complesse e ambientali già in atto. Tra queste, i cambiamenti climatici costituiscono una grave e crescente minaccia per la salute sia per l'impatto diretto sulle persone che per quello sull'ambiente con molteplici conseguenze spesso devastanti che, in vario modo, ricadono sugli individui e le comunità.

Nel contesto della rigenerazione urbana, benché la salvaguardia della salute sia imprescindibile per qualsiasi scelta e azione politica sostenibile, alcune attività sono strutturate proprio per rispondere direttamente ad obiettivi inerenti alla salute umana, mentre altre mirano primariamente a quelli di tipo ambientale. L'esigenza di approcci interdisciplinari prevista, sia in fase progettuale che attuativa, viene declinata nel dipartimento SSPT in diversi campi di studio e ricerca per fornire risposte adeguate in ambito strettamente sanitario sia a livello di prevenzione dell'esposizione e degli effetti indotti che di valutazione epidemiologica, nonché in settori ad esso connessi come quello dell'edilizia dove l'attenzione agli aspetti sanitari è prerequisito essenziale nella messa a punto di materiali innovativi sostenibili.

In sintesi, le otto competenze presentate in questo capitolo sono finalizzate al monitoraggio del benessere e della salute umana attraverso indici epidemiologici di mortalità per causa applicabili a molteplici fattori di rischio e sistemi biologici e/o ingegneristici innovativi per la valutazione della qualità dell'aria e dei rischi da esposizione ai campi elettromagnetici. Altri approcci a salvaguardia della salute sono volti al comfort umano in ambiente indoor attraverso miglioramenti dell'isolamento termico e la realizzazione di superfici antimicrobiche. Inoltre, sono stati sviluppati approcci biotecnologici per il controllo delle zanzare vettori di malattie infettive in ambiente urbano con attenzione alle aree urbane re-inverdite. Infine, vengono presi in considerazione aspetti psicologici e sociali relativi al benessere e di tipo comportamentale in relazione alla vulnerabilità e in risposta alla messa in opera di strategie di adattamento (Figura 7.1).



Figura 7.1. Approccio interdisciplinare e applicazioni a salvaguardia della salute e del benessere umano: sistemi di monitoraggio mediante indicatori di qualità dell'aria (a) ed epidemiologici (b); isolamento termico (c) e rivestimenti antimicrobici per utilizzi indoor (d); (e) controllo di insetti vettori

7.2 Salvaguardia dai campi elettromagnetici

L'approccio, che unisce competenze ingegneristiche e biologiche, comprende la stima dell'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) e la valutazione dell'impatto sulla salute pubblica, identificando per ogni scenario espositivo (diverse sorgenti e/o diverse frequenze) gli organi bersaglio e le patologie correlate, e valutando parametri fisiologici e marcatori molecolari di esposizione.

Si adotta un metodo multidisciplinare per analizzare in modo scientifico l'interazione tra CEM e organismo umano, valutare l'esposizione in diversi scenari, e monitorare parametri fisiologici e marcatori molecolari legati all'esposizione. Si utilizzano strumentazioni avanzate per la misurazione e simulazione dell'esposizione ai CEM, laboratori di biologia cellulare e molecolare, e stabulari per studi

su modelli animali di patologie umane. Si opera su un ampio spettro di frequenze, dai campi statici alle onde millimetriche (Cordelli et al. 2023, Pinto et al. 2024).

I punti di forza dell'approccio consistono nella disponibilità immediata di sistemi espositivi (0 Hz – 27.5 GHz) e di modelli animali e cellulari ben caratterizzati per lo studio delle patologie umane, ed in un gruppo multidisciplinare, con un elevato know-how ed esperienza di oltre vent'anni in attività di ricerca di livello nazionale e internazionale, sugli effetti delle radiazioni non ionizzanti. La criticità è rappresentata dai costi elevati della sperimentazione se necessaria.

L'ENEA dispone di competenze ingegneristiche per progettazione di sistemi espositivi (campi magnetici a 50 Hz, radiofrequenze, microonde e frequenze millimetriche fino al 5G) e soluzioni tecnologiche per misure elettromagnetiche ambientali e di laboratorio, con esperienza in dosimetria numerica e sperimentale. Inoltre, sono presenti competenze biologiche per la valutazione degli effetti fisiopatologici dei campi elettromagnetici tramite analisi biomolecolari, cellulari e istopatologiche in modelli *in vitro*, *in vivo* ed *ex vivo*, per lo studio dell'impatto sulla salute pubblica legato a diversi scenari espositivi.

7.3 Salute dei cittadini nei comuni italiani

La metodologia proposta si basa sulla mortalità per causa come indicatore dello stato di salute delle popolazioni con l'obiettivo di valutare l'impatto sanitario di diversi fattori ambientali sui residenti dei comuni italiani, con particolare riferimento all'inquinamento atmosferico e ai cambiamenti climatici. Mediante alcuni indici epidemiologici si può stimare il grado di salute delle popolazioni rispetto al contesto nazionale, regionale e provinciale nonché effettuare confronti fra comuni. Lo studio degli andamenti temporali della mortalità consente di valutare miglioramenti o peggioramenti della salute anche in risposta alle politiche di risanamento ambientale e, in particolare, di rigenerazione urbana. Le serie storiche dei dati di mortalità associati a temperature, inquinanti atmosferici o eventi idro-meteorologici estremi possono fornire le basi per modelli previsionali e scenari climatici futuri utilizzando la modellistica integrata CLIMAR (Dalmastri e Uccelli, 2024; Michetti et al. 2022).

La banca dati epidemiologica del Dipartimento SSPT contiene i dati di mortalità per causa e delle popolazioni residenti di tutti i comuni italiani per gli anni 1980-2020 (fonte ISTAT) e un software che consente di elaborare rapidamente indici epidemiologici che possono descrivere lo stato di salute dei residenti in termini sia spaziali che temporali anche in riferimento a sesso e classi d'età (Uccelli et al. 2021). Per valutare l'impatto sanitario di fattori connessi con i cambiamenti climatici e l'inquinamento atmosferico, è possibile applicare la modellistica integrata CLIMAR che prevede l'uso di un modello statistico-epidemiologico informato da un modello climatico regionale accoppiato ad un modello di trasporto chimico. L'uso congiunto di questi dati e modelli permette di determinare la mortalità

attribuibile per fattore climatico/inquinante e le curve di rischio su dati passati, e di proiettare rischi ed effetti al futuro, sotto l'ipotesi di diversi scenari climatici e di inquinamento atmosferico.

I dati di mortalità sono gli unici dati sanitari immediatamente disponibili per tutti i comuni italiani e ciò costituisce un punto di forza della metodologia proposta, in quanto è applicabile a qualsiasi contesto urbano e permette di confrontare diversi territori e periodi temporali. Inoltre, l'approccio integrato basato sul modello accoppiato clima-qualità dell'aria è frutto del coinvolgimento e dello sforzo congiunto di diverse Divisioni e Laboratori SSPT, che mettono a sistema competenze e modelli eterogenei permettendo l'analisi di aspetti rilevanti su una scala funzionale alla governance urbana.

7.4 Monitoraggio del benessere dei cittadini e qualità dell'aria

L'approccio si basa sull'utilizzo di un sistema biotecnologico innovativo portatile mediante il quale modelli cellulari, rappresentativi del sistema polmonare umano, possono essere esposti direttamente "in campo" agli inquinanti aerodispersi in ambiente sia outdoor che indoor. L'aria a cui viene esposto il sistema cellulare viene contemporaneamente campionata ed analizzata dal punto di vista della composizione chimico-fisica. Il sistema può essere quindi assimilato ad un polmone portatile che, "respirando" l'aria dell'ambiente in cui si trova, è direttamente esposto agli effetti delle diverse componenti aerodisperse, sia inquinanti ambientali (incluse le micro/nanoplastiche) che agenti biologici come virus, batteri e pollini.

Il monitoraggio prevede l'utilizzo di un sistema espositivo per modelli cellulari *in vitro* (2D/3D) per studi di tossicologia inalatoria; caratterizzazione multi-omica della risposta tossicologica agli inquinanti ambientali; applicazione di modelli computazionali avanzati (digital twins) *in silico*; sensoristica avanzata per il monitoraggio in tempo reale della qualità dell'aria (Gualtieri et al. 2022, Romeo et al. 2023, Santoro et al. 2024).

I punti di forza sono rappresentati dai vantaggi del sistema portatile: idoneità allo svolgimento di campagne in loco e misure di benessere dei cittadini; applicabilità in diversi contesti urbani, sia all'aperto che all'interno; utilizzo di tecnologie avanzate per un monitoraggio tossicologico accurato (real-time). Inoltre, le attività coinvolgono diversi Laboratori e Divisioni SSPT. Le criticità riguardano la necessità di validazione estesa e ripetuta in ambienti differenti, i costi per manutenzione dell'attrezzatura e acquisto dei consumabili, oltre alle possibili sfide nell'integrazione con le infrastrutture esistenti.

Si dispone di competenze in biologia molecolare e tossicologia sperimentale per valutare l'impatto degli inquinanti, l'efficacia di interventi per migliorare la qualità dell'aria e la verifica dopo strategie di intervento di rigenerazione urbana atte al miglioramento della qualità della vita.

7.5 Vulnerabilità, esposizione e barriere ostative l'adattamento al cambiamento climatico

In ottica di gestione e riduzione del rischio climatico, è stato sviluppato un database ed un approccio per analizzare barriere comportamentali, cognitive e sociodemografiche all'adozione di azioni di adattamento (Michetti & D'angelo 2025).

L'approccio quali-quantitativo unisce diversi metodi e tipologie di dati sia storici sia attuali. In particolare, la metodologia può comprendere strumenti statistici ed econometrici, e strumenti etnografici di rilevazione di dati primari e dati disponibili in letteratura. Tali metodi e strumenti consentono di mappare l'esposizione e la vulnerabilità ai rischi, la percezione del rischio, i comportamenti e la capacità adattiva di individui e comunità. Consentono inoltre di analizzare l'accettazione di innovazioni ambientali e di politiche di adattamento, nonché di valutare le preferenze, le conoscenze e gli atteggiamenti degli individui nei confronti del cambiamento climatico e delle possibili strategie di risposta (Michetti et al., 2020).

Punti di forza riguardano una mappatura realistica delle caratteristiche di un territorio e della sua popolazione e l'integrazione di fonti informative eterogenee che consentono di sviluppare un'analisi completa. In particolare, l'analisi di vulnerabilità e barriere all'adattamento può integrare informazioni climatiche e geospaziali per verificare la corrispondenza tra barriere cognitive, percezione del rischio e atteggiamenti della popolazione, da un lato, e la reale esposizione al rischio e vulnerabilità dei soggetti coinvolti, dall'altro.

Le competenze di cui si dispone consentono la definizione e implementazione di strategie di policy e il supporto ai decision-makers per l'identificazione di azioni che incrementino la resilienza delle popolazioni locali favorendo l'adattamento al cambiamento climatico. D'altra parte, possibili criticità riguardano le analisi basate su survey che richiedono importanti investimenti monetari.

7.6 Edilizia: isolamento termico e comfort indoor

Studiare il comportamento termoigrometrico di materiali isolanti di origine naturale e dell'ambiente indoor aiuta la diffusione degli stessi sul mercato ed il miglioramento del comfort abitativo mitigando le patologie respiratorie croniche grazie alle caratteristiche di traspirabilità del materiale.

Il laboratorio SPAC può fornire supporto in termini di ricerca, informazione e formazione sia nella messa a punto di procedure di valutazione delle proprietà termo-fisiche e del comfort abitativo *in situ*, che nello sviluppo di nuovi modelli di business e consumo e nella valutazione della circolarità delle azioni da implementare/implementate con approccio al ciclo di vita. L'insieme di queste informazioni innesca un mercato eco-orientato in cui gli utenti finali possono scegliere con più consapevolezza. Nel laboratorio SPAC si eseguono misure termografiche, flussimetriche, termo-igrometriche, per la valutazione della qualità dell'aria indoor, e per studiare, anche *in situ*, le prestazioni dei laterizi, integrati con materiali

naturali, altri manufatti edili e pareti, nell'ottica di ridurre le emissioni gassose dagli edifici, migliorare l'efficienza energetica e migliorare la salubrità e il benessere indoor. Protocolli di misura e questionari per valutazione e miglioramento della qualità dell'aria indoor sono stati messi a punto con il coinvolgimento attivo di studenti e residenti (Aversa et al. 2021, Aversa et al. 2024, Moletti et al. 2023).

Studi approfonditi sul comportamento termoigrometrico di mattoni in calcecanapulo hanno messo in evidenza che, tra le soluzioni innovative e sostenibili per il miglioramento dell'efficienza energetica e del comfort indoor nell'edilizia dei paesi a clima caldo-temperato, tra i materiali naturali derivanti da sottoprodotti agricoli, la canapa può avere un importante ruolo. Sulla base di queste indicazioni, ENEA, in collaborazione con il Politecnico di Milano, ha realizzato campagne sperimentali di monitoraggio all'interno di edifici residenziali in Sicilia, Puglia e Marche finalizzate al "cambiamento comportamentale" degli inquilini attraverso la comprensione del comfort nella relazione tra ambienti indoor ed outdoor.

Il Laboratorio SPAC dispone di tecnici specializzati (certificati) nell'esecuzione di prove non distruttive e di un team di ricercatori multidisciplinare aventi le competenze necessarie all'elaborazione e interpretazione dei dati misurati.

7.7 Rivestimenti antimicrobici

L'approccio consiste nella realizzazione di rivestimenti di superficie ad azione antimicrobica e non tossici per gli esseri umani, in grado di ridurre la proliferazione di batteri, funghi e virus patogeni. I rivestimenti possono essere applicati su una grande varietà di superfici (metalli, vetri, plastiche), conferendo attività antimicrobica e controllando anche altre proprietà (bagnabilità, estetica, ecc.).

Possibili utilizzi in ambiente urbano sono i seguenti: oggetti a frequente contatto umano in luoghi pubblici e privati (maniglie, mobili, suppellettili, elettrodomestici, touchscreen), componenti in ambienti sanitari (maniglie, oggetti, utensili biomedicali), componenti di mezzi di trasporto, imballaggi di cibi e bevande, sistemi di filtrazione aria/acqua domestici o pubblici. Tali trattamenti di superficie contrastano la diffusione di infezioni e malattie derivanti dalla contaminazione di superfici, evitando l'utilizzo frequente di prodotti chimici aggressivi, contribuendo a ridurre l'uso di antibiotici convenzionali. I materiali sviluppati vengono testati per valutarne sia l'efficacia antimicrobica verso diversi microorganismi patogeni, sia l'eventuale tossicità secondaria verso l'essere umano (Valerini et al. 2020; Valerini et al. 2021; Squitieri et al. 2025).

Nei laboratori SSPT-TIMAS-CMS del centro ENEA di Brindisi sono disponibili diverse tipologie di impianti per la produzione di rivestimenti antimicrobici per superfici su piccola e media scala. Le tecnologie utilizzate possono essere adattate per processi su larga scala.

Uno dei punti di forza è la multidisciplinarietà delle attività, che coinvolgono più Divisioni-Laboratori ENEA (TIMAS-CMS di Brindisi e BIOTEC-RED di Roma) e che sfruttano collaborazioni attive con Università e istituti sanitari nazionali. Inoltre, la versatilità dei processi di produzione dei rivestimenti, ne permette l'applicabilità in molteplici ambiti: ospedaliero, alimentare, tessile, trattamento acqua e aria, oggetti di uso quotidiano a frequente contatto umano. La metodica proposta è sostenibile poiché consente di ottenere elevata efficienza antimicrobica con l'uso di ridotte quantità di materiali antibatterici, non tossici per l'uomo, biocompatibili e a basso impatto ambientale. Si dispone di competenze nel trattamento di superfici mediante sviluppo di rivestimenti, loro caratterizzazione chimico-fisica e test per la valutazione dell'efficacia antimicrobica e della tossicità verso l'uomo.

7.8 Progetto Gaia: verso una "Cittadinanza Globale"

Il progetto Gaia è un programma educativo che forma i cittadini ad essere maggiormente consapevoli di Sé ed etici nei confronti degli altri e dell'ambiente. Si avvale del protocollo Mindfulness Psicosomatica (PMP), sviluppato da un'equipe di docenti, professori universitari, educatori, psicologi e medici dell'associazione di promozione sociale "Villaggio Globale" di Bagni di Lucca (Ghiroldi et al. 2020).

Il Protocollo è validato da numerose ricerche scientifiche internazionali, accreditato dal MIM è stato più volte finanziato dal Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali. Permette un approccio globale multidimensionale alla persona, integrando le conoscenze a livello mentale-cognitivo con la dimensione emotiva relazionale e corporea sensoriale. È rivolto alle persone di tutte le età, anche e soprattutto con disagio sociale ed emotivo, ed apporta benefici psicofisici comprovati e riscontrabili, a fine percorso, con un questionario di gradimento che permette di verificarne l'efficacia nelle sue differenti dimensioni educativa, psicologica e sociale. È strutturato in 12 incontri da un'ora circa, per le scuole o, eventualmente, in 4 incontri di tre ore circa, per gli adulti (Quinto et al. 2025; Scafuto et al. 2024).

La sua struttura didattica è coerente con le indicazioni della "Commissione Internazionale per l'Educazione del Ventunesimo Secolo", contenute nel rapporto UNESCO: 1) Imparare ad Essere: consapevolezza di Sé. 2) Imparare a vivere insieme: principi etici. 3) Imparare a conoscere: la nuova Scienza 4) Imparare a fare: le buone pratiche.

Le competenze acquisite come Operatrici del Progetto Gaia permettono di entrare nei programmi rivolti alla "Cittadinanza consapevole" per i quali l'educazione di qualità rappresenta l'opportunità di sviluppare la Consapevolezza di Sé, già in età scolare, fornendo ai giovani gli strumenti necessari per conoscere e gestire la propria intelligenza emotiva, sviluppare il senso critico e diventare cittadini consapevoli.

7.9 Controllo delle zanzare vettori di malattie infettive in ambiente urbano

In un contesto di riscaldamento climatico, le aree urbane re-inverdite possono offrire habitat favorevoli alla diffusione di insetti vettori come zanzare invasive. Nell'Europa mediterranea, a questa presenza è associato un aumento dell'incidenza di arbovirosi (dengue, chikungunya, Zika, West Nile), con la conseguente necessità di integrare rigenerazione urbana e transizione ecologica con efficaci strategie di controllo vettoriale e sorveglianza sanitaria, oltre che di contrastare la resistenza agli insetticidi nelle popolazioni di zanzare.

Per rispondere a questo scenario, ENEA ha sviluppato una biotecnologia basata sul batterio simbionte *Wolbachia*, innocuo per i vertebrati, in cui maschi portatori inducono sterilità nelle femmine di zanzara tigre (Incompatible Insect Technique, IIT). È stata anche prodotta una linea di zanzara tigre non più in grado di trasmettere i virus di dengue e chikungunya per una strategia di controllo che non prevede la soppressione ma la sostituzione della popolazione dell'insetto con individui non più in grado di trasmettere malattie (Population Replacement Strategy).

Gli approcci basati su *Wolbachia* sono altamente specifici, sicuri per la salute e l'ambiente ed efficaci. La sostenibilità dell'ITT è limitata dalla necessità di programmare interventi su larga scala e nel lungo termine, mentre con la PRS, una volta avviata, la sostituzione della popolazione selvatica procede autonomamente. Ulteriori punti di forza dell'approccio ITT sono rappresentati dalle sperimentazioni dimostratesi efficaci in campo aperto e su larga scala presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia in collaborazione con Google LLC nel 2025.

Inoltre, l'ENEA, che non ha competitor in Italia per l'applicazione di strategie di controllo delle zanzare basate su *Wolbachia* (IIT e PRS), ha le competenze per sviluppare le linee di zanzara descritte, dispone di una piattaforma di micromanipolazione e microiniezione embrionale per il trasferimento del batterio tra specie, e di un laboratorio di biologia molecolare per studiare l'interazione insetto-simbionte in diverse condizioni ambientali.

7.10 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono

Tematiche Trasversali / Competenza	Clima e qualità ambientale	Innovazione sociale	SdGs a cui risponde
Salvaguardia dai campi elettromagnetici	Supporto tecnico alle amministrazioni locali nella pianificazione di nuovi assetti tecnologici volti a ridurre i livelli di esposizione dei cittadini ai campi elettromagnetici (CEM).	Promozione di un approccio basato sull'evidenza scientifica per la tutela della salute pubblica rispetto all'esposizione ai CEM. Traduzione delle evidenze scientifiche in linee guida pratiche e di supporto per l'implementazione di misure normative.	
Salute dei cittadini nei comuni italiani	Supporto scientifico alle politiche decisionali per la mitigazione degli impatti sanitari di temperature e inquinamento		
Monitoraggio del benessere dei cittadini e qualità dell'aria	Ottimizzazione e uso efficiente delle risorse energetiche in sistemi di ventilazione per la gestione sostenibile della qualità dell'aria indoor, con conseguente riduzione delle emissioni.		
Vulnerabilità esposizione e barriere ostative l'adattamento al cambiamento climatico	Supporto agli stakeholder per evidenziare gruppi sociali/aree più esposti/vulnerabili al rischio ed identificare possibili strategie di adattamento climatico.		
Edilizia: isolamento termico e comfort indoor	Miglioramento dell'efficienza energetica e del comfort indoor con conseguente riduzione delle emissioni		
Rivestimenti antimicrobici	Riduzione della diffusione di malattie e infezioni trasmesse attraverso il contatto con superfici contaminate e con aria/acqua in ambienti urbani.		
Progetto Gaia: verso una «Cittadinanza Globale»		Promozione dello sviluppo della consapevolezza intellettuale e morale fornendo gli strumenti scientifici e culturali necessari per esercitare consapevolmente i propri ruoli, diritti e responsabilità al servizio del bene comune.	
Biotecnologie per il controllo delle zanzare vettori di malattie infettive in ambiente urbano	Riduzione dell'uso di pesticidi e limitazione della diffusione di insetti vettori emergenti	Promozione di politiche e governance integrate in modo sinergico, sostenibile ed ecologicamente responsabile	

8. STRUMENTI DI VALUTAZIONE E MONITORAGGIO

Coordinatrici: Serena Falasca (CLIMAR-MSC), Erika Mancuso (EC-SSC)

8.1 Introduzione

Questo capitolo illustra le metodologie e le competenze possedute dal Dipartimento SSPT utilizzabili per valutare e monitorare i possibili impatti generati a livello locale dagli interventi di rigenerazione urbana.

Si tratta di un vero e proprio "toolbox", che comprende modellistica atmosferica e di qualità dell'aria, Life Cycle Assesment (LCA), analisi costi-benefici e multicriterio, nonché l'applicazione di matrici di coerenza con le politiche di sviluppo sostenibile. I modelli atmosferici e di qualità dell'aria sono uno strumento fondamentale per simulare gli effetti di iniziative finalizzate alla rigenerazione urbana in termini, ad esempio, di temperatura e inquinamento atmosferico. Le metodologie LCA e le analisi costi-benefici e multicriterio consentono invece di valutare la sostenibilità (anche economica) di ambiti chiave quali la mobilità, il settore edilizio, la gestione dei rifiuti e la transizione energetica.

L'approccio LCA è anche alla base della metodologia per la valutazione delle emissioni generate dalle politiche territoriali, ambito in cui può soccorrere una competenza basata sul modello CO_2MPARE, uno strumento operativo che consente ai policy-makers di orientare la pianificazione dei programmi finanziari verso una crescita sostenibile.

Infine, può essere analizzata la coerenza dei documenti strategici e di pianificazione urbana con le strategie di sviluppo sostenibile a livello locale.

Tali metodologie possono essere messe a servizio delle Amministrazioni locali al fine di valutare, preventivamente e in modo quantitativo, le possibili ricadute in termini di impatti ambientali e sociali dei progetti di rigenerazione urbana, supportando così la pianificazione sostenibile e le politiche ambientali.

8.2 Simulazioni di scenari mitigativi dell'isola urbana di calore ad alta risoluzione con il Weather Research and Forecasting model (WRF)

L'approccio proposto si basa sul Weather Research and Forecasting model (WRF), sistema di previsione meteorologica numerica alla mesoscala ampliamente utilizzato sia per la ricerca atmosferica che per applicazioni di previsione operativa.

WRF simula i campi di grandezze termiche e dinamiche in aree geografiche limitate con una elevata risoluzione temporale (1 h) e una risoluzione spaziale orizzontale fino a 500 m, che è una copertura spaziale impossibile da raggiungere con le reti di stazioni meteorologiche. Esso consente la progettazione e la simulazione di scenari ipotetici di applicazione di una o più tecniche di mitigazione

dell'isola urbana di calore (es. materiali altamente riflettenti, aumento del verde urbano) fornendo in uscita i dati necessari per la valutazione dell'efficacia della tecnica considerata.

Attualmente è disponibile una versione di WRF che include un dataset dettagliato di uso del suolo urbano, basato sulle Zone Climatiche Locali, grazie al quale è possibile differenziare il tessuto urbano delle città in base al grado di urbanizzazione, alle caratteristiche morfologiche, geometriche e di proprietà dei materiali utilizzati. L'utilizzo di questa configurazione di WRF su scale spaziali e temporali maggiori comporta un notevole incremento degli oneri computazionali e dei tempi di calcolo. Le parametrizzazioni urbane disponibili in WRF sono in grado di riprodurre in maniera generalmente soddisfacente la circolazione e le grandezze meteorologiche locali e possono essere sviluppate ulteriormente per simulare l'implementazione di nuove tecniche di mitigazione attualmente disponibili. Pertanto, la definizione degli scenari può richiedere approssimazioni e compromessi rispetto alle modalità effettive di applicazione delle tecnologie disponibili. In questo contesto, le competenze offerte sono di base la modellistica atmosferica.

L'output di WRF può essere utilizzato in svariati campi applicativi, anche in abbinamento con altri strumenti quali ad esempio modelli di dispersione per lo studio della qualità dell'aria, tool per la simulazione dinamica dei consumi e delle prestazioni energetiche degli edifici (Falasca et al., 2022; Falasca et al., 2024).

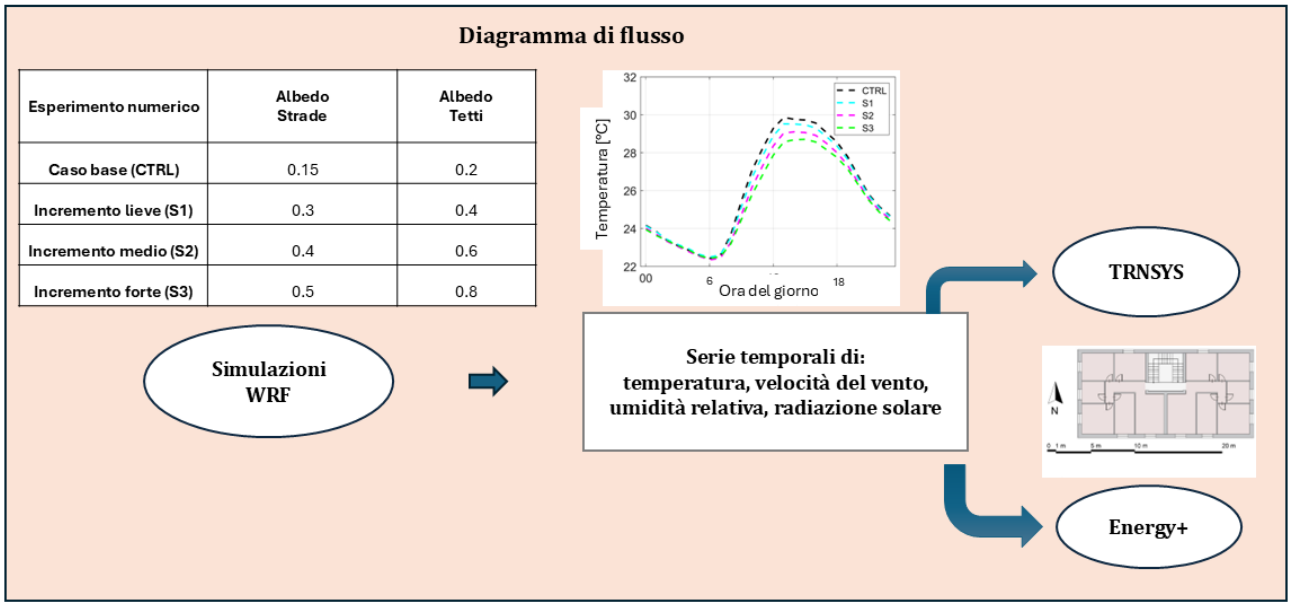


Figura 8.1. Schema dell'accoppiamento tra il modello WRF e i software per la simulazione dinamica degli edifici Energy+ e TRANSYS. Caratteristiche degli scenari mitigativi simulati con WRF e relativi andamenti della temperatura outdoor in uscita.

8.3 Rigenerazione urbana: impatto su meteorologia e qualità dell'aria

L'approccio Life VEG-GAP valuta in modo integrato l'impatto degli interventi di rigenerazione urbana su alcune grandezze meteorologiche e chimiche tenendo in considerazione gli effetti diretti e indiretti della vegetazione. Tale valutazione può considerare i cambiamenti climatici, le misure di riduzione delle emissioni da traffico, da riscaldamento, agricoltura, etc. La stima di tutti gli effetti della rigenerazione sull'atmosfera urbana è fatta in ogni parte della città portando ad una valutazione realistica degli impatti sull'ambiente (D'Isidoro et al., 2023; Mircea et al., 2023) e sulla salute dei cittadini (De Andrés et al., 2025).

L'impianto metodologico di Life VEG-GAP è lo stesso usato per valutare l'impatto dei piani di qualità dell'aria/piani di qualità dell'aria e clima e implica l'applicazione di un sistema modellistico per la qualità dell'aria, in questo caso MINNI, che include il modello meteorologico WRF e il modello di trasporto chimico FARM (FORAIR-IT, MINNI CAMS Regional). Esso ricostruisce le caratteristiche fisiche e chimiche dell'atmosfera a livello dell'intera città con una risoluzione spaziale di 1 km, consentendo così di superare le limitazioni degli approcci che operano a livello di microaree urbane/strade e non sono in grado di riprodurre adeguatamente i processi fisici e, soprattutto, chimici. Da un punto di vista operativo, questo comporta l'esigenza di dati specifici per la città oggetto di studio, quali inventari delle emissioni antropiche e della vegetazione, nonché rilevanti risorse di calcolo e spazio di archiviazione dati. Tuttavia, non c'è un altro approccio in grado di valutare l'impatto delle emissioni di composti organici volatili biogenici (COVB) sugli inquinanti che si formano in atmosfera come ozono (O_3) e una grande parte (fino a 70%) del particolato atmosferico ($PM_{2.5}$, PM_{10}).

Le tecnologie messe a disposizione da Life VEG-GAP sono due piattaforme informatiche accessibili tramite la pagina web https://veggaplatform.enea.it/, nello specifico: BASIC, che ha carattere informativo ed è rivolta ad un pubblico generico, e ADVANCED, che ha carattere informativo e analitico ed è rivolta a pianificatori, scienziati, amministratori, etc. È possibile l'estensione di tali piattaforme informatiche con ulteriori risorse a qualsiasi città. VEG-GAP è incluso nella rassegna "Piattaforma delle conoscenze: buone pratiche per l'ambiente e il clima"[9] del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica.

[9] https://pdc.mite.gov.it/it/area/temi/ambiente-urbano/life-veg-gap



Figura 8.2. Interconnessioni tra vegetazione e salute nelle città e tra esse, la qualità dell'aria, i cambiamenti climatici e l'insieme società & economia & politica.

8.4 Valutazione della sostenibilità ambientale delle risorse urbane

La valutazione degli impatti ambientali di filiere urbane tramite il Life Cycle Assesment (LCA) consente di: (i) identificare e ridurre gli impatti ambientali delle città, (ii) migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse (energia, acqua, materiali), (iii) supportare la pianificazione sostenibile e le politiche ambientali e (iv) promuovere l'economia circolare e la riduzione dei rifiuti.

La metodologia LCA può essere applicata in diversi contesti a processi, prodotti e servizi per valutarne la sostenibilità ambientale e analizzare le ricadute in termini di impatto ambientale, secondo un approccio standardizzato (norme ISO 14040-44 del 2006) e riconosciuto a livello internazionale. La disponibilità di dati sito-specifici, tuttavia, può aumentare o limitarne l'affidabilità.

Le competenze presenti, attraverso lo studio del ciclo di vita di un prodotto o di un processo, permettono di individuare le fasi e i momenti in cui si concentrano maggiormente le criticità ambientali, i soggetti che dovranno farsene carico (produttore, utilizzatore, ecosistema, etc.) e le informazioni necessarie per realizzare gli interventi di miglioramento.

Quando applicato a livello urbano, l'LCA consente, infatti, di valutare la sostenibilità di diversi ambiti, tra cui: (i) la mobilità: l'LCA aiuta a scegliere le soluzioni di trasporto più sostenibili in termini di

emissioni di CO_2, consumo di risorse e inquinamento atmosferico; (ii) il settore edilizio: l'LCA supporta la progettazione di edifici più sostenibili; (iii) la gestione dei rifiuti: l'LCA permette di ottimizzare il sistema di gestione rifiuti per ridurre emissioni e consumo di materie prime e (iv) la transizione energetica: l'LCA aiuta le città a sviluppare strategie per la transizione energetica e la riduzione degli sprechi.

8.5 Analisi costi-benefici e multicriterio applicata alla rigenerazione urbana

Gli approcci di seguito presentati si caratterizzano per essere complementari rispetto a quelli presentati nel paragrafo precedente.

Analisi costi-benefici e multicriterio tipo dovrebbero essere parte integrante di tutti i processi decisionali che implicano impiego di risorse pubbliche per garantire trasparenza, considerazione di tutti gli elementi rilevanti dello sviluppo sostenibile (non solo spese di investimento ed eventuali ricavi ma anche impatti ed esternalità sociali ed ambientali), partecipazione delle varie componenti sociali. Può comportare maggiore lunghezza dei tempi decisionali per arrivare a scelte condivise, ma ha l'obiettivo di evitare o ridurre i potenziali conflitti riguardo alle scelte di investimenti pubblici (e privati).

L'analisi costi-benefici (questi ultimi intesi come potenziali ricavi, minori costi, co-benefici non di mercato) dei progetti di rigenerazione urbana è indispensabile per determinarne, oltre alla fattibilità tecnica, la fattibilità economica, che spesso è il limite principale alla loro implementazione.

L'analisi multicriterio permette il coinvolgimento di decisori politici e stakeholders attraverso un linguaggio comprensibile e non eccessivamente tecnico, anche al fine di comparare diverse alternative di intervento. Una possibile criticità è la mancanza di pregresse esperienze in ENEA e la multidisciplinarietà dell'approccio che richiederebbe la creazione di un gruppo di lavoro dedicato; anche per questo motivo l'attività va ritenuta, se di interesse, di supporto e integrazione ad altri progetti.

8.6 Valutazione dell'impronta emissiva delle politiche territoriali

La valutazione dell'impronta emissiva delle politiche territoriali può essere supportata dal modello CO_2MPARE, che rappresenta uno strumento operativo per i policy-makers. Il modello permette di orientare una pianificazione dei programmi finanziari verso una crescita sostenibile che assicura un basso impatto in termini di emissioni climalteranti in tutti i settori interessati da interventi.

Il funzionamento di CO_2MPARE si fonda sulla stima dell'impatto emissivo di GHG in base all'allocazione finanziaria del budget disponibile. Le allocazioni finanziarie sono, in esso, tradotte in specifici progetti-tipo a cui sono associate azioni misurabili in quantità fisiche o immateriali realizzate/consumate e che permettono la quantificazione delle emissioni di CO_2eq secondo un approccio LCA.

L'approccio Life Cycle Assessment (LCA) utilizzato dal modello permette di valutare l'impatto emissivo delle scelte di policy del territorio, fornendo anche indicazioni sul realizzato (Del Ciello e Camporeale, 2018). Il confronto tra diverse scelte permette di migliorare la qualità ambientale ed emissiva dell'investimento.

CO_2MPARE è uno strumento standardizzato, replicabile e flessibile che consente una misurazione rigorosa e comparabile dell'impatto carbonico dei Programmi Operativi, supportando in modo integrato programmazione, monitoraggio e valutazione dei fondi UE e rafforzando la cooperazione tra Autorità di Gestione, Autorità Ambientali e Nuclei di Valutazione.

Si tratta di una competenza che permette l'analisi ed il confronto dell'impatto sulle emissioni di scelte politiche differenti, a parità di territorio considerato.

8.7 Coerenza delle Politiche territoriali per lo sviluppo sostenibile

Questo aspetto concerne l'analisi di coerenza dei documenti strategici e di pianificazione economica con le analoghe (dal punto di vista territoriale), se esistenti, strategie di sviluppo sostenibile, in linea con il Piano d'Azione Nazionale per la coerenza delle politiche per lo Sviluppo Sostenibile (PAN PCSD).

La metodologia si sviluppa attraverso le seguenti fasi: definizione del livello di dettaglio dell'analisi rispetto gli Obiettivi Strategici di Sviluppo Sostenibile; valutazione della coerenza tematica con uno o più Obiettivi Strategici (ed eventualmente con gli indicatori sottostanti); valutazione della direzione dell'impatto (positivo, negativo, incerto); impatto finanziario delle misure per OSN. L'analisi viene sviluppata attraverso l'uso di matrici di coerenza in ambiente Microsoft Excel, da condividere e validare con i decisori politici e le parti sociali.

Il metodo implementato è utilizzato al momento in SSPT per alcune politiche su scala nazionale. Nel presente contesto, si potrà trasferire la metodologia e si farà da supporto agli enti locali (regioni e città metropolitane che hanno adottato le proprie strategie di sviluppo sostenibile).

8.8 Tematiche trasversali e SdGs a cui le competenze rispondono

Tematiche Trasversali / Competenza	Clima e qualità ambientale	Innovazione sociale	SdGs a cui risponde
Simulazioni di scenari mitigativi dell'isola urbana di calore ad alta risoluzione con il Weather Research and Forecasting model (WRF)	Questa competenza consente di esplorare i potenziali di alcune tecniche di mitigazione del surriscaldamento urbano dovuto all'isola urbana di calore e alle ondate di calore la cui frequenza e intensità sta aumentando a causa del cambiamento climatico. Inoltre, consente di studiare l'impatto delle misure di adattamento sugli usi finali e sulla qualità ambientale degli edifici a cura di colleghi ENEA esperti in materia		
Rigenerazione urbana: impatto su meteorologia e qualità dell'aria	Questa competenza consente di esplorare contemporaneamente i potenziali di NbS e altre tecniche di mitigazione sull'aumento delle temperature e sull'inquinamento in città		
Valutazione della sostenibilità ambientale delle risorse urbane	La valutazione degli impatti ambientali, tramite un approccio di Life Cycle Assessment (LCA), consente di quantificare i carichi ambientali ed identificare proposte per migliorare la qualità ambientale. Le proposte di miglioramento individuate dalla valutazione degli impatti ambientali (tramite LCA) favoriscono la riduzione delle emissioni di gas climalteranti		
Analisi costi-benefici e multi-criterio per la rigenerazione urbana			
Valutazione dell'impronta emissiva delle politiche territoriali	L'utilizzo del modello CO_2MPARE per l'analisi dell'impronta emissiva delle politiche territoriali favorisce la riduzione delle emissioni di gas climalteranti degli investimenti, a parità di territorio considerato		
Coerenza delle Politiche per lo Sviluppo Sostenibile			

9. ESEMPI DI PROGETTI PILOTA INTEGRATI

<table>
<tr><td>ReHouse ‘Renovation packages for Holistic improvement of EU's building efficiency’</td><td rowspan="2">REHOUSE ACCELERATING THE EUROPEAN RENOVATION RATE</td></tr>
<tr><td>Fonte di finanziamento: HORIZON Innovation: European Climate, Infrastructure and Environment - HORIZON-CL5-2021-D4-02</td></tr>
<tr><td>Città/aree urbane coinvolte nel progetto: Grecia (Xanthi), Francia (Saint-Dié-des-Vosges), Ungheria (Budapest) e Italia (Margherita di Savoia, in Puglia)</td><td>Periodo:
1 ottobre 2022 - 30 settembre 2026</td></tr>
<tr><td colspan="2">Il progetto europeo REHOUSE prevede lo sviluppo e la sperimentazione di 8 soluzioni innovative e olistiche per processi di ristrutturazione efficienti, economici e sostenibili. Queste innovazioni sono state implementate e saranno adeguatamente monitorate in ambienti reali al fine di realizzare esempi di progetti di ristrutturazione edile sostenibile ed efficiente secondo un approccio integrato. Questo prevede il coinvolgimento delle principali parti interessate (ad es. inquilini) già dalla fase di progettazione fino alla fine del ciclo di vita dell'edificio e alle fasi di smaltimento (compreso il riciclaggio di componenti dei pacchetti di ristrutturazione). La scelta del sito italiano è strategica perché Margherita di Savoia si trova in un'area marginale della provincia di BAT, caratterizzata da condizioni climatiche e ambientali estremamente sfidanti, ma con scarsa sperimentazione pregressa nel settore edile sostenibile. Nel progetto è stata selezionata una palazzina di case popolari gestita da ARCA Capitanata (Agenzia Regionale per la Casa e l'Abitare) che garantisce anche una potenziale replicabilità dell'intervento su scala significativa. La palazzina si trova in zona sismica, il che ha richiesto un approccio olistico di riqualificazione non solo energetica, ma anche strutturale. Come materiale di coibentazione è stata utilizzata la canapa (materia prima seconda naturale), prodotta e trasformata da un’impresa partner del progetto a pochi km dalla palazzina, il che crea un circolo virtuoso a km 0.

ENEA, ha risposto alla call europea in sinergia tra SSPT e DUEE. Tramite SSPT-IMPACT – SPAC, contribuisce per la parte di monitoraggio indoor e per la diagnosi strumentale non invasiva per il controllo del calcestruzzo e delle pareti in situ in collaborazione con TIMAS-MADD. La divisione EC-SSC per la parte relativa all’implementazione del BIM con LCA e le problematiche dell’uso efficiente delle risorse nel settore edile. ICESP per quanto riguarda la parte di social innovation.

Le attività di SSPT includono: messa a punto di metodologie integrate di diagnosi strutturale, energetica e sociale per velocizzare la fase di conoscenza dell’edificio ai fini della riqualificazione, minimizzando i tempi di approccio ed i costi di realizzazione; monitoraggio del comportamento termoigrometrico di materiali naturali in opera necessari per la coibentazione degli edifici; favorire la revisione dell’attuale modello</td></tr>
</table>

produttivo nel settore delle costruzioni per migliorare la gestione dell'intera catena del valore e del relativo flusso di rifiuti cercando di adeguare la fase di design prevedendo l'utilizzo di materiali di scarto, materie prime seconde, provenienti anche da altri settori produttivi possibilmente vicini territorialmente. I risultati del progetto, testati in città pilota, sono trasferibili e replicabili in altri contesti urbani europei, contribuendo alla transizione verso città più resilienti, salubri e sostenibili.

Sito web: //https: rehouse-project.eu/

Unità SSPT coinvolte: IMPACT-SPAC, EC-SSC, ICESP. La Responsabilità del progetto è di DUEE-SAIP-PRE

NiCE: From Niche to Centre-City Centres as Places of Circular Lifestyles	
Fonte di finanziamento: INTERREG CENTRAL EUROPE-Co-Funded by European Union	
Città/aree urbane coinvolte nel progetto: Bologna (Italia), Budapest (Ungheria), Praga (Repubblica Ceca), Graz (Austria), Ptuj (Slovenia), Brzeg Dolny (Polonia), Kosice (Slovacchia)	**Periodo:** *1 maggio 2023 - 30 aprile 2026*

Il Progetto Europeo NiCE "From Niche to Centre - City Centres as Places of Circular Lifestyles" si focalizza su due principali sfide: trasformare i luoghi centrali delle città per consentire agli abitanti di implementare uno stile di vita più sostenibile e allo stesso tempo "rianimare" i centri delle città in modo da renderli in grado di promuovere essi stessi pratiche di economia circolare.

Il progetto prevede la creazione di una rete di stakeholder locali, regionali, nazionali e transnazionali, che implementino su scala pilota soluzioni e modelli di business e di consumo circolari nelle città. Attraverso processi partecipativi e percorsi educativi, di ispirazione e di scambio a livello transnazionale, nazionale e regionale, i risultati dei casi pilota implementati in alcune città selezionate del Centro Europa (tra cui Bologna) saranno poi trasferiti e condivisi con comuni, regioni, fornitori di modelli di consumo e di business innovativi, associazioni di cittadini e decisori politici per creare centri urbani circolari in tutto il Centro Europa.

Il Dipartimento SSPT è referente del pilot italiano che riguarda il tema della gestione circolare della risorsa idrica e si occupa: della mappatura delle buone pratiche relative al risparmio e riutilizzo idrico a livello locale; dell'organizzazione di ULL dove può avvenire la fase di co-progettazione/approccio partecipativo (con il coinvolgimento di esperti e cittadini) dei piloti che saranno successivamente realizzati; contribuisce alla realizzazione di piccoli sistemi di raccolta acqua piovana utili in contesti di comunità urbani e periurbani; organizza School Living Lab su sostenibilità e circolarità della risorsa idrica dove si fa riferimenti al progetto, con il coinvolgimento di cittadini e studenti.

Sito web: Revitalising fading city centres

Unità SSPT coinvolte: EC-AR; EC-SSC; NATURB

RETURN: Multi-Risk science for resilient commUnities under a changing climate	
Fonte di finanziamento: Partenariati estesi PNRR-MUR , Missione 4 "Istruzione e Ricerca" – Componente 2 "Dalla ricerca all'Impresa" – Investimento 1.3, finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU, tematica n.3 "Rischi ambientali, naturali e antropici"	
Città/aree urbane coinvolte nel progetto: Intera Italia, Napoli, Messina e provincia	**Periodo:** *1 Dicembre 2022 - 30 Novembre 2025*

Il progetto è dedicato alla ricerca sui rischi ambientali, naturali e antropici a livello nazionale e mira a rafforzare la partecipazione dell'Italia alle catene del valore strategiche europee e globali. Sul piano strategico, RETURN si pone l'obiettivo di creare una rete interdisciplinare capace di rafforzare le filiere della ricerca a livello nazionale, promuovendone al contempo la partecipazione a programmi europei e a tavoli istituzionali di rilievo internazionale. Il progetto mira inoltre a supportare i processi decisionali a diversi livelli di governance attraverso solide basi scientifiche e conoscenze evidence-based. Attraverso il potenziamento delle conoscenze di base e l'orientamento verso l'applicazione e la valorizzazione tecnologica dei risultati della ricerca, RETURN contribuisce a rafforzare le competenze chiave del sistema Paese, favorendo il trasferimento tecnologico e di conoscenze e migliorando la governance italiana nella gestione del rischio di catastrofi. In tale prospettiva, il progetto coinvolge amministrazioni pubbliche, stakeholder e imprese private. La struttura progettuale è organizzata attorno a un HUB nazionale e a otto aree tematiche, denominate *Spokes*, con la partecipazione di 26 partner — tra Università, Enti pubblici di ricerca, strutture governative e altri organismi — riuniti in una Fondazione. Il coordinamento è affidato all'Università Federico II di Napoli.

ENEA partecipa allo SPOKE 2 – VS2 "Ground Instabilities", allo SPOKE 3 – VS3 "Earthquakes & Volcanoes", allo SPOKE 4 – VS4 "Environmental Degradation", allo SPOKE 6 – TS2 "Multi-Risk Resilience of Critical Infrastructures" e allo SPOKE 8 – DS "Climate Services for Risk Mitigation and Adaptation". Il contributo di ENEA al progetto RETURN si caratterizza per un approccio interdisciplinare che integra competenze climatiche, tecnologiche e socioeconomiche per la gestione dei rischi ambientali, naturali e antropici nel contesto del cambiamento climatico.

Le attività comprendono la valutazione della vulnerabilità, dell'esposizione e della capacità adattiva di individui e comunità nei processi di adattamento, lo sviluppo di scenari climatici ad alta risoluzione spaziale

per l'Italia (1980–2100), a supporto della valutazione degli impatti climatici, e di scenari di pericolosità e rischio da frana con l'obiettivo di migliorare l'efficacia dei sistemi di allerta precoce. Infine, specifici contributi hanno riguardato la resilienza del patrimonio costruito e la rigenerazione urbana sostenibile per la riduzione della vulnerabilità e il monitoraggio delle infrastrutture esistenti. **Sito web:** RETURN
Unità SSPT coinvolte: CLIMAR, CLIMAR-MSC, IMPACT, IMPACT-TERPVS, IMPACT-SPAC

AIRFRESH "Air pollution removal by urban forests for a better human well-being"	
Fonte di finanziamento: LIFE 2019 under the sub-programme Environment and Resource Efficiency project application.	
Città/aree urbane coinvolte nel progetto: Aix-en-Provence (Francia), Firenze (Italia), Zagabria (Croazia)	**Periodo:** *1 settembre 2020 - 1 dicembre 2024*

Il progetto europeo LIFE AIRFRESH – Rimozione dell'inquinamento atmosferico da parte delle foreste urbane per migliorare il benessere umano ha l'obiettivo di valutare in modo quantitativo il ruolo delle foreste urbane e periurbane, nella riduzione degli inquinanti atmosferici e nella mitigazione dell'isola di calore urbano, contribuendo allo sviluppo di città più sane, resilienti e climaticamente neutre. Il progetto integra osservazioni sperimentali, tecniche di telerilevamento e modellistica avanzata clima-chimica dell'atmosfera per quantificare i benefici ambientali, climatici, sanitari ed economici del verde urbano e supportare politiche di rigenerazione urbana sostenibile fondate su Soluzioni Basate sulla Natura.

All'interno del progetto, ENEA, tramite il Dipartimento SSPT, contribuisce in modo significativo allo sviluppo di strumenti scientifici e operativi a supporto della pianificazione urbana. In particolare, SSPT è coinvolto nella modellazione accoppiata clima–qualità dell'aria per la valutazione degli effetti delle foreste urbane e periurbane sulla riduzione degli inquinanti atmosferici e sul microclima urbano, nonché nell'analisi degli impatti del cambiamento climatico sui sistemi territoriali.

Le attività del Dipartimento SSPT includono: la mappatura e valutazione dei servizi ecosistemici forniti dal verde urbano; l'individuazione di aree prioritarie per interventi di rinverdimento e forestazione urbana; lo sviluppo di strumenti decisionali a supporto di amministrazioni locali e pianificatori urbani; la definizione di linee guida per la selezione delle specie arboree più efficaci in termini di qualità dell'aria e mitigazione climatica. I risultati del progetto, testati in città pilota, sono trasferibili e replicabili in altri contesti urbani europei, contribuendo alla transizione verso città più resilienti, salubri e sostenibili.

Sito web: https://www.life-airfresh.eu/

Unità SSPT coinvolte: IMPACT-TERPVS, CLIMAR-MSC

Basilicata Heritage Smart Lab	
Fonte di finanziamento: Regione Basilicata - Asse I del PO FESR 2014-2020 – RICERCA, INNOVAZIONE E SVILUPPO TECNOLOGICO.	
Città/aree urbane coinvolte nel progetto (in riferimento alle sole attività svolte da ENEA): Venosa (PZ) e Potenza	**Periodo:** *1 settembre 2021 – 31 luglio 2024*

Il progetto Basilicata Heritage Smart Lab, promosso dal Cluster Basilicata Creativa, ha sviluppato attività di ricerca e sperimentazione finalizzate alla valorizzazione sostenibile del patrimonio culturale attraverso l'integrazione tra innovazione tecnologica, economia circolare e processi di rigenerazione urbana e territoriale.

Le attività hanno coinvolto oltre venti siti culturali regionali nei quali sono stati attivati *Heritage Smart Lab* come ambienti di sperimentazione e co-progettazione tra organismi di ricerca, imprese, amministrazioni pubbliche e stakeholder locali, con l'obiettivo di favorire il trasferimento tecnologico e l'applicazione di modelli innovativi di gestione del patrimonio culturale.

ENEA ha operato principalmente nell'ambito della sperimentazione di modelli di gestione integrata pubblico-privata attraverso lo sviluppo di un Heritage Smart Lab dedicato alle relazioni tra patrimonio culturale ed economia circolare. In questo task è stato realizzato un *Urban Living Lab* nella città di Venosa, finalizzato alla co-progettazione di uno spazio pubblico destinato a iniziative di economia circolare connesse alla filiera culturale e creativa. L'attività ha consentito di sperimentare approcci partecipativi alla rigenerazione urbana e co-progettare modelli di gestione innovativi basati sul coinvolgimento degli stakeholder locali.

Ulteriori attività del Dipartimento hanno riguardato:

- sviluppo di sistemi innovativi per la salvaguardia e la valorizzazione dei beni culturali, mediante monitoraggio microclimatico e della qualità dell'aria negli ambienti museali e acquisizione di dati relativi al benessere e al coinvolgimento dei visitatori, con sperimentazione presso la Pinacoteca Provinciale di Potenza;

- applicazione di biotecnologie microbiche per la conservazione sostenibile del patrimonio culturale, con sviluppo e sperimentazione di prodotti e metodi innovativi per il restauro presso la chiesa rupestre di Santa Margherita a Melfi (PZ).

Le attività svolte hanno consentito la messa a punto di metodologie e strumenti replicabili per la valorizzazione sostenibile del patrimonio culturale e per l'integrazione tra innovazione tecnologica, economia circolare e rigenerazione urbana.

Sito web: https://www.heritagesmartlab.it/

Unità SSPT coinvolte: NATURB; IMPACT-SPAC; EC-AR; EC-RMP; AGROS-BIOEC; TIMAS-MADD

ES-PA (Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione)	
Fonte di finanziamento: Fondo FESR Programma Operativo Nazionale Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020	
Città/aree urbane coinvolte nel progetto: Matera e Policoro (MT)	**Periodo:** *2018-2023*

Il progetto ES-PA ha avuto lo scopo di colmare il divario tecnico tra le direttive europee sulla sostenibilità e l'effettiva capacità di attuazione degli enti locali. Le attività progettuali in ENEA sono state molto articolate è hanno coinvolto diversi Dipartimenti ENEA. Le principali competenze sviluppate da SSPT sono afferenti all'innovazione urbana sostenibile, attraverso azioni innovative a bassa intensità tecnologica, che hanno visto interventi in ambito:

a. *Agricoltura urbana*: nell'ambito del **progetto integrato nel territorio di Matera** è stato sviluppato un Living Lab sull'economia circolare basato sul coinvolgimento della cittadinanza e della smart governance con la progettazione e l'implementazione di un dimostratore di agricoltura sostenibile e innovativa basato sul principio Nexus che lega acqua-energia-cibo.
b. *Economia circolare e patrimonio costruttivo*: è stato realizzato un report che illustra le metodologie e le tecnologie finalizzate a massimizzare il recupero degli stock immagazzinati negli edifici, analizzando i benefici ambientali, economici e sociali ed evidenziando le principali criticità che ostacolano o rallentano l'implementazione dei processi circolari. Sono inoltre riportate alcune best practice internazionali di tecnologie innovative per il recupero dei rifiuti inerti da C&D e le più rilevanti iniziative internazionali nell'ambito del recupero, attraverso smontaggio e demolizione selettiva, di componenti edilizi da destinare a riutilizzo. Un secondo report è stato dedicato al recupero dei materiali dalle "miniere urbane". E' stato proposto un approccio multiscalare per la stima e la valutazione degli stock che trova applicazione a diversi livelli territoriali (macro, meso e micro cioè scala nazionale, regionale/provinciale/distretto, città/quartiere o singolo edificio)., attraverso il ricorso a differenti metodologie/azioni.
c. *Restauro sostenibile*: sono stati organizzati diversi cicli di seminari rivolti sia ai restauratori professionisti, sia agli uffici tecnici della PA, sia ai giovani che vogliano avviare nuove iniziative professionali. Dal confronto tra le diverse competenze ed esperienze, è nata anche la collaborazione con l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (ISCR) di Matera, per Il restauro del portale lapideo della Chiesa di San Giovanni Battista con tecniche di biotecnologie per la conservazione e per la realizzazione di un percorso per la valorizzazione delle competenze di biorestauro.

d. *Divulgazione ed innovazione sociale*: Le attività sviluppate hanno permesso di sviluppare metodologie di coinvolgimento delle comunità scolastiche in processi info-formativi partecipati, con l'obiettivo di innescare nuova consapevolezza e un cambio culturale verso approcci sostenibili e circolari di consumo. E' stato implementato uno school living lab in una scuola secondaria di secondo grado di Policoro (MT) con il coinvolgimento di docenti e studenti, con scopi divulgativi riguardo le tematiche di sostenibilità ed economia circolare nonché attività di co-progettazione, secondo la metodologia tinkering (apprendere facendo), finalizzata alla realizzazione di un output di progetto (nudge) che ha coinvolto altri attori del territorio (istituti di istruzione, esercizi commerciali ed una azienda).
e. *Sicurezza sismica e riqualificazione energetica*: Sono state sviluppate delle Linee Guida operative per accompagnare le Pubbliche Amministrazioni locali nella pianificazione degli interventi di riqualificazione energetica e messa in sicurezza sismica del proprio patrimonio immobiliare.

Sito web: https://www.espa.enea.it/il-progetto.html

Unità SSPT coinvolte: AGROS-AGRI4.0, EC-SSC, . IMPACT-SPAC, NATURB

RECiProCo - Realizzazione di strumenti e iniziative sull'Economia Circolare a vantaggio dei (Pro) Consumatori	
Fonte di finanziamento: Finanziamento dell'(ex) Ministero dello Sviluppo Economico in attuazione dell'art. 5, comma 1 del decreto del 10 agosto 2020	
Città/aree urbane coinvolte nel progetto: Bologna, Anguillara Sabazia (Roma), Taranto	**Periodo:** *1 febbraio 2021 – 31 ottobre 2022*

Il progetto RECiProCo ha avuto l'obiettivo di promuovere la diffusione di strumenti e pratiche di economia circolare a vantaggio dei cittadini in qualità di consumatori, con particolare riferimento ai contesti urbani. Il progetto ha previsto, tra le altre cose, anche la realizzazione di tre interventi pilota nei territori di Anguillara Sabazia, Bologna e Taranto, nei quali sono stati attivati *Urban Living Lab* finalizzati alla co-progettazione multistakeholder di iniziative di economia circolare orientate ai bisogni locali.

Gli *Urban Living Lab* hanno rappresentato strumenti operativi di innovazione territoriale e di rigenerazione urbana, consentendo la sperimentazione di modelli collaborativi per la gestione sostenibile delle risorse urbane e per il rafforzamento delle reti locali tra istituzioni, sistema produttivo e società civile. Le attività svolte hanno prodotto i seguenti risultati principali:

- coinvolgimento degli stakeholder locali attraverso un approccio basato sul modello della quintupla elica (pubblica amministrazione, imprese, sistema della ricerca e formazione, associazioni e terzo settore, cittadini attivi);
- sensibilizzazione dei cittadini sui temi del consumo sostenibile e dell'economia circolare in ambito urbano;
- co-progettazione di iniziative di economia circolare coerenti con le specificità socio-economiche e territoriali dei contesti urbani coinvolti;
- sviluppo di una metodologia replicabile per la progettazione e l'implementazione di *Urban Living Lab* dedicati alla co-progettazione di iniziative di economia circolare in ambito urbano.

L'approccio metodologico sviluppato ha consentito di integrare processi partecipativi, innovazione sociale e sostenibilità ambientale, contribuendo alla definizione di modelli di rigenerazione urbana basati sull'uso efficiente delle risorse, sul coinvolgimento attivo delle comunità locali e sul rafforzamento del capitale relazionale territoriale.

Le attività realizzate hanno consentito di validare un modello operativo trasferibile ad altri contesti urbani per la promozione dell'economia circolare come leva per processi di innovazione territoriale e rigenerazione urbana. **Sito web:** https://www.reciproco.enea.it/
Unità SSPT coinvolte: NATURB, ICESP, STS, EC-AR, EC-SSC, EC-RMP, AGROS, AGROS-IFAL

VEG-GAP VEGetation for urban Green Air quality Plans	
Fonte di finanziamento: *LIFE Preparatory project under LIFE European Programme for the Environment and Climate Action (2014-2020) - LIFE18 PRE/IT/000003*	
Città/aree urbane coinvolte nel progetto: Bologna (Italia), Milano (Italia), Madrid (Spagna)	**Periodo:** *3 dicembre 2018 – 3 maggio 2022*

VEG-GAP rappresenta il primo progetto che, nell'ambito del paradigma "One-atmosphere", ha sviluppato un approccio modellistico integrato finalizzato alla valutazione quantitativa degli effetti della vegetazione sul microclima urbano e sulla qualità dell'aria. L'approccio considera in modo esplicito e dettagliato le emissioni biogeniche di composti organici volatili a scala di singolo albero, tenendo conto della specificità specie-dipendente dei fattori di emissione e della loro distribuzione sull'intero dominio urbano. Tali emissioni sono integrate, all'interno del sistema modellistico, con la rappresentazione dei principali servizi ecosistemici forniti dalla vegetazione urbana, inclusi l'ombreggiamento, l'evapotraspirazione e la capacità di rimozione degli inquinanti atmosferici.

I sistemi modellistici atmosferici impiegati consentono valutazioni per la pianificazione sia a breve sia a lungo termine, operando dalla scala europea fino a una risoluzione spaziale di 1 km in ambito urbano. Questo permette di ottenere una visione al tempo stesso complessiva e dettagliata delle caratteristiche atmosferiche, con particolare attenzione agli eventi estremi di temperatura e alle elevate concentrazioni di inquinanti, favorendo così una stima più accurata degli impatti sulla salute umana a scala sub-comunale.

L'approccio e gli strumenti sviluppati sono stati applicati in tre città europee: Bologna, Madrid e Milano. I risultati del progetto sono stati resi disponibili sia al pubblico sia a professionisti, ricercatori e decisori politici attraverso una piattaforma informatica dedicata (https://veggaplatform.enea.it/).

LIFE VEG-GAP è stato inserito tra le "Buone pratiche per l'ambiente e il clima" del Ministero dell'Ambiente, in quanto fornisce un supporto basato su evidenze scientifiche alla progettazione di piani urbani per la qualità dell'aria e del clima, nonché ad altre attività di pianificazione ambientale finalizzate alla prevenzione dei rischi per la salute umana e alla salvaguardia della biodiversità.

Il laboratorio AOC vanta un'esperienza pluridecennale nel supporto alle politiche italiane ed europee per il miglioramento della qualità ambientale, con particolare riferimento alla qualità dell'aria. In questo contesto,

l'approccio VEG-GAP rappresenta un avanzamento significativo rispetto alle attività di previsione della qualità dell'aria a livello europeo e nazionale, con cui si integra, offrendo alle città uno strumento scientifico e operativo a supporto della pianificazione urbana. **Sito web:** https://www.lifeveggap.eu/
Unità SSPT coinvolte: SSPT-CLIMAR-AOC

10. PROSPETTIVE FUTURE

Le prospettive future si delineano all'interno di uno scenario globale in cui le città, fulcro delle trasformazioni economiche, sociali e ambientali, diventano motori chiave per la realizzazione della transizione ecologica e per la costruzione di un nuovo paradigma di sviluppo sostenibile. La crescente interdipendenza dei sistemi urbani, la pressione sulle risorse naturali, sulla salute e il benessere dei cittadini, nonché l'acuirsi delle disuguaglianze sociali rendono indispensabile un approccio integrato alla pianificazione e alla gestione delle trasformazioni territoriali. In questo quadro, la competizione tra città non si misurerà più soltanto in termini di capacità economica o di attrazione di investimenti, ma soprattutto nella qualità delle strategie di governance, nella capacità di promuovere innovazione istituzionale e nella costruzione di reti collaborative orientate alla sostenibilità. La governance urbana, intesa come infrastruttura cognitiva e relazionale, dovrà evolversi verso forme adattive, multilivello e partecipative, capaci di integrare conoscenze scientifiche, strumenti tecnologici e processi di co-creazione. Tale trasformazione richiede competenze avanzate e una visione sistemica che unisca la dimensione politica a quella tecnica, consentendo di attivare sinergie tra ricerca, amministrazione e cittadinanza. Le competenze sviluppate da ENEA, fondate sui principi della circolarità e dell'efficienza delle risorse, offrono un quadro operativo per orientare i decisori verso modelli urbani innovativi, capaci di coniugare competitività, inclusione e tutela ambientale.

Un asse strategico di questa transizione riguarda la gestione integrata delle materie prime e dell'acqua, elementi costitutivi del metabolismo urbano. L'aumento della domanda di risorse, la dipendenza da materie prime critiche e la crescente vulnerabilità dei sistemi idrici pongono sfide che richiedono risposte coordinate e interdisciplinari. È necessario promuovere pratiche di *urban mining* e di recupero di materiali dai flussi di rifiuti, incoraggiare la sostituzione di risorse vergini con materiali secondari e sviluppare sistemi di tracciabilità basati su piattaforme digitali e modelli di analisi del ciclo di vita (LCA). Allo stesso modo, la gestione sostenibile dell'acqua impone un ripensamento delle infrastrutture e dei modelli di consumo: l'impermeabilizzazione dei suoli, la perdita di capacità di drenaggio e la frequenza crescente di eventi meteorologici estremi rendono urgente la progettazione di reti idriche resilienti, la diffusione di sistemi di raccolta e riuso delle acque meteoriche e reflue, e l'introduzione di tecnologie per l'efficienza idrica negli edifici e nei processi produttivi. Le strategie circolari devono mirare a ricostruire l'equilibrio tra domanda e disponibilità di risorse, riducendo le pressioni sugli ecosistemi e migliorando la capacità adattiva delle città ai cambiamenti climatici. L'acqua, intesa come bene comune e fattore abilitante della sostenibilità urbana, diventa così elemento centrale delle politiche pubbliche, in grado di unire tutela ambientale, sicurezza sociale e innovazione tecnologica.

In stretta relazione con la gestione delle risorse, la rigenerazione urbana si configura come processo trasformativo e inclusivo, in grado di generare valore economico, sociale e culturale. Essa non si limita

alla riqualificazione fisica degli spazi, ma promuove un rinnovamento profondo dei modelli di abitare, produrre e consumare, integrando dimensioni ecologiche, economiche e culturali. In tale contesto, il turismo sostenibile rappresenta un ambito di sperimentazione avanzato, in cui la pianificazione circolare e la partecipazione delle comunità possono contribuire a riequilibrare i flussi territoriali e a valorizzare le risorse locali. Contrastare l'overtourism e l'undertourism significa ripensare le relazioni tra economia e ambiente, promuovendo forme di fruizione più consapevoli, percorsi turistici a basso impatto, pratiche di riuso delle risorse idriche e materiali, e valorizzazione dell'identità culturale dei luoghi.

La tutela del patrimonio edilizio e storico-artistico, parte integrante di questa visione sistemica, assume un significato rinnovato in chiave di resilienza urbana. Le città del futuro dovranno dotarsi di strumenti di monitoraggio dinamico e di diagnostica avanzata per preservare i beni culturali dagli effetti combinati del tempo e dei cambiamenti climatici. L'integrazione di tecnologie digitali, tecniche non distruttive, stampa 3D e biorestauro consentirà di conciliare innovazione e conservazione, ottimizzando gli interventi manutentivi e riducendo l'impatto ambientale. Il patrimonio culturale, in questa prospettiva, diventa non solo memoria, ma risorsa viva e rigenerativa, capace di innescare processi di innovazione sociale e territoriale.

Infine, il rafforzamento del capitale naturale rappresenta la condizione essenziale per una rigenerazione urbana autenticamente sostenibile. Ripristinare la biodiversità, valorizzare gli ecosistemi urbani e promuovere soluzioni basate sulla natura significa riconoscere il ruolo fondamentale che la natura svolge nella regolazione dei cicli idrici, nella mitigazione climatica e nel migliorare la salute ed il benessere collettivo. È necessario promuovere, attraverso la sinergia di competenze scientifiche, tecnologiche e sociali, un approccio integrato volto ad accrescere il capitale naturale nelle città e ad orientare la pianificazione urbana verso modelli più resilienti, attrattivi e climaticamente neutri. In tale prospettiva, la città si configura come ecosistema complesso e aperto, in cui le infrastrutture verdi e blu si integrano con quelle tecnologiche e culturali, generando nuovi equilibri tra ambiente costruito e ambiente naturale, coerentemente con l'approccio One Health.

Il futuro urbano dipenderà dunque dalla capacità collettiva di tradurre la conoscenza in azione, attraverso una governance inclusiva, cooperativa e basata su risultati scientifici. Solo un approccio che unisca ricerca, pianificazione e partecipazione (Figura 10.1) potrà trasformare la complessità urbana in un motore di innovazione e coesione, orientando la città verso un modello rigenerativo in cui l'efficienza delle risorse, la qualità della vita e la giustizia ambientale diventino i pilastri di un nuovo patto tra società, economia e natura.

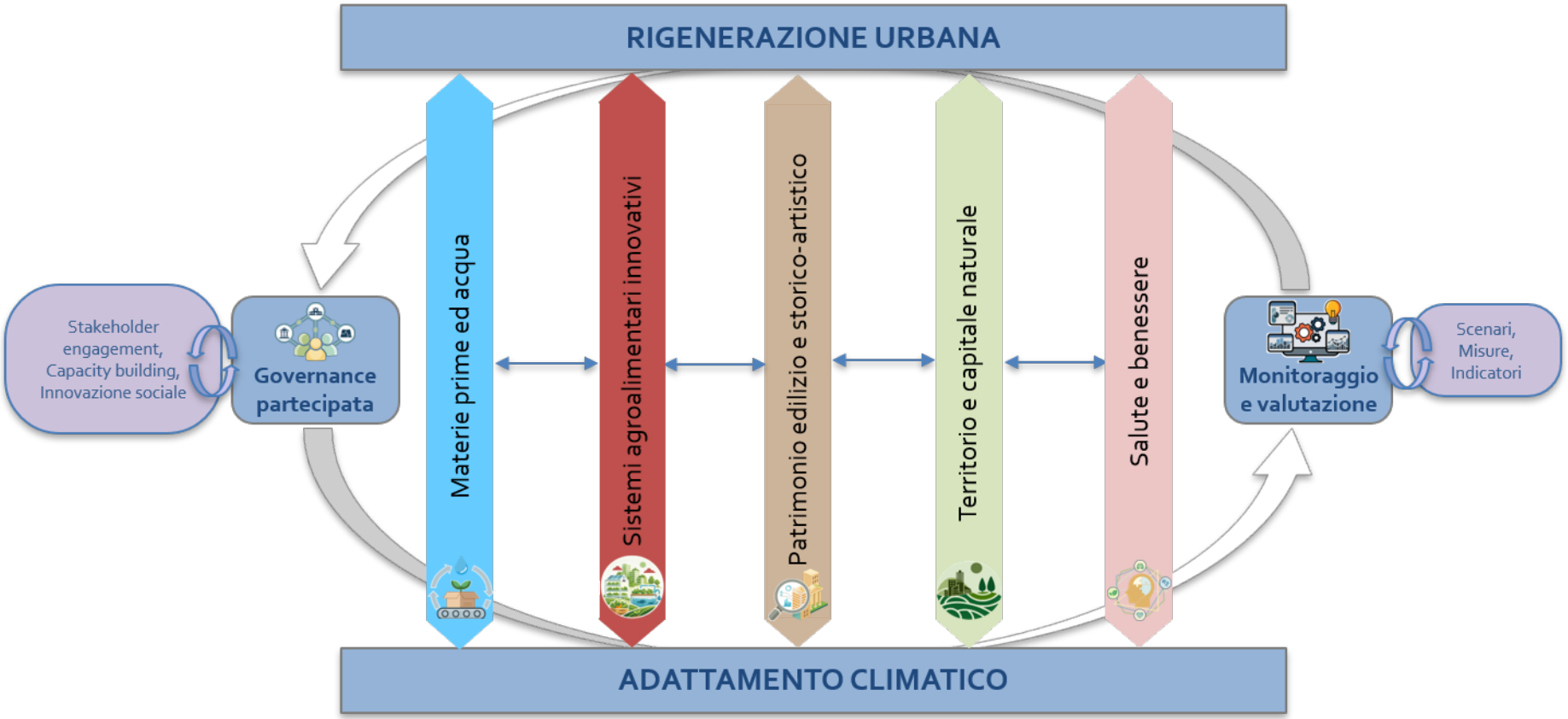


Figura 10.1. Approccio integrato per città circolari, resilienti e inclusive del Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali. Modello sistemico, partecipato e adattivo.

BIBLIOGRAFIA

Alisi, C., Bacchetta, L., Bojorquez, E., Falconieri, M., Gagliardi, S., Insaurralde, M., Martinez, M.F.F., Orozco, A.M., Persia, F., Sprocati, A.R., Procacci, S., Tatì, A. (2021) Mucilages from Different Plant Species Affect the characteristics of Bio-Mortars for Restoration. Coatings, 2021, 11, 75. https://doi.org/10.3390/coatings11010075

Alisi, C., Magrini, D., Vettori, S., Salvadori, B., Vincenti, M., Manna, D., Bietti, M., Sprocati, A.R. (2022) Sustainable Restoration Guided by Scientific and Archival Investigations: The Bio-Cleaning of Lorenzo Duke of Urbino's Sarcophagus, a Michelangelo's Masterpiece in the Medici Chapels. Heritage 2022, 5, 3359–3373. https://doi.org/10.3390/heritage5040172.

Anav, A., Sorrentino, B., et al. Meteorological, chemical and biological evaluation of the coupled chemistry-climate WRF-Chem model from regional to urban scale. An impact-oriented application for human health, Environmental Research, https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119401.

Ansanelli, G., Fiorentino, G., Chifari, R., Meister, K., Leccisi, E., Zucaro, A., 2023. Sustainability Assessment of Coffee Silverskin Waste Management in the Metropolitan City of Naples (Italy): A Life Cycle Perspective. Sustainability 15(23), 16281. https://doi.org/10.3390/su152316281.

Aversa P., Innella C, Marghella G., Marzo A., Tripepi C. 2024. Monitoraggio microclimatico per la conservazione dei beni culturali ed il comfort dei visitatori. Ingenio (21-03-2024), ISSN 2307-8928

Aversa, P., Innella, C., Marghella, G., Marzo, A., Tripepi, C. (2025). Monitoring for the Preservation of Cultural Heritage and Visitor Satisfaction. In: Mazzolani, F.M., Landolfo, R., Faggiano, B. (eds) Protection of Historical Constructions. PROHITECH 2025. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 595. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87312-6_50.

Aversa, P., Marzo, A., Tripepi, C., Sabbadini, S., Dotelli, G., Lauriola, P., Moletti, C., Luprano, V.A.M. 2021. Hemp-lime buildings: thermo-hygrometric behaviour of two case studies in North and South Italy. Energy and Buildings, 247, art. no. 111147, https://doi.10.1016/j.enbuild.2021.111147

Batty, M. (2013). The New Science of Cities. MIT Press. The MIT Press DOI: https://doi.org/10.7551/mitpress/9399.001.0001 ISBN electronic: 9780262318235

Beltrani T., Brunori C., Di Palma P.R., La Monica M., Langone M., Viglia S., Rio E., Pingitore G., Ganapini W., Morabito R, 2025. Resource audit for the Fabric of Saint Peter in Vatican City: a preliminary analysis. submitted in SUM2025 – 8th Multidisciplinary Symposium on Circular Economy and Urban Mining.

Breysse, D., Balayssac, J.-P., Biondi, S., Borosnyoi, A., Candigliota, E., Chiauzzi, L., Garnier, V.,Grantham, M., Gunes, O., Luprano, V.A.M., Masi, A., Pfister, V., Sbartaï, Z.M., Szilagyi, K. (2021) Non-Destructive in situ strength assessment of concrete, RILEM State-of-the-Art Reports, 32, DOI: 10.1007/978-3-030-64900.

Carra, M.; Caselli, B.; Rossetti, S.; Zazzi, M. (2023). Widespread Urban Regeneration of Existing Residential Areas in European Medium-Sized Cities—A Framework to Locate Redevelopment Interventions. Sustainability, 15, 13162. https://doi.org/10.3390/su151713162

Ceddia, A. R., Oricchio, S., Barberio, G., Innella, C. (2024). A Systematic Literature Review exploring the nexus between Circular Economy and Communities. Frontiers in sustainable cities. Sec. Urban Resource Management Volume 6, ISSN: 2624-9634 Doi: 10.3389/frsc.2024.1404279

Ceriani R., Fohrafellner J., Maenhout P., Jarosch K. J., Weiss L., Di Bene C., Baratella V., Carboni G., Mereu V., Stefanova M., Fava F., Valkama E. (2026) Cereal yield, yield stability, and nitrous oxide release in European conservation agriculture: A meta-analysis, J. Field Crops Research, Volume 341, https://doi.org/10.1016/j.fcr.2026.110386.

Circular Cities Frontrunner Group (2025). Accelerate the circular economy for a prosperous and competitive Europe. https://openresearch.amsterdam/nl/page/112742/accelerate-the-circular-economy-for-a-prosperous-and-competitive

Cordelli E., Ardoino L., Benassi B., Consales C, Eleuteri P., Marino C., Sciortino M., Villani P. et al. 2023. Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field (RF-EMF) exposure on pregnancy and birth outcomes: A systematic review of experimental studies on non-human mammals. Environ Int. doi: 10.1016/j.envint.2023.108178. Erratum in: https://doi:10.1016/j.envint.2025.109273

Creanza G., Gatto B., Gil Lopez N., Barberio G., Cappellaro F., De Carolis R., Bianchini A., Rossi J., Martini G., Matteucci C., Campadello L., Navach S., Cancino E., Romaniello L., Fragapane A., Giannoccaro I., Paiano A., Arcese G. ,Lucchetti M.C, Montauti C., (2019). Rassegna Delle Attività Dell'anno 2018 Documento su Ricerca ed Eco-innovazione, Diffusione Conoscenza e Formazione del GdL 1 della Piattaforma ICESP DOI 10.12910/DOC2020-001

Cutaia L. Beltrani T., Fantin V., Mancuso E., Sbaffoni S., La Monica M. (2020), Resources audit as an effective tool for the implementation of industrial symbiosis paths for the transition towards circular economy. Springer Publisher 978-3-030-36659-9 10.1007/978-3-030-36660-5.

Cutaia L., Mancuso E., La Monica M. (2019). La simbiosi industriale e territoriale, DOI 10.12910/EAI2019-049

D'Isidoro, M., Mircea, M., Borge, R., Finardi, S., De La Paz, D., Briganti, G., Russo, F., Cremona, G., Villani, M. G., Adani, M., Righini, G., Vitali, L., Stracquadanio, M., Prandi, R., & Carlino, G. (2023). The role of vegetation on urban atmosphere of three european cities—part 1: Evaluation of vegetation impact on meteorological conditions. Forests, 14(6), 1235. https://doi.org/10.3390/f14061235

Dalmastri C. and Uccelli R. 2024. Mortality from extreme meteorological and hydrogeological events in Italy: a rising health threat connected to climate change. Safety in Extreme Environments https://doi.org/10.1007/s42797-024-00100-3

De Andrés, J. M., D'Elia, I., De La Paz, D., D'Isidoro, M., Russo, F., Mircea, M., Gualtieri, M., Vardoulakis, S., & Borge, R. (2025). City-scale revegetation strategies impact on the temperature-related long-term mortality: A quantitative assessment in three cities in southern europe. Forests, 16(7), 1089. https://doi.org/10.3390/f16071089

Del Ciello, R, Camporeale C., (2018). L'impatto dei Fondi Strutturali tra sviluppo economico e mitigazione del cambiamento climatico DOI: 10.12910/EAI2018-020

Dernini S., Lairon D., Berry E.M., Brunori G., Capone R., Donini L.M., Iannetta M., Mattioni D., Piscopo S., Serra-Majem L., Sonnino, A., Stefanova, M. (2019). The Med Diet 4.0 Framework: a Multidimensional Driver for Revitalizing the Mediterranean Diet as a Sustainable Diet Model. In: B. Burlingame, S. Dernini (Eds). Sustainable Diets Linking Nutrition and Food Systems; CABI, 2019; ISBN-13: 9781786392855 (ePDF)

EEA (2020). The European environment — state and outlook 2020. European Environment Agency. ISBN: 978-92-9480-090-9

EEA, 2016. Urban sprawl in Europe - joint EEA-FOEN report. EEA Report 11/2016

Ellen MacArthur Foundation (2019). Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change.

European Commission (2020). Circular Economy Action Plan. Brussels.

Falasca, S., Zinzi, M., Ding, L., Curci, G., & Santamouris, M. (2022). On the mitigation potential of higher urban albedo in a temperate oceanic metropolis. Sustainable Cities and Society, 81, 103850. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103850

Falasca, S., Zinzi, M., Siani, A. M., Curci, G., Ding, L., & Santamouris, M. (2024). Investigating the effects of the greenery increase on air temperature, ventilation and cooling energy demand in Melbourne with the Weather Research and Forecasting model and Local Climate Zones. Science of The Total Environment, 953, 176016. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176016

Falconi L.M., Moretti L., Puglisi C., Righini G. (2023). Debris and mud flows runout assessment: a comparison among empirical geometric equations in the Giampilieri and Briga basins (east Sicily, Italy) affected by the event of October 1, 2009. Nat Hazards 117, 2347–2373 (2023). https://doi.org/10.1007/s11069-023-05945-8

Falconi, L.M., Moretti, L., Puglisi, C., Righini, G., 2025. Geometric approach-based tool for shallow landslides propagation assessment (ShaLPA) at basin scale. Environmental Modelling & Software 191, 106512. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106512

Famiglietti, J., Madioum, H., & Motta, M. (2023). Developing a New Data-Driven LCA Tool at the Urban Scale. Sustainability, 15(15), 11518. https://doi.org/10.3390/su151511518

Filippo M., Alvisi S., Franchini M., Ferraris M., Kapelan Z., 2021. Automated Household Water End-Use Disaggregation through Rule-Based Methodology. Journal of Water Resources Planning and Management , 147(6), 04021024. Doi. 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001379.

Fiorentino G., Beltrani T., Cafiero L., Scrucca, F., 2024. Sustainable Organic Waste Management in Small Communities: Evidence from Life Cycle-Based Evaluations. In: Lagioia, G., Paiano, A., Amicarelli, Gallucci, V., Ingrao, T., C. (eds) Innovation, Quality and Sustainability for a Resilient Circular Economy. AISME 2022. Circular Economy and Sustainability. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55206-9_6

Fiorentino, G., Zucaro, A., Ansanelli, G., 2024. Sustainability analysis of organic waste management in the Metropolitan Area of Barcelona. RT/2024/13/ENEA https://iris.enea.it/retrieve/cf07566e-d832-40a2-a9f5-a5862f8d679c/RT-2024-13-ENEA.pdf.

Fung, A. (2015). Putting the Public Back into Governance. Public Administration Review, 75(4), 513–522. https://doi.org/10.1111/puar.12361

G. Mancini, L. Lombardi, A. Luciano, D. Bolzonella, P. Viotti, D. Fino. (2024). A reduction in global impacts through a waste-wastewater-energy nexus: A life cycle assessment. Energy, 289 (2024), 130020

Galvagno, S., Tammaro, L., Portofino, S., Loffredo, F., De Girolamo Del Mauro, A., Villani, F., Pandolfi, G., Iovane, P., Tassini, P., Borriello, C. (2024) Fabrication of three-dimensional micropatterned hydrophobic surfaces by fused filament fabrication printing technology, Applied Research, 2024, https://doi.org/10.1002/appl.202400003.

Garegnani M., Sandri C., Pacelli C., Ferranti F., Bennici E., Desiderio A., Nardi L., Villani M.E., 2024. Non-destructive real-time analysis of plant metabolite accumulation in radish microgreens under different LED light recipes. Front. Plant Sci. 14:1289208. doi: 10.3389/fpls.2023.1289208.

Geissdoerfer, M., Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N-M.P., Hultink, E.J., (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production, 143, 757–768. ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

Ghiroldi, S., Scafuto, F., Montecucco, N.F. et al. 2020. Effectiveness of a School-Based Mindfulness Intervention on Children's Internalizing and Externalizing Problems: the Gaia Project. Mindfulness 11, 2589–2603. https://doi.org/10.1007/s12671-020-01473-9

Gualtieri M., Berico M., Grollino M.G., Cremona G., La Torretta T., Malaguti A., et al. 2022. Emission Factors of CO2 and Airborne Pollutants and Toxicological Potency of Biofuels for Airplane Transport: A Preliminary Assessment. Toxics. 10(10):617. https://doi:10.3390/toxics10100617.

Iannetta M., & Nobili C. (2021). La filiera agroalimentare per la città intelligente. In G. F. Ferrari (a cura di), Le smart cities al tempo della resilienza (pp. 505–515). Mimesis Edizioni.

ICLEI (2020). Circular Cities Declaration. https://circularcitiesdeclaration.eu/

ICOMOS (2019). Guidance on Heritage Impact Assessments for Cultural World Heritage Properties.

Innella, C., Ansanelli, G., Barberio, G., Brunori, C., Cappellaro, F., Civita, R., Fiorentino, G., Mancuso, E., Pentassuglia, R., Sciubba, L., Zucaro, A. (2024a) "A methodology framework for the implementation of urban living lab on circular economy co-design activities" Frontiers in Sustainable Cities. DOI: 10.3389/frsc.2024.1400914

Innella, C., Barberio, G., Brunori, C., Cappellaro, F., Ceddia, A.R., Civita, R., Dimatteo, S., Ferraris, M., Pentassuglia, R., Sciubba, L. (2024b) "Experimenting urban living lab methodology on circular economy co-design activities in some Italian urban territories" Frontiers in Sustainable Cities . DOI: 10.3389/frsc.2024.1406834

Innella, C., Jorizzo, M., Pentassuglia, R. (2024). School Living Lab sull'economia circolare. ISBN 978-88-8286-485-9. Online

Innella, C., Jorizzo, M., Pentassuglia, R., Tronci, C. (2023) Circular cities: schools as a driver for the green transition process. Procedia Environmental Science, Engineering and Management 10, (2) 301-305 ISSN: 2392 – 9537; ISSN-L: 2392 – 9537; eISSN: 2392 - 9545 Online at: Procedia (procedia-esem.eu)

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FrontMatter.pdf

ISO (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. ISO 14040.

Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. Atmospheric Environment, 43(1), 51–63. ISSN 1352-2310, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051.

Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (2017). Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas—Linkages Between Science, Policy and Practice. In: Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (eds) Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_1

Landolfo, P., & Musmeci, F. (2013). Il compostaggio di comunità. Energia, Ambiente e Innovazione, 5, 95-101.

Langone M., Petta L., 2024. Sistema idrico e rischio idrogeologico. Proposta di Strategia di Adattamento Climatico di Roma Capitale.

Latini A et al. (2024). Influence of plant evapotranspiration process on the summer cooling of a solar bioclimatic greenhouse internal environment. IEEE Xplore. https://ieeexplore.ieee.org/document/10751056

Leonardi, M. (2023). Nature-Based Solutions to Regenerate Mediterranean Cities: A Case Study in Catania. Sustainability, 15(16), 12112. Sustainability 2023, 15(16), 12112; https://doi.org/10.3390/su151612112

Luciano, A., Altamura, P., Baiani, S., Cellulare M., Cutaia (2023b) Linee guida per la stima delle quantità e delle caratteristiche dei materiali utilizzabili e recuperabili nelle “miniere urbane”. Luciano, A. Cutaia, L. Altamura, P. Penalvo. Critical issues hindering a widespread construction and demolition waste (CDW) recycling practice in EU countries and actions to undertake: The stakeholder's perspective (2022). Sustainable Chemistry and Pharmacy. 29,100745. https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100745

Luciano, A., Altamura, P., Baiani, S., Cutaia, L. (2023a). The building stock as an urban mine: The case of the circular regeneration of disused buildings. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 33, 101104. https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101104

Luciano, A., Altamura, P., Carletti R., S., Cutaia (2021) Rassegna delle metodologie/tecnologie per trasformare lo stock di materiali in prodotti riutilizzabili e riciclabili”.

Luciano, A., Cutaia, L., Cioffi F., Sinibaldi, C. (2021). Demolition and construction recycling unified management: the DECORUM platform for improvement of resource efficiency in the construction sector. Environmental Science and Pollution Research. 28, 24558–24569. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09513-6

Luciano, A., Reale P., Cutaia, L., Carletti R. e al. (2020). Resources Optimization and Sustainable Waste Management in Construction Chain in Italy: Toward a Resource Efficiency Plan. Waste and Biomass Valorization. 11, 5405–5417. https://doi.org/10.1007/s12649-018-0533-1

Mahmoud, I., Dubois, G., Liquete, C. et al. Understanding collaborative governance of biodiversity-inclusive urban planning: Methodological approach and benchmarking results for urban nature plans in 10 European cities. Urban Ecosyst 28, 17 (2025). https://doi.org/10.1007/s11252-024-01656-5

Meisterl K., Sastre S., Puig-Ventosa I., Chifari R., Martínez Sánchez L., Chochois L., Fiorentino G., Zucaro A., 2024. Circular Bioeconomy in the Metropolitan Area of Barcelona: Policy Recommendations to Optimize Biowaste Management. Sustainability, 16, 1208. https://doi.org/10.3390/su16031208.

Metelli G., Lampazzi E., Pagliarello R., Garegnani M., Nardi L., Calvitti M., Gugliermetti L., Restivo Alessi R., Benvenuto E., Desiderio A., 2023. Design of a modular controlled unit for the study of bioprocesses: Towards solutions for Bioregenerative Life Support Systems in space. Life Sci Space Res (Amst), 36:8-17. doi: 10.1016/j.lssr.2022.10.006.

Michetti M, D'Angelo A., 2025. Enabling informed decisions for climate risk and crisis management. The BRACE review protocol. MethodsX. 2025 Oct 8;15:103672. doi: 10.1016/j.mex.2025.103672. PMID: 41140617; PMCID: PMC12547708.

Michetti M. Gualtieri M., Anav A., Adani M., Benassi B., Dalmastri C., D'Elia I., Piersanti A., Sannino G., Uccelli. 2022. Climate change and air pollution: translating their interplay into present and future mortality risk for Rome and Milan municipalities. Sci Total Environ. 830, 154680. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154680

Michetti, M., Ghinoi, S. 2020. Climate-driven vulnerability and risk perception: implications for climate change adaptation in rural Mexico. J Environ Stud Sci 10, 290–302. https://doi.org/10.1007/s13412-020-00607-8

Mircea M, Borge R, Finardi S, Briganti G, Russo F, de la Paz D, D'Isidoro M, Cremona G, Villani MG, Cappelletti A, et al. (2023). The Role of Vegetation on Urban Atmosphere of Three European Cities. Part 2: Evaluation of Vegetation Impact on Air Pollutant Concentrations and Depositions. Forests,14(6):1255. https://doi.org/10.3390/f14061255

Moletti, C., Aversa, P., Losini, A.E., Dotelli, G., Woloszyn, M., Luprano, V.A.M. Hygrothermal behaviour of hemp-lime walls: the effect of binder carbonation over time. 2023. Building and Environment, 233, art. no. 110129. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110129

Munda, G. (2004). Social multi-criteria evaluation. European Journal of Operational Research, 158(3), 662–677. ISSN 0377-2217, https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00369-2.

Nardella L. Sebastiani A. et al. (2024). Modeling regulating ecosystem services along the urban–rural gradient: A comprehensive analysis in seven Italian coastal cities. Ecological Indicators 165, 112161. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112161

Nardi L., Metelli G., Garegnani M., Villani M.E., Massa S., Bennici E., Lamanna R., Catellani M., Bisti S., Maggi M.A., et al. 2022. Farming for Pharming: Novel Hydroponic Process in Contained Environment for Efficient PharmaGrade Production of Saffron. Molecules, 27, 8972. https://doi.org/10.3390/molecules27248972.

Nobili C., & Cappellaro F. (2021). Circular economy good practices in waste management and prevention in the food system. Environmental Engineering and Management Journal, 20(10), 1645–1654. https://doi.org/10.30638/eemj.2021.153

OECD/European Commission (2020), Cities in the World: A New Perspective on Urbanisation, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/d0efcbda-en.

Pinto R., Ardoino L., Giardullo P., Villani P. Marino C. 2024. A Systematic Review on the In Vivo Studies on Radiofrequency (100 kHz–300 GHz) Electromagnetic Field Exposure and Co-Carcinogenesis. Int. J. Environ. Res. Public Health, 21, 1020. https://doi:org/10.3390/ijerph21081020

Pollino M., Cappucci S., Taramelli A (Eds), 2024. Geomatics and Sustainability: Examples and Application in Urban and Landscape Management, https://www.mdpi.com/journal/land/special_issues/geomatics_landscape

Quinto R.M., Russo F., Scafuto F., Innamorati M., Montecucco F.N., Ghiroldi S. 2025. Effects of a Body-Based Mindfulness Program on Alexithymia, Dispositional Mindfulness, and Distress Symptoms: A Pilot Clinical Trial. Behav Sci (Basel). 2025 Jan 8;15(1):55. https://doi:10.3390/bs15010055.PMID:39851859 ; PMCID: PMC11763314

Ranaldi, R., Rugnini, L., Migliore, G. et al. (2025) The role of essential oils as eco-friendly strategy to control biofilm collected in the Colosseum (Rome, Italy), Appl Microbiol Biotechnol 109, 48 (2025). https://doi.org/10.1007/s00253-025-13433-1.

Romeo A., Pellegrini R., Gualtieri M., Benassi B., Santoro M., et al. 2023. Experimental and in silico evaluations of the possible molecular interaction between airborne particulate matter and SARS-CoV-2. Sci Total Environ. 895:165059. https://doi:10.1016/j.scitotenv.2023.165059

Rugnini, L., Migliore, G., Tasso, F., Ellwood, N.T.W., Sprocati, A.R., Bruno, L. (2020) Biocidal activity of phyto-derivative products used on phototrophic biofilms growing on stone surfaces of the

Domus Aurea in Rome (Italy). Applied Sciences, 2020, 10, 6584. https://doi.org/10.3390/app10186584.

Saganeiti, L. Are we ready for "No net land take by 2050"? A perspective from Italy. City Territ Archit 12, 11 (2025). https://doi.org/10.1186/s40410-025-00262-y

Salvatori E. et al. (2024). Soluzioni basate sulla natura per la rigenerazione e l'adattamento climatico di città e territori. Energia, Ambiente e Innovazione, 2, 73-75. https://doi.org/10.12910/EAI2024-057

Santarsiero, G., Misceo, M., Aversa, P., Candigliota, E., Di Micco, A., Hugony, F., Manfredi, V., Marghella, G., Marzo, A., Masi, A., Pfister, V., Tamburrino, S., Tatì, A., Tripepi, C., Ventura, G., Luprano, V.A.M. (2024) Holistic Assessment for Social Housing Retrofitting: Integrating Seismic, Energy, and Social Aspects in the REHOUSE Project, Buildings, Volume 14, 17 November 2024, ISSN: 20755309, DOI: 10.3390/buildings14113659.

Santoro M., Costabile F., Gualtieri M., Rinaldi M., Paglione M., Busetto M. et al. 2024. Associations between fine particulate matter, gene expression, and promoter methylation in human bronchial epithelial cells exposed within a classroom under air-liquid interface. Environ Pollut. 358:124471. https://doi:10.1016/j.envpol.2024.124471

Scafuto F., Ghiroldi S., Montecucco N.F., De Vincenzo F., Quinto RM., Presaghi F., Iani L. 2024. Promoting well-being in early adolescents through mindfulness: A cluster randomized controlled trial. J Adolesc. 2024 Jan;96(1):57-69. https://doi:10.1002/jad.12252.Epub2023Sep 22.PMID:37740437

Sommese, F. (2024). Nature-Based Solutions to Enhance Urban Resilience. Buildings, 14(7), 2190. Sommese, F. Nature-Based Solutions to Enhance Urban Resilience in the Climate Change and Post-Pandemic Era: A Taxonomy for the Built Environment. Buildings, 14, 2190. https://doi.org/10.3390/buildings14072190

Sorrentino, B., Screpanti, A., De Marco, A. (2024) Corrosion on cultural heritage buildings in Jordan in current situation and in future climate scenarios, Scientific Reports, 14, 25373 (2024), https://doi.org/10.1038/s41598-024-77195-y.

Sprocati, A.R., Alisi, C., Migliore, G., Marconi, P., Tasso, F. (2021) Sustainable restoration through biotechnological processes: A proof of concept. Chapter 11 in "Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage pp:235-261. 10.1007/978-3-030-69411-1_11.

Squitieri D., Vitali R., Bartoleschi C., Lombardini G., Cacaci M., Degli Esposti L., Fusacchia C., Osmani S., Gavioli L., Bugli F., Valerini D., 2025. Antimicrobial Multi-Assay Evaluation of (Al-Doped ZnO)-Ag

and TiO2-Ag Nanocoatings: Impact of Direct and Indirect Mechanisms, Advanced Materials Interfaces, e00622, 2025, https://doi.org/10.1002/admi.202500622

Stefanova M. & Iannetta M. (2024) Agroecological innovations as an entry point for the transformation of food systems in the Mediterranean Region and the revitalization of the Mediterranean Diet. In: Dernini S. and Capone R. (eds), Sustainable food systems. Change of route in the Mediterranean. Valenzano: CIHEAM Bari, https://doi.org/10.48259/bc1962f .

Stefanova M.,& Iannetta M., (2019). About Salience of Sustainability Assessments: The case of Life Cycle Thinking and Food System Transformation Perspective. RT/2019/14/ENEA, https://iris.enea.it/retrieve/dd11e37c-e1ce-5d97-e053-d805fe0a6f04/RT-2019-14-ENEA.pdf

Szabó M., Gimkiewicz J., Cappellaro F., Innella C., Nagypál N.C., 2024. Transition to circular economy of urban areas and communities with special attention to lifestyles. Discov Sustain 5, 482. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00726-0.

Tripepi, C., Saitta, F., Clemente, P., Buffarini, G., Bongiovanni, G. (2023) Experimental Vibration Analysis in the Knowledge Process of a Historic Confined Masonry Building, Buildings, Volume 13, 10 October 202, ISSN: 20755309, DOI: 10.3390/buildings13102560.

Uccelli R. Mastrantonio M., Altavista P., Sciortino M., Carletti R. 2021. Pancreatic cancer mortality in Italy (1981-2015): a population-based study on geographic distribution and temporal trends. Annals of Cancer Epidemiology 5:1. https://ace.amegroups.com/article/view/6271

UNEA, 2022. Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39864/NATURE-BASED%20SOLUTIONS%20FOR%20SUPPORTING%20SUSTAINABLE%20DEVELOPMENT.%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y

UN-Habitat (2016). The New Urban Agenda. ISBN 978-92-1-132869-1 https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/12/nua_handbook_14dec2020_2.pdf

UN-Habitat (2024a). Urban Regeneration in the context of UN-Habitat's Flagship Programme 'Inclusive Communities – Thriving Cities'. https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/10/urban_regeneration_-clarification_note-_30_september_2024.pdf

UN-Habitat (2024b). Urban Regeneration for Localizing the SDGs. https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/05/ur_-_paper_22052024.pdf

United Nations (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. https://sdgs.un.org/2030agenda

United Nations Statistics Division (2024). The Sustainable Development Goals Report 2024. https://unstats.un.org/sdgs/report/2024

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2025). World Urbanization Prospects 2025: summary of Results. UN DESA/POP/2025/TR/NO. 12. New York: United Nations.

Valerini D., Tammaro L., Villani F., Rizzo A., Caputo I., Paolella G., Vigliotta G. 2020. Antibacterial Al-doped ZnO coatings on PLA films, J. Mater. Sci. 55. 4830. https://doi.org/10.1007/s10853-019-04311-z

Valerini D., Tammaro L., Vitali R., Guillot G., Rinaldi A. 2021. Sputter-Deposited Ag Nanoparticles on Electrospun PCL Scaffolds: Morphology, Wettability and Antibacterial Activity, Coatings 11. 345. https://doi.org/10.3390/coatings11030345

Vegliante G., Baiocchi V. Falconi L.M., Moretti L., Pollino M., Puglisi C., Righini G. (2024) A GIS-Based Approach for Shallow Landslides Risk Assessment in the Giampilieri and Briga Catchments Areas (Sicily, Italy). GeoHazards 2024, 5, 209-232. https://doi.org/10.3390/geohazards5010011

Voytenko, Y., McCormick, K., Evans, J., Schliwa, G., (2015). Urban Living Labs for Sustainability and Low Carbon Cities in Europe: Towards a Research Agenda. Journal of Cleaner Production. 123. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.053.

WHO (2016). Urban green spaces and health. A review of evidence. WHO Reference Number: WHO/EURO:2016-3352-43111-60341 https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345751/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341-eng.pdf?sequence=3

Zaratti, C., Brunetti, S., Fondi, V., Alisi, C., Prestileo, F., de Caro, T., Montorsi, S., Macchia, A. (2024) Luca Vitone: Monitoring of Four Living Canvases. Heritage 2024, 7, 1438–1452. https://doi.org/10.3390/heritage7030069.

Zucaro, A. Agostinho, F., 2025. Urban sustainability: challenges and opportunities for resilient and resource-efficient cities. Front. Sustain. Cities 7:1556974. doi: 10.3389/frsc.2025.1556974

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - Centro Ricerche Frascati

novembre 2026