

ARTICLE INFO

Received 15 September 2025
Revised 23 October 2025
Accepted 25 October 2025
Published 30 December 2025

AGRICOLTURA URBANA E ARCHITETTURA

L'acqua per ottimizzare la sinergia
edificio-vegetazione

URBAN AGRICULTURE AND ARCHITECTURE

Water for optimising the
building-vegetation synergies

Valentina Dessì, Matteo Clementi, Erpinio Labrozzi, Filippo Oppimitti,
Michele D'Ostuni, Chew B. Soh, Szu C. Chien, Barbara Ting W. Ang

ABSTRACT

Il paper invita a riflettere su come le pratiche sostenibili fondate sul metabolismo urbano possano generare sinergie tra gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG), proponendo un approccio metodologico per l'integrazione architettonica dell'agricoltura urbana. Al centro pone l'acqua, per connettere abitanti, ambiente costruito e aree verdi, migliorando la resilienza urbana. La metodologia procede dall'analisi alla scala di quartiere a quella dell'isolato / blocco edilizio, per definire soluzioni di agricoltura integrata in edifici a emissioni zero con l'obiettivo di chiudere i cicli energetici e idrici e contribuire agli SDG 2, 6, 11 e 12.

The paper invites reflection on how sustainable practices grounded in urban metabolism can generate synergies among the Sustainable Development Goals (SDGs). It proposes a methodological approach for the architectural integration of urban agriculture. It centres on water, to connect residents, the built environment, and green areas, thereby enhancing urban resilience. The methodology progresses from analysis at the neighbourhood scale to the block / building scale to define solutions for integrated agriculture within zero-emission buildings, aiming to close energy and water cycles and contribute to SDGs 2, 6, 11, and 12.

KEYWORDS

agricoltura urbana, produzione a emissioni zero, metabolismo urbano sostenibile, agricoltura integrata negli edifici, gestione idrica circolare

urban agriculture, zero-emission production, sustainable urban metabolism, building-integrated agriculture, circular water management

Valentina Dessì is an Associate Professor at the Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Politecnico di Milano (Italy). E-mail: valentina.dessi@polimi.it

Matteo Clementi is an Associate Professor of Architectural Technology and Environmental Design at the Politecnico di Milano (Italy). E-mail: matteo.clementi@polimi.it

Erpinio Labrozzi, PhD Candidate at the Politecnico di Milano (Italy), focuses his research on sustainable architectural and urban design. E-mail: erpinio.labrozzi@polimi.it

Filippo Oppimitti, PhD, is a Postdoctoral Researcher at the Free University of Bozen-Bolzano (Italy). He researches on XR and AI in domestic spaces. E-mail: filippo.oppimitti@polimi.it

Michele D'Ostuni, Architect, is a Researcher at the DISTAL, University of Bologna (Italy). He specialises in urban agri-food systems. E-mail: michele.dostuni@unibo.it

Chew Beng Soh is an Associate Professor at the Singapore Institute of Technology. His research focuses on compound semiconductors, light-conversion materials, and technological innovations. E-mail: chewbeng.soh@singaporetech.edu.sg

Szu Cheng Chien is an Associate Professor at the Singapore Institute of Technology. His research includes human-centric lighting, BIM management systems, and high-performance building design and diagnostics. E-mail: szucheng.chien@singaporetech.edu.sg

Barbara Ting Wei Ang is a Chemical Engineer and Researcher at the Singapore Institute of Technology (Singapore). Her research focuses on the synthesis of light-conversion materials and technological innovations. E-mail: barbara.ang@singaporetech.edu.sg



Mancano solo pochi anni alla scadenza del raggiungimento dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) e in riferimento all'SDG 6 (Acqua pulita e relativo accesso ai servizi) vari studi hanno documentato tra il 2015 e il 2024 un progresso modesto, registrando un miglioramento globale nell'accesso all'acqua dal 70% al 74% e un potenziamento dei servizi igienici dal 47% al 54% (Rajapakse, Otoo and Danso, 2023; Requejo-Castro, Giné-Garriga and Pérez-Foguet, 2020). Se tutti concordano sulla necessità di ridare slancio alle strategie per raggiungere gli obiettivi entro il 2030, è il momento di ricordare che all'avvio dell'Agenda è stata sottolineata la natura integrata e indivisibile degli SDG (UN, 2015): comprendere in che modo sono interconnessi può supportare lo sviluppo con strategie che massimizzano i benefici e le sinergie e ridurre i compromessi tra i diversi SDG (Beisheim and Weinlich, 2023; Pradhan, 2023; Nicholls et alii, 2020), spesso causa di rallentamenti nell'Agenda.

Fin dalla loro entrata in vigore un numero crescente di studi e pubblicazioni si è concentrato sull'identificazione e l'analisi delle interconnessioni tra gli SDG (Bennich et alii, 2023), ma anche su metodi, approcci e strumenti per svilupparle e ottimizzarle (Bennich et alii, 2023; Rajapakse, Otoo and Danso, 2023; Horvath, 2022; Fader et alii, 2018). Alcuni autori hanno indagato le interconnessioni con l'SDG 6, in certi casi necessarie, in altri casi auspicabili (Raman, Lathabai and Nedungadi, 2024; Bennich et alii, 2023), in quanto è uno tra gli obiettivi con il maggior numero di interazioni e sinergie positive (Fader et alii, 2018), mentre all'opposto l'SDG 2 presenta il più alto numero di interazioni negative, dovute al fatto che la produzione alimentare estensiva dipende fortemente dall'uso di altre risorse e raggiungere questo obiettivo con tecniche convenzionali, non sempre sostenibili, rischia di danneggiare gli ecosistemi (Fader et alii, 2018; FAO, 2019, 2021).

In tale ottica l'articolo offre un contributo a supporto dell'attivazione di potenziali interconnessioni positive, illustrando l'approccio metodologico sviluppato – nell'ambito dei progetti di grande rilevanza (2023-2025) – nel corso della ricerca bilaterale BIZE_UrFarm, coordinata dal Politecnico di Milano e dal Singapore Institute of Technology, con la collaborazione della Facoltà di Agraria di Bologna e finanziata in parte dal Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale e dall'Agenzia A*STAR di Singapore.

La ricerca ha sviluppato un metodo per favorire l'integrazione architettonica di pratiche di agricoltura urbana a emissioni climateranti nulle con un focus su due contesti molto diversi: Milano, caratterizzata da un clima temperato, e Singapore, che si trova in zona climatica caldo-umida. Parallelamente ha individuato, attraverso un sistema basato su un gemello digitale (Clementi et alii, 2024), soluzioni innovative per migliorare la produttività agricola di sistemi integrati nell'architettura (trattati solo parzialmente in questo articolo). Da questo approccio metodologico sono state sviluppate linee guida per offrire indicazioni a chi intende attivare un percorso di integrazione architettonica sostenibile, frutto di una valutazione sinergica di risorse e scarti, in primo luogo l'acqua, provenienti dagli ambiti interessati.

L'acqua è sempre stata associata alla crescita della materia vegetale e l'agricoltura convenzionale e industriale sono tutt'oggi le attività umane che più drenano le risorse idriche del pianeta, infatti circa il

70% delle riserve idriche disponibili vengono utilizzate per attività agricole (Kay, 2022). L'SDG 6 mira anche a strategie efficaci per un'agricoltura urbana sostenibile integrata nell'ambiente costruito; l'acqua è presente all'interno degli edifici e dovunque sia prevista la presenza di persone; la richiesta d'acqua cambia anche a seconda delle piante, della stagione e dell'orientamento dei dispositivi produttivi integrati nell'edificio, mentre a parità di utenza nel corso dell'anno il fabbisogno di acqua legato alle attività antropiche rimane pressoché costante.

Questo tema apre a diverse chiavi di lettura, riflessioni e approfondimenti a seconda del contesto al quale ci si riferisce, questo perché l'acqua sottende a tutti gli ecosistemi e attività umane. L'acqua è infatti una risorsa potenzialmente disponibile nelle città (quella piovana può essere raccolta dalle superfici impermeabili), ma rappresenta anche una delle risorse con maggiori volumi di spreco: l'acqua entra per pochi secondi in un edificio e lo lascia sotto forma di scarto, insieme ad altri rifiuti metabolici, detergenti e inquinanti. Rispetto ai target associati all'SDG 6, riferiti tanto ai Paesi del Sud globale quanto a quelli del Nord, è da rilevare che essi presentano tematiche che vanno oltre la disponibilità di acqua potabile, i servizi igienico-sanitari e l'igiene per affrontare anche la qualità e la sostenibilità nella gestione delle risorse idriche (target 6.3 e 6.4).

Alla luce di quanto sopra premesso, il presente contributo introduce l'approccio metodologico sviluppato nella ricerca BIZE_UrFarm illustrando la sequenza di analisi e l'applicazione di possibili proposte migliorative, utili per l'integrazione architettonica di dispositivi per l'agricoltura urbana in un contesto urbanizzato e in grado di intercettare interdipendenze e interazioni positive tra gli SDG 2, 6, 7, 11, 12, 13 e 15 (Basso et alii, 2023; Valente et alii, 2022; Vacanti and Leonardi, 2024; Raman, Lathabai and Nedungadi, 2024).

Dopo aver esplicitato gli obiettivi del contributo e la sua collocazione nel panorama scientifico l'articolo descrive il processo di integrazione a partire da una prima fase di analisi caratterizzata dalla mappatura di risorse e consumi idrici ed energetici alle scale di quartiere e di blocco edilizio, utilizzando dati provenienti da fonti prevalentemente aperte. A seguire si illustrano i dispositivi per l'ottimizzazione del sistema produttivo da integrare nell'edificio, per concludere con la definizione di scenari possibili per attivare molteplici benefici tra gli SDG e limitarne le interferenze secondo un modello denominato BIZEA (Building Integrated Zero Emission Agriculture).

Obiettivi, approccio metodologico e fasi della ricerca

L'agricoltura urbana rappresenta una delle possibili sintesi di aspetti ambientali, sociali e in parte economici che sono alla base dello sviluppo sostenibile, già definito alla fine degli anni '80 del secolo scorso e promosso dalle Nazioni Unite. Sono ben note ormai le ricadute positive dell'agricoltura urbana, che vanno oltre la sicurezza alimentare e incidono sul miglioramento della qualità ambientale (Deksissa et alii, 2021) e dell'infrastruttura verde urbana (Susca, Gaffin and Dell'Osso, 2011; Hung and Peng, 2017), sulla coesione sociale e sul miglioramento della qualità architettonica degli edifici, in particolare per quelle forme che maggiormente si relazionano con l'ambiente costruito, come l'Agricoltura Integrata negli Edifici (BIA – Building Integrated Agriculture). Quest'ultima prevede l'inserimento di sistemi agroproduttivi fuori-suolo ad alte prestazioni

(idroponici, aeroponici e acquaponici), all'interno di edifici, in facciata o sulla loro sommità con l'obiettivo di valorizzare le sinergie tra ambiente costruito e sistema produttivo in contesti urbani (D'Ostuni et alii, 2022).

I benefici menzionati intercettano, in forma più o meno diretta, molti dei 17 SDG (Fig. 1) e affinché si strutturino sinergie tra gli obiettivi è di fondamentale importanza mirare a forme di integrazione architettonica che consentano da un lato la riduzione delle emissioni di CO₂ (Tucci, Altamura and Pani, 2023) e degli apporti di elementi esterni al sistema (acqua, nutrienti, energia elettrica), dall'altro una simbiotica integrazione tra lo spazio fisico e le persone che usano gli edifici destinati a residenze, uffici, scuole, ecc. (Thomaier et alii, 2014; Specht et alii, 2014).

In tale ottica la ricerca BIZE_UrFarm ha sviluppato un approccio metodologico utile a ridefinire la BIA in chiave sostenibile, ovvero in chiave BIZEA (Building Integrated Zero Emission Agriculture), concetto che consente di affrontare aspetti quali la valorizzazione delle interazioni positive e la riduzione delle interferenze tra gli SDG e il riconoscimento di pratiche sostenibili di valutazione delle risorse e dei consumi basate sul metabolismo urbano (Valverde and Avilés-Palacios, 2021). In tal modo si intersecano i flussi di energia e di materia, si ottimizzano le risorse e si migliora il metabolismo urbano, riducendo gli impatti negativi sui cambiamenti climatici (Fig. 2).

Considerando che il 15-20% del cibo a scala globale viene prodotto all'interno dei contesti urbanizzati (Armar-Klemesu, 2000; Payen et alii, 2022), risulta sempre più importante osservare l'interdipendenza tra produzione sostenibile di cibo e uso dell'acqua, elemento alla base dell'agricoltura (Alcalde Sanz and Man, 2014). In relazione al fatto che l'acqua ha un elevato potenziale per contribuire a raggiungere anche gran parte degli altri obiettivi, il paper riporta un esempio di applicazione del percorso metodologico, articolato in linee guida, mirato a promuovere il sistema BIZEA.

Il tema BIZEA si declina in modi diversi a seconda del contesto al quale si applica perché risponde a esigenze sociali, ambientali ed economiche con pesi e priorità che possono cambiare in maniera consistente in base al sito, esattamente come le priorità dei 17 SDG. L'implementazione dell'approccio attraverso il percorso tracciato dalle linee guida è rivolta a cittadini, associazioni o Pubbliche Amministrazioni che intendono realizzare un'integrazione architettonica di un modello di agricoltura urbana circolare per ridurre o persino annullare i consumi di energia e di acqua provenienti dall'esterno. Il sistema integrato edificio-pianta nasce dalla sinergia tra quattro ambiti, come riportato nella Figura 3.

In BIZE_UrFarm l'ambito della zona climatica, che prende in considerazione il clima temperato (Milano) e caldo-umido (Singapore), è strettamente legato a quello delle piante orticole (che possono variare molto in base al clima e al portamento) e in parte alla tecnologia produttiva. La scelta delle piante è strettamente connessa all'edificio: un piccolo albero può essere messo a dimora in copertura e non su una facciata, dove invece è possibile prevedere una pianta rampicante o decumbente. Allo stesso modo la tecnologia produttiva, prevalentemente relativa al substrato, deve essere selezionata pensando all'elemento dell'edificio nel quale si può integra-

re: una copertura piana, una loggia o una facciata. Sulla base di questa connessione si innesta un ulteriore elemento, il dispositivo per l'ottimizzazione della produzione e del metabolismo che può essere una serra agricola in copertura, la chiusura di una loggia con funzione di serra agricola o bioclimatica, o tipologie di involucro performanti in grado di accelerare la crescita delle piante per ottenere più cicli di crescita in una stagione.

In questa fase si incrociano tipologie architettoniche e flussi di energia e materia molto differenti, perché legati alle specifiche funzioni degli edifici (diverse ad esempio quelle ad uso abitativo da quelle del terziario) e alla tipologia di utenza. Quindi nelle due sezioni che seguono si riportano la fase di mappatura dei flussi, che mette a sistema tutte le variabili presenti, e quella dell'individuazione dei dispositivi di supporto, che ottimizzano i flussi e contribuiscono

no alla riduzione dei consumi e degli scarti. La fase conclusiva del percorso indicato nelle linee guida rappresenta un supporto alle scelte progettuali di integrazione architettonica sostenibile per valutare scenari possibili che provengono da riferimenti a pratiche virtuose desunte dalla letteratura (Fig. 4).
Le immagini a supporto del testo si riferiscono ad alcuni risultati riportati su mappe elaborate in ambiente GIS di un'area localizzata a Milano (Fig. 5), individuata come caso studio per l'implementazione del processo. Il processo che guida l'integrazione architettonica intercetta le diverse scale della città e si basa su un percorso che dall'analisi delle risorse arriva all'individuazione di scenari migliorativi di integrazione architettonica dell'agricoltura a consumo zero. Al fine di illustrare le fasi principali della metodologia a supporto dell'applicazione delle linee guida, sono stati individuati due macroambiti di indagine relativi a differenti scale, quella urbana di quartiere e quella relativa all'edificio.

Analisi transcalare e mappatura delle risorse locali | Una volta identificato il contesto generale attraverso la definizione della zona climatica e delle piante orticole compatibili, si possono mappare le informazioni relative alle specificità del contesto urbano e rappresentarne le potenziali interazioni. L'acquisizione di dati ad accesso aperto su popolazione, clima (radiazione solare e piovosità) e vegetazione urbana e il loro successivo inserimento in un GIS open source (Fig. 6) consentono di integrare informazioni di contesto in un unico supporto informatico e di produrre mappe tematiche utili a verificare l'applicabilità e l'efficacia delle strategie, a loro volta archiviate con specifiche schede di approfondimento. Tale disponibilità di informazione consente anche di elaborare linee guida in grado di orientare differenti tipi di utenza (cittadini, progettisti e pianificatori) nel riconoscere le potenzialità dell'area e identificare strategie sostenibili che riducano i consumi e gli scarti del complesso sistema edificio-dispositivi produttivi. Con questo tipo di analisi è possibile concorrere al raggiungimento di diversi SDG limitandone i potenziali compromessi.

A partire dalla scala di quartiere (su una maglia di circa 1.000 x 1.000 metri, utile a evidenziare le differenze tra sezioni censuarie) si definiscono le potenzialità dell'area in termini di clima, radiazione solare e DLI (Daily Light Integral, parametro legato alle ore di luce fotosinteticamente attiva in aree specifiche), disponibilità di acqua piovana e consumi delle utenze elaborati a partire da dati statistici. La mappatura della disponibilità di risorse, in particolare dell'acqua, è un valido metodo per mettere in relazione il tessuto urbano di un quartiere con la reale disponibilità idrica, per ridurre gli impatti negativi (target 11.6) e quantificare l'acqua che si riesce a raccogliere e riutilizzare. Importanti sono quindi i dati sulla piovosità dell'area (Tab. 1), necessari per elaborare l'effettiva capacità di captazione delle superfici disponibili, a terra e in copertura (Fig. 7).
Se la scala urbana serve prevalentemente a comprendere le potenzialità del contesto nell'accogliere interventi BIZEA, il passaggio alla scala dell'isolato / blocco edilizio (200 x 200 metri) e dell'edificio stesso è necessario per determinare le reali capacità di integrazione simbiotica tra edificio-agri-

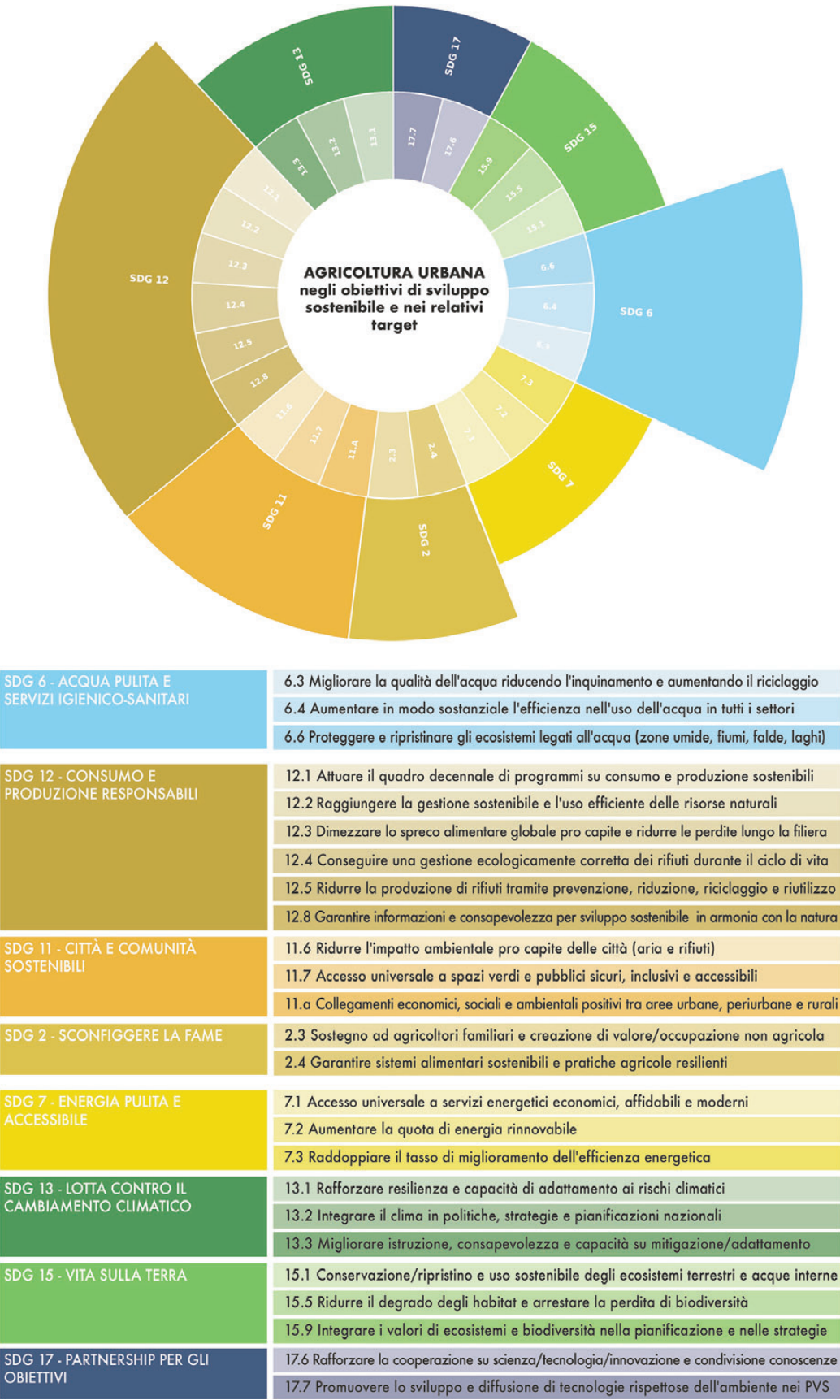


Fig. 1 | SDGs compatible with a BIZEA approach (credit: the Authors, 2025).

coltura-persone (Clementi, Pereira Guimarães and Dessi, 2024): è qui che si definiscono una serie di variabili legate al metabolismo dell'edificio-sistema produttivo e al microclima locale, attraverso la valutazione del numero di ore di soleggiamento e dell'intensità della radiazione solare sulle superfici edificate esposte e sugli spazi esterni (Fig. 8). Questa risorsa varia molto a seconda della stagione e del fronte dell'edificio da valutare, che è condizionato dall'orientamento e dalla presenza di alberi o costruzioni limitrofe.

Per la valutazione del Bilancio Idrico Urbano, utile a definire le quantità che possono essere recuperate e riutilizzate, si individuano e si elaborano le variabili utili al calcolo utilizzando mappe tematiche specifiche, organizzandole in due macrocategorie relative a input e output (Dessi and Clementi, 2023): il calcolo si basa sul principio di conservazione della massa al trasferimento dell'acqua attraverso un bacino idrografico specifico (Chrysoulakis, De Castro and Moors, 2014), secondo la formula

$$P + I + F = E + R + \Delta W + \Delta A$$

dove P è la precipitazione, I è la fornitura idrica urbana (che si stima finisca al 90% nella fognatura), F è l'acqua rilasciata a causa dell'attività umana (per esempio l'acqua di condensa dell'impianto di condizionamento), E è l'evapotraspirazione, R è il deflusso, cioè la quantità di acqua intercettata dalle superfici impermeabili negli spazi aperti, mentre ΔW è la variazione netta dell'accumulo idrico e ΔA è l'advezione netta di umidità dentro e fuori dal volume di controllo. La formula utilizzata nella mappatura riportata in questo contributo è frutto di una semplificazione, perché prende in considerazione solo elaborazioni possibili a partire dagli dati disponibili sul territorio nazionale, escludendo di fatto le variabili ΔW e ΔA (Fig. 9).

Le variabili associate al bilancio idrico sono calcolate per sezione censuaria e consentono di elaborare possibili scenari di recupero dell'acqua, mettendo a sistema in maniera sostenibile l'edificio, la vegetazione produttiva e gli abitanti, tramite l'impiego di risorse che per un ambito (per esempio il residenziale) rappresentano scarti. Tra gli scenari possibili, oltre all'uso dell'acqua raccolta dalle coperture, si possono considerare le acque grigie, che, se opportunamente trattate, possono rientrare nel ciclo produttivo vegetazionale, rinsaldando la sinergia edificio-coltivazione.

Inoltre, nello specifico caso di dispositivi produttivi idroponici, soluzioni migliorative possono essere riferite all'approvvigionamento dei nutrienti, minerali solubili in soluzioni idriche (in quantità e metodi diversi in base al tipo di sistema di coltivazione e alla specie coltivata) che, se generati dal processo di recupero della sostanza organica prodotta nell'edificio, rafforzano la simbiosi edificio-coltivazione.

Individuazione dei dispositivi di supporto all'integrazione architettonica | L'analisi effettuata alla scala urbana, di isolato e di edificio permette di valutare la potenzialità dei manufatti esistenti di integrare dispositivi per la produzione agricola e di riconoscere la reale disponibilità di risorse provenienti dall'esterno (radiazione solare, acqua piovana) e dall'edificio stesso (scarti alimentari, acqua per uso domestico e da impianti di condizionamento). Tale potenzialità trova espressione tramite l'integrazione di dispositivi di supporto ai sistemi produttivi, anche multifunzionali come le serre in copertura, con l'applicazione di specifici elementi di involucro e

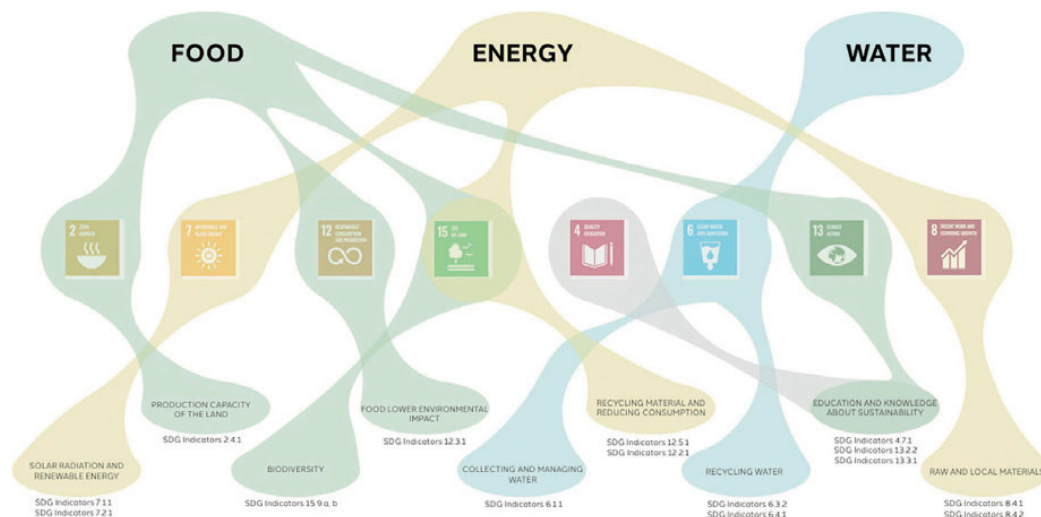


Fig. 2 | Example of SDG interconnections in a study of the metabolic system of a primary school (credit: Z. Delic and S. Fierro, 2025).

l'uso di materiali innovativi (Ang et alii, 2024). Questi sistemi possono migliorare la produttività e ridurre i consumi delle risorse non rinnovabili e al contempo migliorare le condizioni dello spazio abitato.

Un ulteriore aspetto da considerare riguarda le modalità di integrazione architettonica dell'agricoltura urbana e dei suoi dispositivi di ottimizzazione della produzione: essi rappresentano una vera e propria azione di progetto che, oltre a questioni di produzione (SDG 2) e recupero di scarti per trasformarli in nuove risorse (SDG 12), interessano direttamente la qualità architettonica dell'edificio, della città e della vita dei suoi abitanti (SDG 11).

Le modalità e le possibilità per integrare i dispositivi per la produzione agricola (vasche, serre, sistemi di irrigazione, produzione di energia, ecc.) nell'edificio sono selezionati tra i casi studio e le buone pratiche in grado di disegnare scenari migliorativi che sono riportati in schede di sintesi (Figg. 10, 11) e sono quindi parte integrante delle linee guida. In particolare le schede raccolgono informazioni su strategie, sistemi produttivi e dispositivi di supporto e possono essere utilizzate per l'integrazione di sistemi di produzione orticola in edifici di differenti tipologie e funzioni (residenze, scuole, uffici, ecc.) in diversi contesti urbani e climatici (Figg. 12, 13).

Risultati attesi | L'approccio metodologico proposto è supportato da valutazioni riportate in letteratura, ma anche da simulazioni e sperimentazioni sul campo i cui risultati confortano dal punto di vista della circolarità, con particolare riferimento all'interazione tra produzione / consumi energetici e tra approvvigionamento / consumo locale di acqua e nutrienti.

In particolare sulla base del sistema idroponico scelto, delle tecnologie applicate e dell'impianto installato, secondo Carotti et alii (2023) è possibile recuperare tra il 65 e il 96% dell'acqua utilizzata per ogni ciclo: nel caso in esame il risparmio idrico è generato dall'installazione di sistemi a ciclo chiuso che raccolgono l'acqua utilizzata e la rimettono in circolo, con le dovute precauzioni per mantenere costante la qualità ed entro i limiti dei valori di salinità e acidità per irrigare le piante. Grazie alla loro capacità di garantire un risparmio idrico significativo, di consentire un maggior controllo sulla produzione e sul raccolto e di ridurre la durata dei cicli produttivi le coltivazioni idroponiche si sono sempre più diffuse negli ultimi decenni.

Tuttavia accanto all'efficienza idrica emerge oggi un'altra questione centrale: la sostenibilità dell'approvvigionamento dei nutrienti. I principali macronutrienti impiegati in idroponica – azoto, fosforo e potassio – derivano da risorse finite e la loro estrazione o produzione è associata a significativi impatti ambientali. Il fosforo ad esempio proviene da rocce fosfatiche concentrate in poche aree del mondo (Africa e Medio Oriente), estratte con processi energivori che causano degrado del paesaggio ed elevate emissioni di CO₂ (Tervahauta, 2014; Holmes, Dang and Smith, 2019); l'azoto sintetizzato tramite il processo Haber-Bosch contribuisce a forti emissioni climalteranti e, se somministrato in eccesso, determina il fenomeno dell'eutrofizzazione delle acque; infine il potassio proviene anch'esso da estrazioni minerarie che comportano pressioni ambientali significative.

Anche in questo caso l'approccio BIZEA apre nuove possibilità, trasformando i flussi di scarto urbani in risorse per i sistemi idroponici. Recenti studi hanno dimostrato come i reflui degli edifici urbani possano essere trattati e trasformati in soluzioni nutritive per coltivazioni fuori suolo integrate nel contesto edilizio, chiudendo il ciclo dei nutrienti e riducendo la dipendenza da fertilizzanti di sintesi (D'Ostuni et alii, 2023). Sistemi di separazione alla fonte e tecnologie di trattamento innovative (come i processi di nitrificazione dei reflui) permettono di recuperare fino al 100% di fosforo e potassio e il 99% di azoto, garantendo al tempo stesso la depurazione dei reflui urbani (Magwaza et alii, 2020): tale strategia non solo riduce l'impatto ambientale rispetto ai fertilizzanti convenzionali, ma crea sinergie tra metabolismo urbano e sistemi alimentari, ponendo la coltivazione urbana, idroponica e fuori suolo al centro di strategie per la creazione di nuove relazioni metaboliche urbane che consentano un uso più efficiente delle risorse idriche in città (Zaffi and D'Ostuni, 2020).

Come accennato, il modello BIZEA valorizza le risorse che l'agricoltura urbana impiega, soprattutto quelle idriche (acqua piovana raccolta e intercettata dalle superfici impermeabilizzate) o recuperate dopo l'uso all'interno degli edifici (Ahmadi et alii, 2020), in un'ottica di produzione e consumo responsabile (SDG 12). Questa sinergia tra gli SDG 6 e 12 può determinare ulteriori sinergie con l'SDG 11, con riflessi positivi sul verde urbano (spazi verdi e pub-

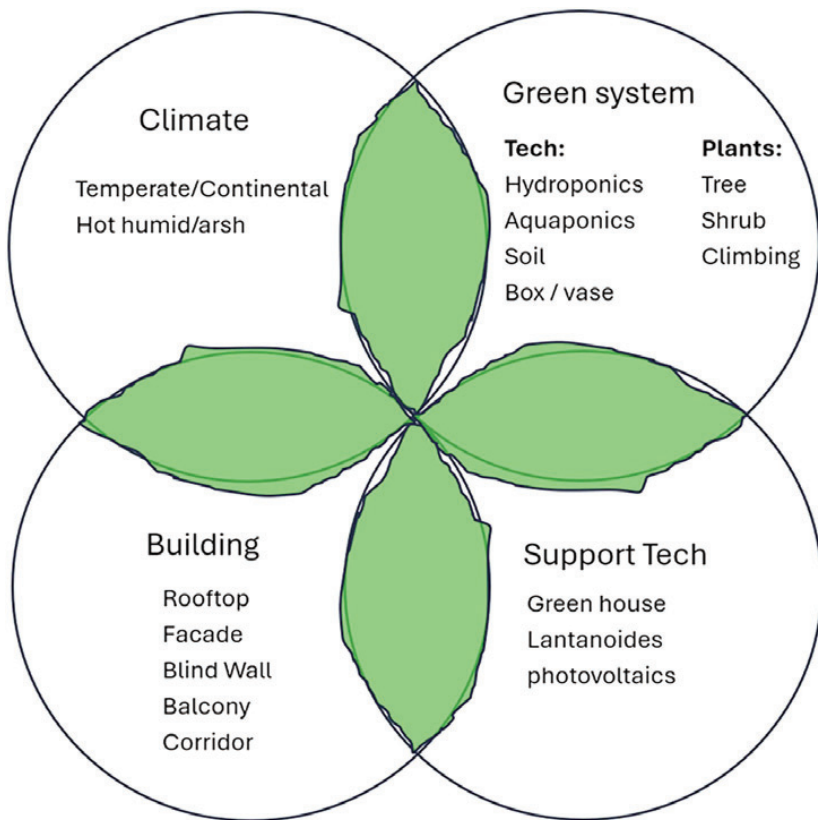


Fig. 3 | Domains involved in the BIZEA guidelines for developing a zero-emission, building-integrated urban agriculture system, highlighting the integration of climate, vegetation, the built environment, and supporting technologies for production optimisation (credit: the Authors, 2025).

blici sicuri, inclusivi e accessibili), sull'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici, con alleggerimento dei carichi delle infrastrutture grigie (Deksis et alii, 2021) e delle isole di calore urbane (Lungman et alii, 2023; Žuvela-Aloise et alii, 2016; Muñoz-Liesa et alii, 2020; Susca, Zanghirella and Del Fatto, 2023), evidenziando ulteriormente la multifunzionalità degli elementi e l'interdipendenza degli obiettivi.

Lo stesso SDG 2, che è spesso rallentato dai sistemi di produzione estensiva legati all'uso di pesticidi con ricadute negative sugli altri SDG, è in grado nell'approccio BIZEA di generare interazioni positive: l'impiego di elementi di involucro innovativi nei dispositivi per la produzione orticola, per esempio in una serra, basati sull'uso di lantanoidi, può incrementare la quantità giornaliera di radiazione solare a onda corta e regolare la temperatura dell'aria, accelerando la crescita delle piante e la loro capacità produttiva, come sperimentato presso il Singapore Institute of Technology (Ang et alii, 2024) e nella ricerca BIZE_UrFarm (Goh et alii, 2025).

Questi benefici intercettano anche altri SDG; per esempio la stessa serra integrata nella loggia di un edificio residenziale (con funzione agricola e bioclimatica) è capace di determinare rilevanti differenze di temperatura tra la serra e l'esterno, con un delta che varia a seconda della zona climatica: in una zona a clima continentale in regime invernale la differenza può raggiungere i 10 °C (Reinberg, 2006), consentendo da un lato di coltivare alcuni tipi di ortaggi anche nella stagione invernale, dall'altro di ridurre il fabbisogno energetico per il riscaldamento dell'edificio di una percentuale variabile tra il 20 e l'80% (Reinberg, 2006; Herzog, Battisti and Tucci, 2012). In tal modo si soddisfano gli SDG 7 sull'accesso alle forme di energia e 13 nell'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici.

La produzione orticola in facciata o sulla copertura modifica il ruolo dell'edificio stesso, che non interrompe più l'infrastruttura verde, ma la rafforza a

livello urbano (Susca, Gaffin and Dell'Osso, 2011); la stessa presenza di vegetazione, che rappresenta un miglioramento in termini di biodiversità per la presenza non solo di nuova flora, ma anche di microfauna, contribuisce al raggiungimento dell'SDG 15 (Lin, Philpott and Jha, 2015). Il verde multifunzionale pensato in chiave circolare genera così una relazione simbiotica tra l'edificio, i suoi utilizzatori e le piante, adeguandosi alle richieste dell'Agenda 2030 con un approccio sistemico nel quale l'attenzione agli aspetti di vulnerabilità non genera conflitti tra gli SDG.

Anche dal punto di vista della sostenibilità declinata nei tre ambiti ambientale, sociale ed economico, si può osservare che questo approccio metodologico risponde alle tre declinazioni, tenendo in considerazione non solo le capacità di ridurre il rischio di sicurezza alimentare e di incoraggiare l'autoproduzione, ma anche di ridurre gli sprechi.

Rischio di interazioni negative | L'approccio sistemico presentato, e soprattutto l'integrazione simbiotica dell'agricoltura urbana negli edifici, mettono al riparo da numerosi rischi di interazioni negative con gli SDG. In particolare pratiche agricole che richiedono elevate quantità d'acqua possono entrare in conflitto con il target 4 dell'SDG 6 che mira a incrementare l'efficienza nell'uso delle risorse idriche. Allo stesso modo l'impiego di fertilizzanti o substrati non sostenibili può compromettere il raggiungimento del target 2 dell'SDG 12 relativo al consumo e alla gestione sostenibile delle risorse naturali.

Sistemi produttivi energivori come le serre riscaldate o le colture idroponiche con elevati consumi di elettricità possono determinare un aumento delle emissioni climateranti, ostacolando i progressi verso il target 2 dell'SDG 13, che promuove l'integrazione delle misure di mitigazione nelle politiche urbane. Ulteriori criticità potrebbero insorgere con l'SDG 9 per la competizione sullo spazio necessa-

rio alle infrastrutture e nell'SDG 11 per la realizzazione di nuovi edifici residenziali. Inoltre interventi mal pianificati negli spazi verdi urbani possono ridurre la biodiversità locale, entrando in potenziale contrasto con il target 5 dell'SDG 15, orientato a proteggere gli ecosistemi terrestri. Infine permangono rischi rispetto all'SDG 16 derivanti dalla mancanza di supporto o di promozione dei sistemi virtuosi da parte delle Istituzioni, assenza che limita un processo decisionale reattivo, inclusivo e rappresentativo a tutti i livelli.

Per evitare che tali criticità si traducano in compromessi strutturali il progetto deve incorporare fin dall'origine – e non in fase avanzata – strategie di mitigazione mirate, mentre sul piano istituzionale, è necessario attivare quadri di governance che prevedano incentivi fiscali, linee guida condivise e procedure autorizzative snelle, ma ancorate a rigorosi obiettivi ambientali; percorsi partecipativi con comunità e stakeholder assicurano trasparenza e legittimazione, contribuendo a un processo decisionale inclusivo in linea con lo spirito dell'SDG 16. In questo modo l'agricoltura urbana simbiotica diventa non solo compatibile con gli altri Obiettivi, ma catalizzatrice di sinergie: riduce la domanda di risorse, crea lavoro qualificato, rinforza i servizi ecosistemici e rafforza la resilienza urbana, dimostrando che un approccio integrato può trasformare i potenziali conflitti in opportunità di sviluppo sostenibile.

Riflessioni conclusive | Il modello BIZEA, basato sulla circolarità e finalizzato a raggiungere la neutralità climatica, prevede la messa a sistema di acqua, energia e materia vegetale al fine di limitare o azzerare l'impiego di risorse esterne al sistema, intercettando prioritariamente gli SDG 2, 6, 11 e 12 e favorendone il raggiungimento. I primi risultati dello studio offrono spunti di riflessione che sembrano confermare l'efficacia dell'approccio metodologico adottato e in particolare:

– l'analisi condotta a due scale urbane complementari (quella di quartiere su una maglia di 1.000 × 1.000 metri e quella dell'isolato su una maglia di 200 × 200 metri) consente di ottenere una visione complessiva delle risorse disponibili e delle caratteristiche del contesto e al contempo di produrre la mappatura dei flussi di energia e materia in termini di disponibilità / consumi / scarti;

– la formalizzazione delle soluzioni progettuali in schede BIZEA rende possibile la formulazione di scenari comparabili e verificabili, facilmente comprensibili ai potenziali pianificatori e utilizzatori finali;

– la metodologia sviluppata, restituita in termini di linee guida utilizzabili da diverse tipologie di fruitori, è trasferibile perché si adatta a diversi contesti spesso portatori di differenti esigenze e priorità, a condizione tuttavia che vi sia disponibilità di dati locali;

– l'impiego di dati pubblici e strumenti open source (workflow GIS e tabelle parametriche) garantisce la possibilità di implementare i dati nel tempo, seppur permangano i rischi generati da assunzioni e approssimazioni e da dati secondari con risoluzioni e aggiornamenti non omogenei;

– i processi naturali, caratterizzati da una variabilità stagionale meteorologica e culturale, possono essere rappresentati in modo non corretto se l'analisi o la restituzione dei dati si riferisce a un periodo limitato, legato a una specifica fase stagionale.

Tuttavia, affinché l'approccio metodologico si diffonda e trovi applicazione, si richiama il necessario supporto delle istituzioni (ad esempio per agevolare la reperibilità, la qualità e l'aggiornamento dei dati ad accesso aperto) e il coinvolgimento delle comunità locali per migliorare la gestione dell'acqua e dei servizi igienico-sanitari. La sinergia tra stile di vita, comportamenti degli utenti di un edificio e dispositivi di autoproduzione alimentare è in grado di innescare un meccanismo di consapevolezza che porta a comportamenti virtuosi e dunque sostenibili. È proprio il coinvolgimento della comunità nei processi la chiave per imprimere una spinta al raggiungimento degli SDG, soprattutto nei sistemi urbani, dove per definizione non esistono elementi isolati ma reti di interazioni, che possono produrre sinergie o conflitti a seconda del grado di sostenibilità perseguito.

A few years remain before the deadline for achieving the 17 Sustainable Development Goals (SDGs). Regarding SDG 6 (Clean Water and Sanitation), several studies conducted between 2015 and 2024 have documented only modest progress, reporting a global improvement in access to water from 70% to 74% and an increase in sanitation services from

47% to 54% (Rajapakse, Otoo and Danso, 2023; Requejo-Castro, Giné-Garriga and Pérez-Foguet, 2020). While there is a broad consensus on the need to reinvigorate strategies to achieve the goals by 2030, it is worth recalling that, from the outset of the Agenda, the integrated and indivisible nature of the SDGs was emphasised (UN, 2015). Understanding how these goals are interconnected can support the development of strategies that maximise co-benefits and synergies while minimising trade-offs among the various SDGs (Beisheim and Weinlich, 2023; Pradhan, 2023; Nicholls et alii, 2020), which are often a considerable source of slowdowns in implementing the Agenda.

Since their adoption, a growing number of studies and publications have focused on identifying and analysing the interconnections among the SDGs (Bennich et alii, 2023), as well as on methods, approaches, and tools to develop and optimise these linkages (Bennich et alii, 2023; Rajapakse, Otoo and Danso, 2023; Horvath, 2022; Fader et alii, 2018). Several authors have examined the interconnections involving SDG 6, which in some cases are necessary and in others desirable (Raman, Lathabai and Nedungadi, 2024; Bennich et alii, 2023), as it is among the goals with the highest number of positive interactions and synergies (Fader et alii, 2018).



Fig. 4 | Template of a best-practice sheet, part of the BIZE_UrFarm guidelines, helpful in guiding BIA interventions (credit: the Authors, 2025).

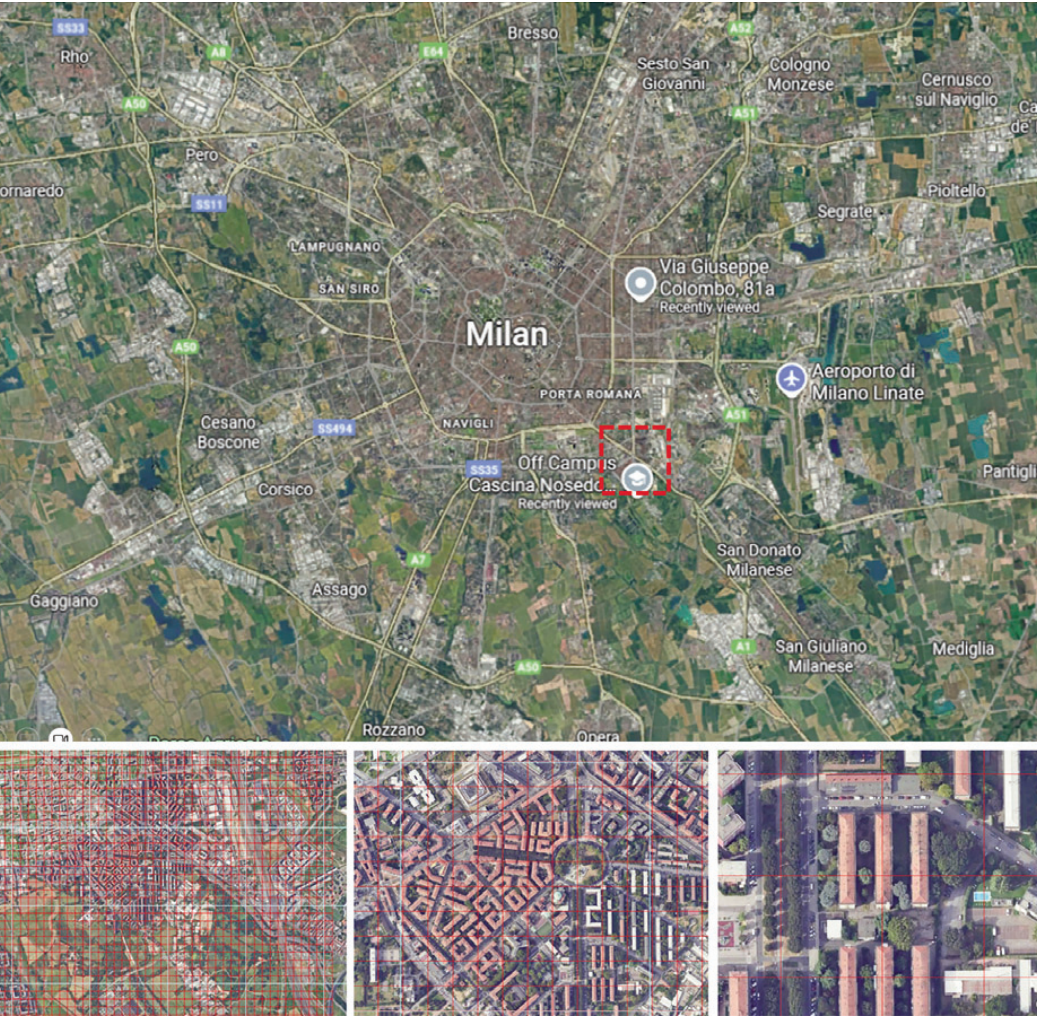


Fig. 5 | Map of the selected case study area, the Corvetto district in Milan, with extracts from 1,000 × 1,000 m and 200 × 200 m grids (credit: the Authors, 2025).



Fig. 6 | 1,000 × 1,000 m and 200 × 200 m grids overlaid on a city portion, showing the areas used for analyses appropriate to each scale (credit: the Authors, 2025).

By contrast, SDG 2 exhibits the most significant number of negative interactions, as extensive food production is heavily dependent on other resources. Achieving this goal through conventional – often unsustainable – methods risks causing significant harm to ecosystems (Fader et alii, 2018; FAO, 2019, 2021).

From this perspective, the article aims to foster potential positive interconnections by presenting the methodological approach developed under the ‘Progetti di Grande Rilevanza’ program (2023-2025), as part of the bilateral research initiative BIZE_UrFarm. This project is coordinated by the Politecnico di Milano and the Singapore Institute of Technology, in collaboration with the Faculty of Agriculture of the University of Bologna, and it is partially funded by the Italian Ministry of Foreign Affairs and International Cooperation and Singapore’s A*STAR Agency.

The research developed a method to promote the architectural integration of urban agriculture practices with net-zero greenhouse gas emissions, focusing on two markedly different contexts: Milan, characterised by a temperate climate, and Singapore, located in a hot-humid climatic zone. In parallel, through a digital twin-based system (Clementi et alii, 2024), the study identified innovative solutions to enhance the agricultural productivity of architecture-integrated systems – although these are only partially considered in this article. From this methodological approach, a set of guidelines was derived to provide insights for those aiming to initiate a process

of sustainable architectural integration, grounded in the synergistic assessment of local resources and waste flows – primarily water – originating from the contexts under consideration.

Water has always been intrinsically linked to the growth of plant matter, and conventional as well as industrial agriculture remain the human activities that most heavily deplete the planet’s freshwater resources. Approximately 70% of the world’s available water is currently used for agriculture (Kay, 2022). SDG 6 also calls for the development of effective strategies for sustainable urban agriculture integrated within the built environment. Water is present throughout buildings and wherever people are expected to be; water demand varies according to plant species, season, and the orientation of productive systems integrated into the building, whereas the water needs associated with anthropogenic activities remain relatively constant throughout the year for a given user base.

This topic allows for multiple interpretations and lines of inquiry depending on the context, as water underlies all ecosystems and human activities. Water is, in fact, a resource that can be potentially harnessed within cities – rainwater, for instance, can be collected from impermeable surfaces – yet it also represents one of the most wasted resources: it enters a building for just a few seconds before leaving it as wastewater, combined with other metabolic residues, detergents, and pollutants. With respect

to the targets associated with SDG 6, applicable to both the Global South and the Global North, it is important to note that they go beyond mere access to drinking water, sanitation, and hygiene. They also encompass the quality and sustainability of water resource management (targets 6.3 and 6.4).

In light of the above, this contribution presents the methodological approach developed within the BIZE_UrFarm research project, illustrating the sequence of analyses and the application of potential improvement strategies aimed at facilitating the architectural integration of urban agriculture systems within urbanised contexts. This integration seeks to identify and enhance positive interdependencies and interactions among SDGs 2, 6, 7, 11, 12, 13, and 15 (Basso et alii, 2023; Valente et alii, 2022; Vacanti and Leonardi, 2024; Raman, Lathabai and Nedungadi, 2024). After outlining the objectives of the study and situating it within the broader scientific context, the article describes the integration process, which begins with an analytical phase focused on mapping water, energy resources and consumption at both the neighbourhood and building-block scales, primarily utilising open-source data. It then presents the devices proposed to optimise productive systems integrated into buildings, and concludes by defining potential scenarios that generate multiple benefits across the SDGs while minimising trade-offs, based on the BIZEA (Building Integrated Zero Emission Agriculture) model.

Average 2008/2014	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOT x year
	79.9	74.1	75.7	97.4	91.8	79.9	76.4	48.1	63.2	69.1	172.2	78.8	1,006.6

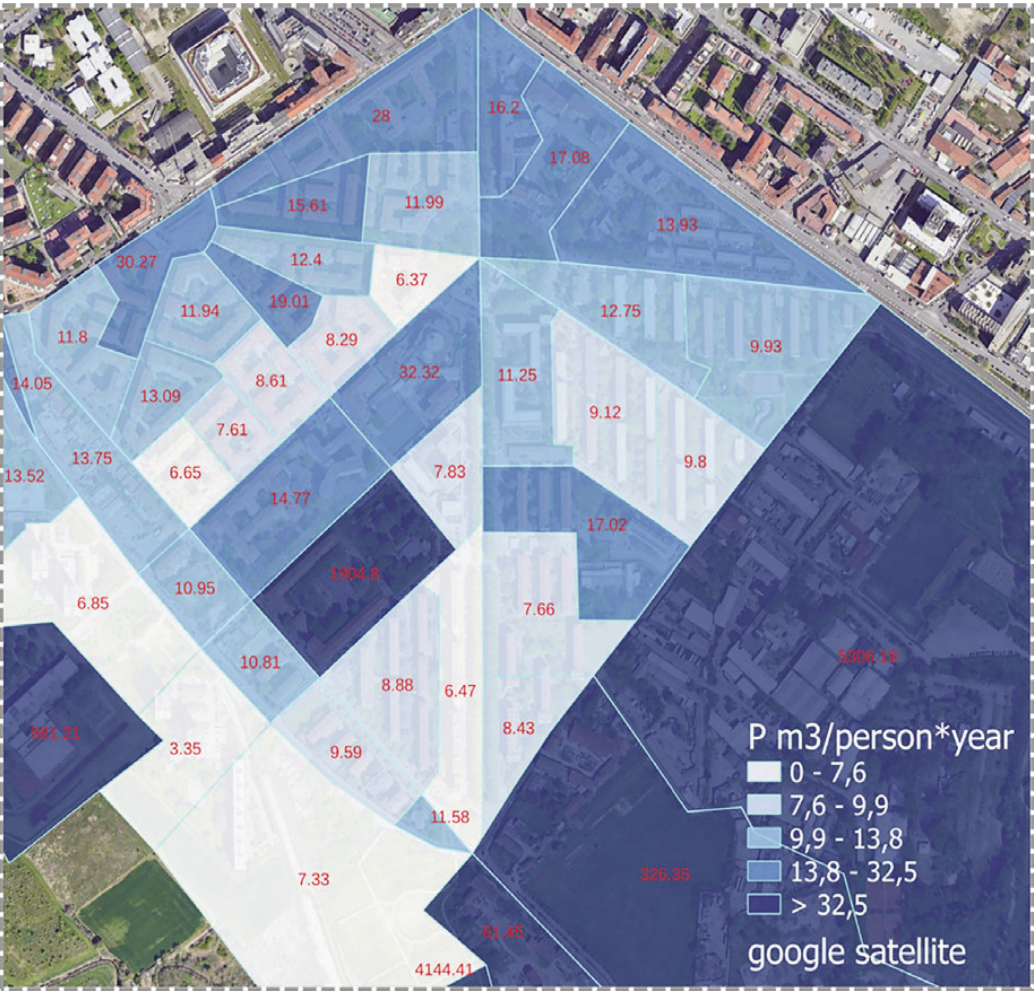




Fig. 9 | Urban block showing water distribution in terms of in-flow and consumption: numerical values in circles indicate, from top to bottom, annual cubic meters of water per section (left) and per inhabitant (right), in the order: C, I, F, and R (credit: M. Clementi and V. Dessi, 2023).

Objectives, methodological approach, and research phases

Urban agriculture represents one possible synthesis of environmental, social, and, to some extent, economic dimensions that underpin the concept of sustainable development, first articulated in the late 1980s and promoted by the United Nations. The positive impacts of urban agriculture are now well established, extending beyond food security to include improvements in environmental quality (Deksissa et alii, 2021) and the enhancement of urban green infrastructure (Susca, Gaffin and Del'Osso, 2011; Hung and Peng, 2017), as well as in social cohesion and the architectural quality of buildings – particularly in forms that interact more directly with the built environment, such as Building Integrated Agriculture (BIA). The BIA concept involves incorporating high-performance soilless agricultural systems (hydroponic, aeroponic, and aquaponic) within, on, or atop buildings to leverage synergies between the built environment and productive systems in urban contexts (D'Ostuni et alii, 2022).

The benefits mentioned above directly or indirectly intersect with many of the 17 SDGs (Fig. 1). To foster synergies among these goals, it is essential to pursue forms of architectural integration that, on the one hand, reduce CO₂ emissions (Tucci, Altamura and Pani, 2023) and the input of external resources (water, nutrients, electricity), and on the other hand, promote a symbiotic relationship between physical space and the people who inhabit buildings – whether residential, office, or educational (Thomier et alii, 2014; Specht et alii, 2014).

In this context, the BIZE_UrFarm research project has developed a methodological approach that redefines Building Integrated Agriculture (BIA) through a sustainability-oriented BIZEA (Building Integrated Zero Emission Agriculture) perspective. This approach focuses on enhancing positive interactions and reducing trade-offs among the SDGs, while identifying sustainable practices for assessing resource use and consumption in line with the principles of urban metabolism (Valverde and Avilés-Palacios, 2021). By intertwining flows of energy and materials, this methodology optimises resource use and improves urban metabolism, thereby mitigating negative impacts on climate change (Fig. 2).

Considering that 15-20% of global food production takes place within urbanised contexts (Armar-Klimesu, 2000; Payen et alii, 2022), the interdependence between sustainable food production and water use – fundamental to agriculture – has become

increasingly evident (Alcalde Sanz and Man, 2014). Given water's immense potential to contribute to achieving numerous SDGs, this paper presents an example of applying the methodological pathway, structured as a set of guidelines, aimed at promoting the BIZEA system.

The BIZEA framework can be adapted to different contexts, as it responds to social, environmental, and economic needs whose priorities may vary significantly by site – much as the 17 SDGs themselves do. The implementation of the approach, guided by the proposed set of guidelines, is aimed at citizens, associations, and public administrations interested in realising an architecturally integrated model of circular urban agriculture capable of reducing or even eliminating external energy and water inputs. The integrated building-plant system arises from the synergy among four key domains, as illustrated in Figure 3.

Within BIZE_UrFarm, the climatic zone – considering both temperate (Milan) and hot-humid (Singapore) climates – is closely linked to the horticultural domain (which varies considerably by climate and growth form) and, to some extent, to productive technology. Plant selection is intrinsically related to the building typology. For example, a small tree may be planted on a rooftop but not on a facade, where climbing or trailing plants would be more appropriate. Similarly, the productive technology, mainly concerning the substrate, must be chosen with respect to the building element into which it will be integrated – such as a flat roof, a loggia, or a facade.

Building upon this connection, an additional element is introduced: the device for optimising production and metabolism, which may consist of an agricultural greenhouse on a rooftop, the enclosure of a loggia functioning as a farming or bioclimatic greenhouse, or high-performance facade systems capable of accelerating plant growth and achieving multiple growth cycles within a single season.

At this stage, architectural typologies intersect with highly variable energy and material flows, as they are linked to the specific functions of buildings (e.g., residential versus tertiary) and to user typologies. The following two sections, therefore, present the mapping phase, which systematises all the variables involved, and the identification phase for supporting devices, which optimise flows and help reduce both consumption and waste. The final phase of the guideline-based process provides design

support for sustainable architectural integration, helping to evaluate potential scenarios derived from virtuous practices identified in the literature (Fig. 4).

The images accompanying the text refer to selected results represented on GIS-based maps of an area in Milan (Fig. 5), identified as the case study for process implementation. The process guiding architectural integration operates across multiple urban scales and is structured along a path that progresses from resource analysis to the identification of improved architectural integration scenarios for zero-consumption agriculture. To illustrate the main phases of the methodology supporting the application of the guidelines, two main fields of investigation were identified, corresponding to different scales: the urban / neighbourhood scale and the building scale.

Cross-scale analysis and mapping of local resources

Once the general context has been identified – through the definition of the climatic zone and the selection of compatible horticultural crops – it becomes possible to map the characteristics of the urban context and represent potential interactions. The acquisition of open-access data on population, climate (solar radiation and precipitation), and urban vegetation, followed by their integration into an open-source GIS platform (Fig. 6), allows for the consolidation of contextual information within a single digital framework and the production of thematic maps helpful in assessing the applicability and effectiveness of proposed strategies. These maps are subsequently archived along with detailed informational sheets.

The availability of such data also facilitates the development of guidelines to support different types of users – citizens, designers, and planners – in recognising the area's potential and identifying sustainable strategies that minimise resource consumption and waste within the complex building-productive system. This type of analysis can contribute to achieving multiple SDGs while mitigating potential trade-offs.

At the neighbourhood scale (using a grid of approximately 1,000 × 1,000 meters, suitable for highlighting differences between census tracts), the area's potential is defined in terms of climate, solar radiation, Daily Light Integral (DLI, a measure of photosynthetically active light hours in specific areas), rainfall availability, and utility consumption derived from statistical data. Mapping resource availability

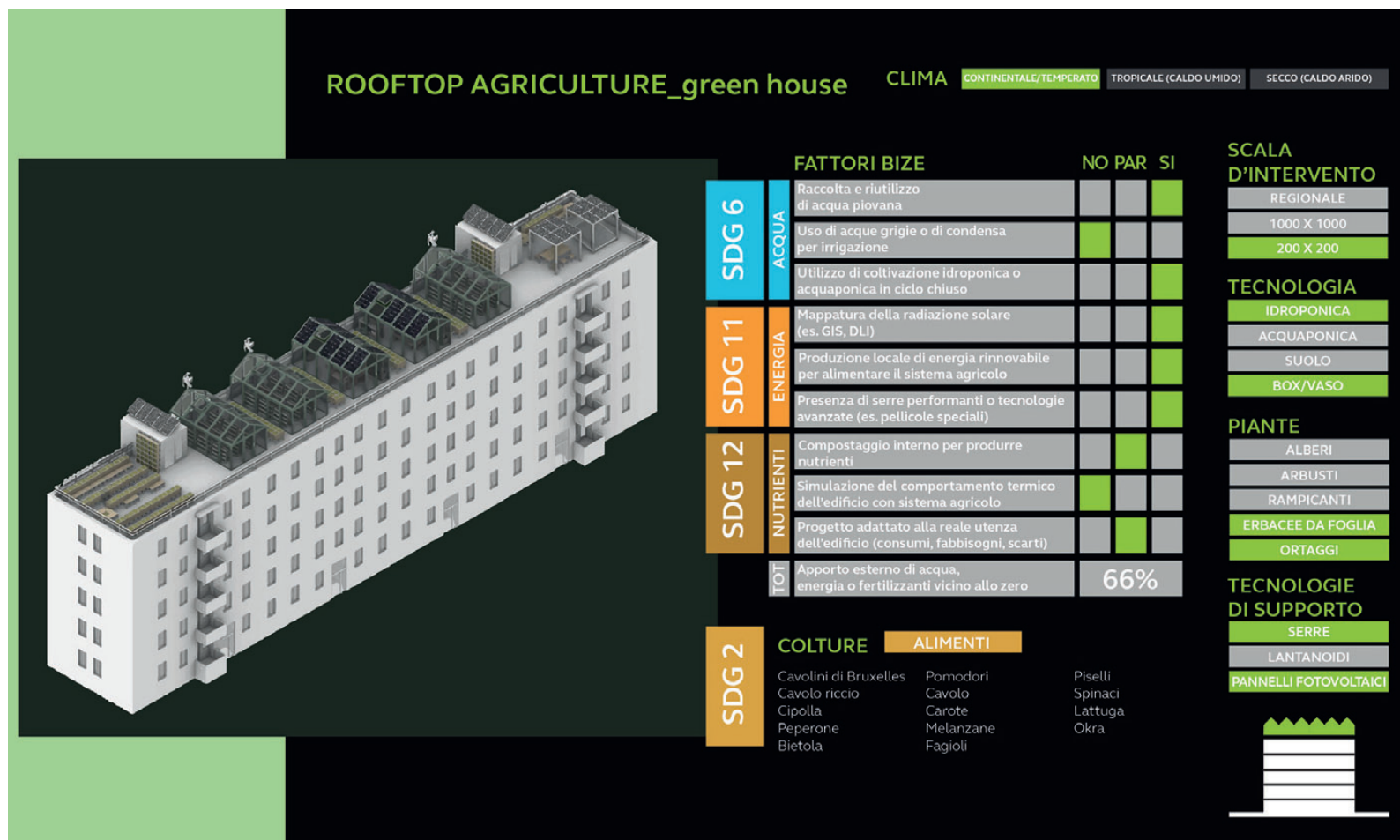


Fig. 10 | Example BIA sheet showing technological description, plant species, supporting technologies (in this case, greenhouses), and correspondence with SDGs (credit: the Authors, 2024).

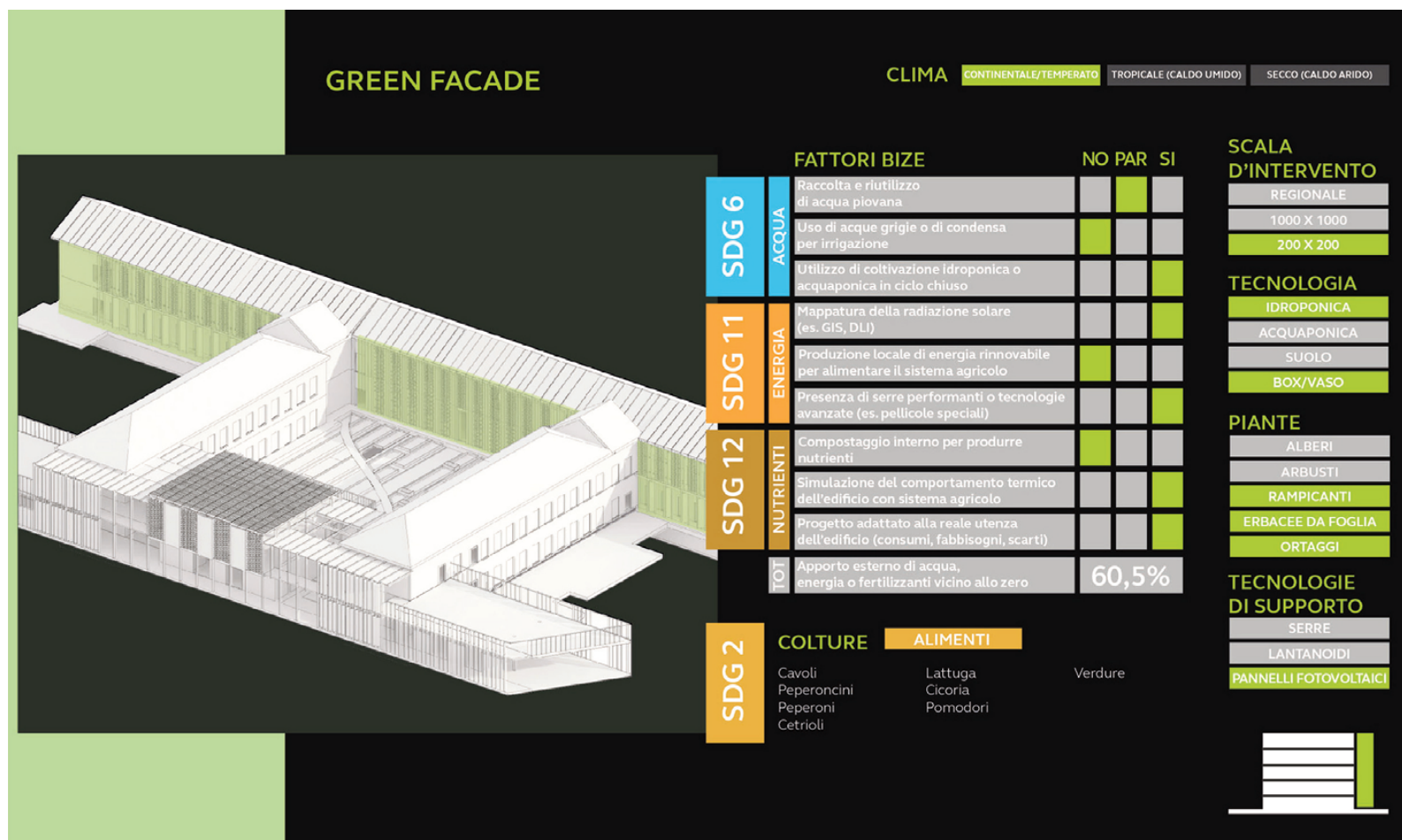


Fig. 11 | Example BIA sheet for facade-based integration, including technologies, plants, and correspondence with SDGs (credit: the Authors, 2024).

– particularly water – is a valuable method to inter-connect the urban fabric of a neighbourhood to actual water availability, reduce negative impacts (target 11.6), and quantify the volume of water that can be collected and reused. Data on local precipitation (Tab. 1) are, therefore, essential for understanding the actual capture capacity of available surfaces, both at ground level and on roofs (Fig. 7).

While the urban scale primarily serves to understand the context's potential for hosting BIZEA interventions, transitioning to the block / parcel scale (200 × 200 meters) and to the building level is necessary to determine the real capacities for symbiotic integration between buildings, agriculture, and people (Clementi, Pereira Guimarães and Dessi, 2024). At this scale, a range of variables related to the building-productive system metabolism and the local microclimate are defined, including the assessment of sunlight exposure hours and solar radiation intensity on building envelope surfaces and external spaces (Fig. 8).

These resources vary significantly depending on the season and the building facade under evaluation, which is affected by orientation and the presence of nearby vegetation or constructions. For the assessment of the Urban Water Balance, which informs the quantification of recoverable and reusable water, relevant variables are identified and processed using specific thematic maps, organised into two main categories corresponding to inputs and outputs (Dessi and Clementi, 2023). The calculation is based on the principle of mass conservation during water transfer within a watershed (Chrysoulakis, De Castro and Moors, 2014), according to the formula

$$P + I + F = E + R + \Delta W + \Delta A$$

where P represents precipitation, I the urban water supply (of which approximately 90% is estimated

to enter the sewage system), F the water released due to human activities (e.g., water condensation from air conditioning systems), E the evapotranspiration, R represents runoff, i.e., the volume of water intercepted by impermeable surfaces in open spaces, while ΔW is the net change in water storage, and ΔA the net advection of moisture into and out of the control volume. The formula applied in the mapping presented in this study represents a simplification, as it considers only the variables derived from nationally available datasets, effectively excluding ΔW and ΔA (Fig. 9).

The variables associated with the water balance are calculated at the census tract level, allowing the development of potential water recovery scenarios. These scenarios aim to sustainably integrate the building, productive vegetation, and occupants by utilising resources that, in specific contexts (e.g., residential areas), would otherwise be considered waste. Beyond rooftop-harvested water, greywater can also be considered; if appropriately treated, it can re-enter the vegetative production cycle, reinforcing the building-cultivation synergy.

In the specific case of hydroponic production systems, additional improvements can target nutrient supply – soluble minerals in aqueous solutions – which vary in quantity and application depending on the cultivation system and crop species. When nutrients are obtained from the recovery of organic matter generated within the building, this process further strengthens the symbiosis between building and cultivation.

Identification of devices supporting architectural integration | The analysis performed at urban, block, and building scales enables evaluation of existing structures' capacity to accommodate devices for agricultural production. It also facilitates the as-

essment of resources, both external (solar radiation, rainfall) and internal from the building itself (food waste, domestic water, and water condensation from air-conditioning). This potential is enhanced by integrating support devices for productive systems, such as multifunctional elements, rooftop greenhouses, specific envelope components, and innovative materials (Ang et alii, 2024). Such systems can significantly enhance productivity, reduce consumption of non-renewable resources, and simultaneously improve the quality of occupied spaces.

Another important consideration is the architectural integration of urban agriculture and the optimisation devices used to produce it. These interventions go beyond addressing production needs (SDG 2) and waste recovery for resources (SDG 12) and also have direct impacts on the architectural quality of buildings and urban environments, as well as the lives of their occupants (SDG 11).

The methods and possibilities for integrating agricultural production devices – including planters, greenhouses, irrigation systems, and energy production systems – within buildings are selected from case studies and best practices able to generate improved scenarios. These are presented in synthesis sheets (Fig. 10, 11) and form an integral part of the guidelines. Specifically, the sheets compile information on strategies, production systems, and support devices that can be applied to integrate horticultural production systems into buildings of diverse types and functions (residential, educational, office, and more) across different urban and climatic contexts (Fig. 12, 13).

Expected results | The proposed methodological approach is supported by both literature-based evaluations and field simulations and experiments, whose results are consistent with circularity princi-

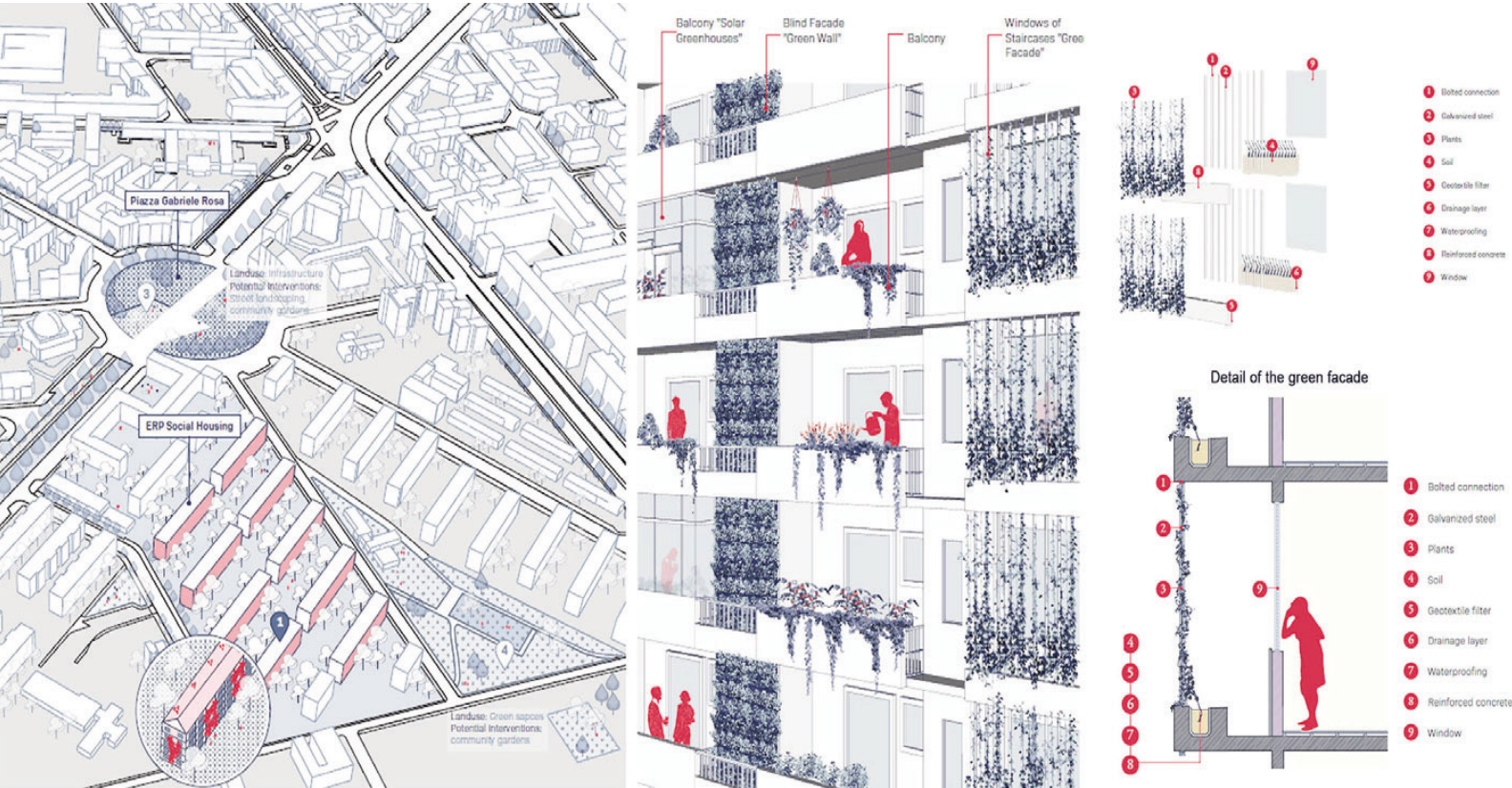


Fig. 12 | Architectural integration scenario of urban agriculture devices on the facade of a residential building (credit: S. Kelesouglu and I. H. Sreihin, 2024).

ples, particularly regarding interactions between production and energy consumption, as well as local water and nutrient supply and use. Specifically, based on the chosen hydroponic system, applied technologies, and installed facilities, Carotti et alii (2023) report that between 65% and 96% of water used per production cycle can be recovered. In this case, water saving is performed through closed-loop systems that collect and recirculate water, with appropriate precautions to maintain water quality and keep salinity and pH within acceptable limits for irrigation. Due to their ability to achieve water savings, provide greater control over production and harvest, and shorten production cycles, hydroponic cultivation systems have become increasingly widespread in recent decades.

While improving water-use efficiency, the sustainability of nutrient supply has become an equally critical issue. The main macronutrients used in hydroponics – nitrogen, phosphorus, and potassium – are derived from finite resources, and their extraction or production is associated with significant environmental impacts. For example, phosphorus is obtained from phosphate rock concentrated in a few global regions (Africa and the Middle East), extracted via energy-intensive processes that cause landscape degradation and high CO₂ emissions (Teruahauta, 2014; Holmes, Dang and Smith, 2019). Nitrogen, synthesised via the Haber-Bosch process, is a notable source of greenhouse gas emissions. Excessive application can also cause water eutrophication. Similarly, potassium is sourced from mining operations that exert considerable environmental pressure.

The BIZEA approach offers innovative solutions by transforming urban waste flows into resources for hydroponic systems. Recent studies demonstrate that urban building effluents can be treated

and converted into nutrient solutions for soilless cultivation integrated within buildings, closing nutrient cycles and reducing dependence on synthetic fertilisers (D'Ostuni et alii, 2023). Source-separation systems and innovative treatment technologies, such as effluent nitrification, permit recovery of up to 100% of phosphorus and potassium and 99% of nitrogen, while simultaneously purifying urban wastewater (Magwaza et alii, 2020). This strategy not only mitigates environmental impacts compared with conventional fertilisers but also generates synergies between urban metabolism and food systems, positioning urban, hydroponic, and soilless cultivation at the centre of strategies for creating new urban metabolic relationships and more efficient urban water use (Zaffi and D'Ostuni, 2020).

As mentioned, the BIZEA model optimises the resources employed by urban agriculture, particularly water (harvested rainwater or water recovered after use within buildings (Ahmadi et alii, 2020) from a perspective of responsible production and consumption (SDG 12). The synergy between SDGs 6 and 12 can further enhance SDG 11, with positive effects on urban greenery (safe, inclusive, and accessible green spaces), climate change adaptation, reduced burden on grey infrastructure (Deksissa et alii, 2021), and mitigation of urban heat islands (Jungman et alii, 2023; Žuvela-Aloise et alii, 2016; Muñoz-Liesa et alii, 2020; Susca, Zanghirella and Del Fatto, 2023), highlighting the multifunctionality of these elements and the interdependence of objectives.

While SDG 2 is often challenged by large-scale production systems that rely heavily on pesticides – leading to negative impacts on other SDGs, the BIZEA approach can foster positive interactions. Innovative envelope elements in horticultural production devices, such as greenhouses employing lanthanides, can increase shortwave solar radiation and

regulate air temperature, accelerating plant growth and productivity, as demonstrated at the Singapore Institute of Technology (Ang et alii, 2024) and in the BIZE_UrFarm research (Goh et alii, 2025).

These benefits extend to additional SDGs. For instance, a greenhouse integrated into a residential building's loggia (serving both agricultural and bioclimatic functions) can produce significant temperature differences between the interior and exterior, with deltas varying by climate zone. In a continental climate, winter temperatures can vary by up to 10 °C (Reinberg, 2006), enabling the cultivation of certain vegetables during winter while reducing heating energy demand by 20-80% (Reinberg, 2006; Herzog, Battisti and Tucci, 2012). This heat exchange addresses SDG 7 (access to energy) and SDG 13 (climate change adaptation).

Facade or rooftop horticultural production transforms the role of the building itself, enhancing rather than interrupting urban green infrastructure (Susca, Gaffin and Dell'Oso, 2011). The presence of vegetation, which introduces new flora and supports microfauna, contributes to SDG 15 (Lin, Philpott and Jha, 2015). Circularly designed multifunctional greenery thus creates a symbiotic relationship among the building, its occupants, and plants, addressing the 2030 Agenda with a systemic approach that ensures attention to vulnerabilities does not create conflicts among SDGs.

From an environmental, social, and economic sustainability perspective, this methodological approach meets all three dimensions. It not only enhances food security and encourages self-production but also reduces waste, embodying a holistic model of urban, circular, and integrated agriculture.

Risk of negative interactions | The systemic approach presented, and particularly the symbiotic in-

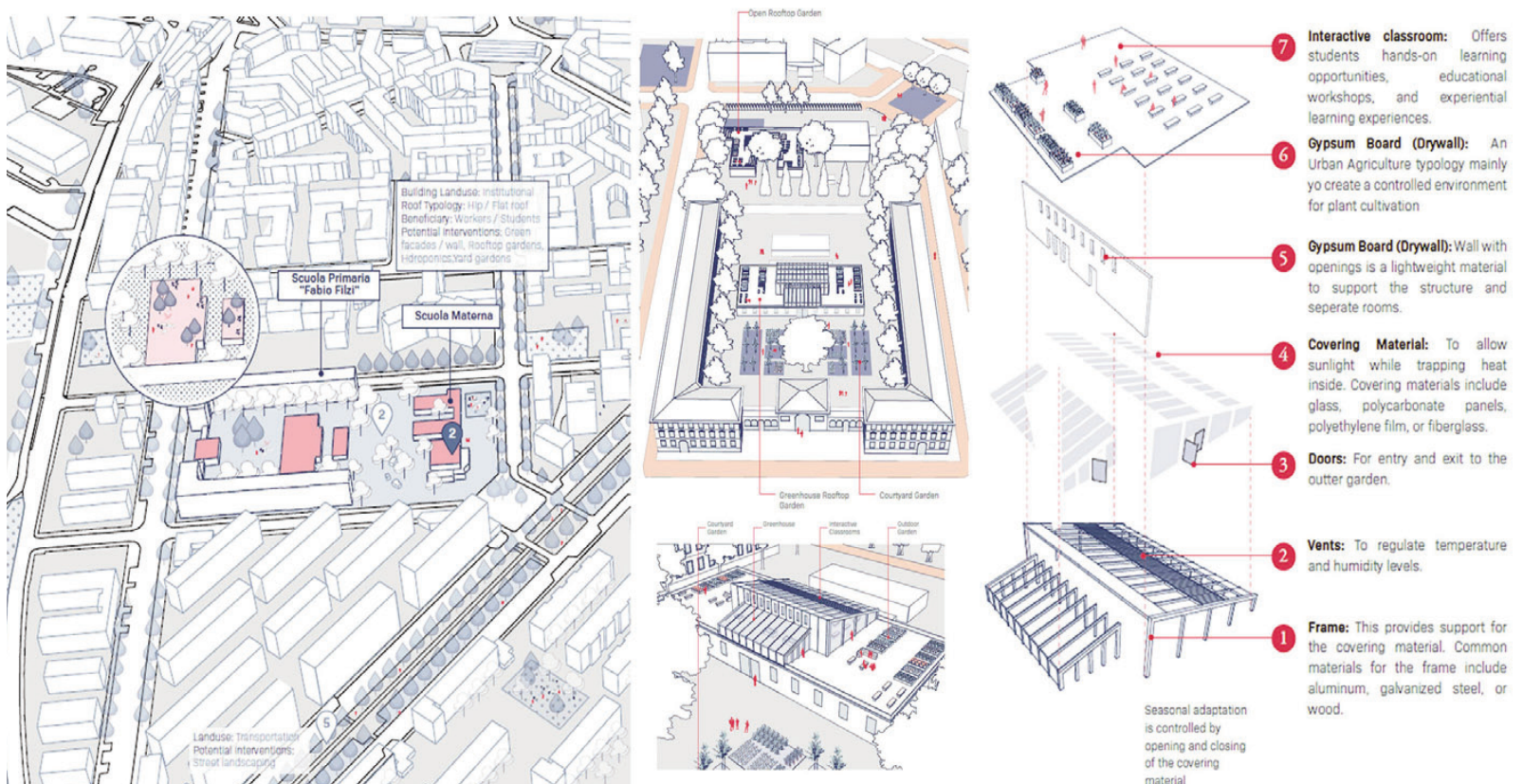


Fig. 13 | Architectural integration scenario of a greenhouse on the rooftop of a school building (credit: S. Kelesouglu and I. H. Sreihin, 2024).

tegration of urban agriculture within buildings, mitigates many potential risks of negative interactions with the SDGs. Agricultural practices requiring high water consumption, for instance, may conflict with target 6.4 of SDG 6, which aims to improve water-use efficiency. Similarly, the use of unsustainable fertilisers or substrates can undermine progress toward target 12.2 of SDG 12, concerning sustainable consumption and management of natural resources. Energy-intensive production systems, such as heated greenhouses or hydroponic cultivation with high electricity demands, may increase greenhouse gas emissions, potentially hindering progress toward target 13.2 of SDG 13, which promotes integrating climate mitigation measures into urban policies. Additional criticalities could arise with SDG 9, due to competition for space required by infrastructure, and SDG 11, in the context of new residential building developments. Poorly planned interventions in urban green spaces may also reduce local biodiversity, potentially conflicting with target 15.5 of SDG 15, which aims to protect terrestrial ecosystems. Finally, risks persist regarding SDG 16 due to insufficient institutional support or promotion of virtuous systems, which limit reactive, inclusive, and representative decision-making at all levels.

To prevent these issues from translating into structural compromises, mitigation strategies must be encompassed from the outset, rather than at advanced project stages. At the institutional level, governance frameworks should include fiscal incentives, shared guidelines, and streamlined authorisation procedures anchored in rigorous environmental objectives. Participatory processes involving communities and stakeholders ensure transparency and

legitimacy, supporting inclusive decision-making in line with the meaning of SDG 16. In this way, symbiotic urban agriculture becomes not only compatible with other SDGs but also a catalyst for synergies: it reduces resource demand, creates skilled employment, strengthens ecosystem services, and enhances urban resilience, demonstrating that an integrated approach can transform potential conflicts into opportunities for sustainable development.

Concluding reflections | The BIZEA model, grounded in circularity and aimed at achieving climate neutrality, envisions an integrated management of water, energy, and plant biomass to minimise or eliminate reliance on external resources. The model primarily targets SDGs 2, 6, 11, and 12 to facilitate their achievement. Initial results of this study offer insights that appear to confirm the effectiveness of the adopted methodological approach, particularly:

- the analysis conducted at two complementary urban scales – neighbourhood (1,000 × 1,000 meters) and block (200 × 200 meters) – provides a comprehensive overview of available resources and contextual characteristics, while also enabling the mapping of energy and material flows in terms of availability, consumption, and waste;
- the formalisation of design solutions in BIZEA sheets allows for the creation of comparable and verifiable scenarios, which are easily understandable to potential planners and end users;
- the developed methodology, presented as guidelines for a wide range of stakeholders, is transferable, as it can be accommodated to diverse contexts with differing needs and priorities, provided that local data are available;

- the use of public datasets and open-source tools (GIS workflows and parametric tables) ensures that data can be updated and expanded over time, even though risks persist due to assumptions, approximations, and secondary data with heterogeneous resolutions and update frequencies;
- natural processes, characterised by seasonal meteorological and crop variability, may be misrepresented if the analysis or data output refers to a limited period corresponding to a specific season.

However, for the methodological approach to be widely adopted and effectively applied, institutional support is essential – for instance, to facilitate access to, quality control of, and updates to open-access data – and the engagement of local communities is critical to improving water management and sanitation services. The synergy among lifestyle, occupant behaviour, and on-site food production devices can trigger awareness mechanisms that lead to virtuous and sustainable behaviours. Community involvement is thus key to advancing SDG achievement, particularly in urban systems, where elements are inherently interconnected. These networks of interactions can generate synergies or conflicts depending on the degree of sustainability pursued.

Acknowledgements

The article presents partial developments of the research project 'BIZE UrFarm – Building Integrated Zero Emission Urban Farming', jointly funded by the Italian Ministry of Foreign Affairs and International Cooperation (MAECI), Project No. SG23GR02, and the Singapore Agency for Science, Technology and Research (A*STAR) under the First Executive Programme of Scientific and Technological Cooperation (Italy-Singapore), Project No. R2310IR035.

References

- Ahmadi, E., McLellan, B., Ogata, S., Mohammadi-Ivatloo, B. and Tezuka, T. (2020), "An Integrated Planning Framework for Sustainable Water and Energy Supply", in *Sustainability*, vol. 12, issue 10, article 4295, pp. 1-37. [Online] Available at: doi.org/10.3390/SU12104295 [Accessed 17 October 2025].
- Alcalde Sanz, L. and Man, B. (2014), *Water reuse in Europe – Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation – A Synoptic overview*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2788/29234 [Accessed 17 October 2025].
- Ang, B. T. W., Fong, Y. M., Soh, C. B., Chien, S. C., An, H. and Soon Tay, R. H. (2024), "Passive Infrared-to-Visible-Light Upconversion Using NaYF₄:Yb,Er Nanoparticle Films for Greenhouse Façades", in *ACS Applied Nano Materials*, vol. 7, issue 16, pp. 18851-18860. [Online] Available at: pubs.acs.org/doi/10.1021/acsanm.4c02476 [Accessed 17 October 2025].
- Amar-Klemesu M. (2000), "Urban agriculture and food security, nutrition and health", in Bakker, N., Dubbeling, M., Guendel, S., Sabel Koschella, U. and De Zeeuw, H.

(eds), *Growing cities, growing food, urban agriculture on the policy agenda*, Feldafing, pp. 99-118. [Online] Available at: cabidigitalibrary.org/doi/pdf/10.5555/20003032308 [Accessed 17 October 2025].

Basso, S., Bisiani, T., Martorana, P. and Venudo, A. (2023), "Vertical Farm – Dalle forme dell'agricoltura nuove architetture e città | Vertical Farm – New architectures and cities from the forms of agriculture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 141-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13122203 [Accessed 17 October 2025].

Beisheim, M. and Weinlich, S. (2023), *Germany and Namibia as Co-leads for the United Nations – Chances and challenges on the road to the 2024 UN Summit of the Future*, SWP | Stiftung Wissenschaft und Politik, Berlin. [Online] Available at: doi.org/10.18449/2023C03 [Accessed 17 October 2025].

Bennich, T., Persson, Å., Beaussart, R., Allen, C. and Malekpour, S. (2023), "Recurring patterns of SDG interlinkages and how they can advance the 2030 Agenda", in *One Earth | A Cell Press Journal*, vol. 6, issue 11, pp. 1465-1476. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2023.10.008 [Accessed 17 October 2025].

Carotti, L., Pistillo, A., Zauli, I., Meneghello, D., Martin, M., Pennisi, G., Gianquinto, G. and Orsini, F. (2023), "Improving water use efficiency in vertical farming – Effects of growing systems, far-red radiation and planting density on lettuce cultivation", in *Agricultural Water Management*, vol. 285, article 108365, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.AGWAT.2023.108365 [Accessed 17 October 2025].

Chrysoulakis, N., De Castro, E. A. and Moors, E. J. (eds) (2014), *Understanding Urban Metabolism – A Tool for Urban Planning*, Routledge, Oxfordshire. [Online] Available

at: doi.org/10.4324/9781315765846108365 [Accessed 17 October 2025].

Clementi, M., Dessi, V., Podestà, G. M., Chien, S.-C., Ang, T. W. B. and Lucchi, E. (2024), "GIS-Based Digital Twin Model for Solar Radiation Mapping to Support Sustainable Urban Agriculture Design", in *Sustainability*, vol. 6, issue 15, article 6590, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su16156590 [Accessed 17 October 2025].

Clementi, M., Pereira Guimarães, M. and Dessi, V. (2024), "Mapping the climate in the urban fabric – The first step for farming the city", in *Territorio*, vol. 108-109, pp. 107-117. [Online] Available at: torrossa.com/it/resources/an/6059624?digital=true [Accessed 17 October 2025].

D'Ostuni, M., Stanghellini, C., Boedijn, A., Zaffi, L. and Orsini, F. (2023), "Evaluating the impacts of nutrients recovery from urine wastewater in Building-Integrated Agriculture – A test case study in Amsterdam", in *Sustainable Cities and Society*, vol. 91, article 104449, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.SCS.2023.104449 [Accessed 17 October 2025].

D'Ostuni, M., Zaffi, L., Appolloni, E. and Orsini, F. (2022), "Understanding the complexities of Building-Integrated Agriculture – Can food shape the future built environment?", in *Futures*, vol. 144, article 103061, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.FUTURES.2022.103061 [Accessed 17 October 2025].

Deksis, T., Trobman, H., Zendehdel, K. and Azam, H. (2021), "Integrating Urban Agriculture and Stormwater Management in a Circular Economy to Enhance Ecosystem Services: Connecting the Dots", in *Sustainability*, vol. 13, issue 15, article 8293, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13158293 [Accessed 17 October 2025].

Dessi, V. and Clementi, M. (2023), "Mapping Urban Water Balance to support the integrated design of water cycles

in the peri-urban areas”, in *Journal of Physics | Conference Series*, vol. 2600, article 172005, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1742-6596/2600/1/172005 [Accessed 17 October 2025].

Fader, M., Cranmer, C., Lawford, R. and Engel-Cox, J. (2018), “Toward an understanding of synergies and trade-offs between water, energy, and food SDG targets”, in *Frontiers in Environmental Science*, vol. 6, article 112, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.3389/FENV.2018.00112 [Accessed 17 October 2025].

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021), *The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point – Synthesis report 2021*. [Online] Available at: doi.org/10.4060/cb7654en [Accessed 17 October 2025].

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019), *FAO framework for the Urban Food Agenda – Leveraging sub-national and local government action to ensure sustainable food systems and improved nutrition*. [Online] Available at: doi.org/10.4060/ca3151en [Accessed 17 October 2025].

Goh, M. L. W., Teo, M. R. J., Wei, J. L., Ang, B. T. W., Soh, C. B., Clementi, M. and Dessi, V. (2025), “Urban microclimate modeling for side-facade farming and agrivoltaic deployment in town estates”, in *Journal of Ecoscience and Plant Revolution*, vol. 4, issue 1, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.37357/1068/JEP/4.1.01 [Accessed 17 October 2025].

Herzog, T., Battisti, A. and Tucci, F. (2012), “Sperimentazioni di housing sociale tra efficienza energetico-ambientale e basso costo | Experimentation on Social housing between energy environmental efficiency and low cost”, in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 4, pp. 343-354. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techné-11535 [Accessed 17 October 2025].

Holmes, D. E., Dang, Y. and Smith, J. A. (2019), “Nitrogen cycling during wastewater treatment”, in *Advances in Applied Microbiology*, vol. 106, pp. 113-192. [Online] Available at: doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.10.003 [Accessed 17 October 2025].

Horvath, S.-M., Muhr, M. M., Kirchner, M., Toth, W., Germann, V., Hundscheid, L., Vacik, H., Scherz, M., Kreiner, H., Fehr, F., Borgwardt, F., Gühnemann, A., Becsi, B., Schneeberger, A. and Gratzner, G. (2022), “Handling a complex agenda – A review and assessment of methods to analyse SDG entity interactions”, in *Environmental Science and Policy*, vol. 131, pp. 160-176. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.ENVSCL.2022.01.021 [Accessed 17 October 2025].

Hung, P. and Peng, K. (2017), “Green-energy, water-autonomous greenhouse system – An alternative-technology approach towards sustainable smart-green vertical greening in smart cities”, in *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, vol. 5, issue 1, pp. 55-70. [Online] Available at: doi.org/10.14246/irspds.5.1_55 [Accessed 17 October 2025].

Iungman, T., Cirach, M., Marando, F., Pereira-Barboza, E., Khomenko, S., Masselot, P., Quijal-Zamorano, M., Mueller, N., Gasparrini, A., Urquiza, J., Heris, M., Thondoo, M. and Nieuwenhuijsen, M. (2023), “Cooling cities through urban green infrastructure – A health impact assessment of European cities”, in *The Lancet*, vol. 401, issue 10376, pp. 577-589. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5 [Accessed 17 October 2025].

Kay, M. (ed.) (2022), *Improving agricultural water use efficiency and productivity in the Middle East – Pressures, status, impacts and responses*, Turkish Water Institute and SUEN, Istanbul. [Online] Available at: bluepeace.org/storage/publications/September2023/Fu7pgHvKUtvBIL8v2zmF.pdf [Accessed 17 October 2025].

Lin, B. B., Philpott, S. M. and Jha, S. (2015) “The future of urban agriculture and biodiversity-ecosystem services – Challenges and next steps”, in *Basic and Applied Ecology*, vol. 16, issue 3, pp. 189-201. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.bae.2015.01.005 [Accessed 17 October 2025].

Magwaza, S. T., Magwaza, L. S., Odindo, A. O., Mashilo, J., Mditshwa, A. and Buckley, C. (2020), “Evaluating the fea-

sibility of human excreta-derived material for the production of hydroponically grown tomato plants – Part I – Photosynthetic efficiency, leaf gas exchange and tissue mineral content”, in *Agricultural Water Management*, vol. 234, article 106114, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106114 [Accessed 17 October 2025].

Muñoz-Lies, J., Royapoor, M., López-Capel, E., Cuerva, E., Rufi-Salís, M., Gassó-Domingo, S. and Josa, A. (2020), “Quantifying energy symbiosis of building-integrated agriculture in a Mediterranean rooftop greenhouse”, in *Renewable Energy*, vol. 156, pp. 696-709. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.098 [Accessed 17 October 2025].

Nicholls, E., Ely, A., Birkin, L., Basu, P. and Goulson, D. (2020), “The contribution of small-scale food production in urban areas to the sustainable development goals – A review and case study”, in *Sustainability Science*, vol. 15, pp. 1585-1599. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11625-020-00792-z [Accessed 17 October 2025].

Payen, F. T., Evans, D. L., Falagán, N., Hardman, C. A., Koumpetli, S., Liu, L., Marshall, R., Mead, B. R. and Davies, J. A. C. (2022), “How much food can we grow in urban areas? Food production and crop yields of urban agriculture – A meta-analysis”, in *Earth's Future*, vol. 10, issue 8, article e2022EF002748, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.1029/2022EF002748 [Accessed 17 October 2025].

Pradhan, P. (2023), “A threefold approach to rescue the 2030 Agenda from failing”, in *National Science Review*, vol. 10, issue 7, article nwad015, pp. 1-3. [Online] Available at: doi.org/10.1093/NSR/NWAD015 [Accessed 17 October 2025].

Rajapakse, J., Otoo, M. and Danso, G. (2023), “Progress in delivering SDG6 – Safe water and sanitation”, in *Cambridge Prisms | Water*, vol. 1, article 6, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1017/WAT.2023.5 [Accessed 17 October 2025].

Raman, R., Lathabai, H. H. and Nedungadi, P. (2024), “Sustainable development goal 12 and its synergies with other SDGs – Identification of key research contributions and policy insights”, in *Discover Sustainability*, vol. 5, article 150, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.1007/S43621-024-00289-0 [Accessed 17 October 2025].

Reinberg, G. W. (2006), *Architecture by Georg W. Reinberg*, Alinea International, Firenze.

Requejo-Castro, D., Giné-Garriga, R. and Pérez-Foguet, A. (2020), “Data-driven Bayesian network modelling to explore the relationships between SDG 6 and the 2030 Agenda”, in *Science of The Total Environment*, vol. 710, article 136014, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.SCIOTENV.2019.136014 [Accessed 17 October 2025].

Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U. B., Sawicka, M., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Walk, H. and Dierich, A. (2014), “Urban agriculture of the future – An overview of sustainability aspects of food production in and on buildings”, in *Agriculture and Human Values | Journal of Agriculture, Food, and Human Values Society*, vol. 31, pp. 33-51. [Online] Available at: doi.org/10.1007/S10460-013-9448-4 [Accessed 17 October 2025].

Susca, T., Gaffin, S. R. and Dell'Osso, G. R. (2011), “Positive effects of vegetation – Urban heat island and green roofs”, in *Environmental Pollution*, vol. 159, issues 8-9, pp. 2119-2126. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007 [Accessed 17 October 2025].

Susca, T., Zanghirella, F. and Del Fatto, V. (2023), “Building integrated vegetation effect on micro-climate conditions for urban heat island adaptation – Lesson learned from Turin and Rome case studies”, in *Energy and Buildings*, vol. 295, article 113233, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113233 [Accessed 17 October 2025].

Tervahauta, T. H. (2014), *Phosphate and organic fertilizer recovery from black water*, Doctoral Thesis, Wageningen University, Netherlands. [Online] Available at: doi.org/10.18174/313616 [Accessed 17 October 2025].

Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U. B. and Sawicka, M. (2015), “Farming in and on urban buildings – Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming)”, in *Renewable*

Agriculture and Food Systems, vol. 30, issue 1, pp. 43-54. [Online] Available at: doi.org/10.1017/S1742170514000143 [Accessed 17 October 2025].

Tucci, F., Altamura, P. and Pani, M. M. (2023), “Modulare le dinamiche urbane in chiave climatica – Spazi intermedi e neutralità climatica | Modulating urban dynamics from a climate perspective – In-between spaces and climate neutrality”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 204-215. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14172023 [Accessed 17 October 2025].

UN – United Nations (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development – A/RES/70/1*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf [Accessed 17 October 2025].

Vacanti, A. and Leonardi, C. (2024), “Tecnologia, energia e tempi – Percorsi sperimentali per il design di tecnologie appropriate | Technology, Energy, and Time – Experimental paths for the design of appropriate technology”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 316-323. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15262024 [Accessed 17 October 2025].

Valente, R., Bosco, R., Giacobbe, S. and Losco, S. (2022), “Il progetto di infrastrutture verdi per le acque piovane – Note di metodo da un caso studio | Green stormwater infrastructures research through design – Method notes from a case study”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 192-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11172022 [Accessed 17 October 2025].

Valverde, J.-M. and Avilés-Palacios, C. (2021), “Circular Economy as a Catalyst for Progress towards the Sustainable Development Goals – A Positive Relationship between Two Self-Sufficient Variables”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 22, article 12652, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.3390/SU132212652 [Accessed 17 October 2025].

Van Puijenbroek, P. J. T. M., Beusen, A. H. W., Bouwman, A. F., Ayeri, T., Stokal, M. and Hofstra, N. (2023), “Quantifying future sanitation scenarios and progress towards SDG targets in the shared socioeconomic pathways”, in *Journal of Environmental Management*, vol. 346, article 118921, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.118921 [Accessed 17 October 2025].

Zaffi, L. and D'Ostuni, M. (2020), “Città metaboliche del futuro – Fra Agricoltura e Architettura | Metabolic cities of the future – Between Agriculture and Architecture”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 82-93. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/882020 [Accessed 17 October 2025].

Zuvela-Aloise, M., Koch, R., Buchholz, S. and Früh, B. (2016), “Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna”, in *Climatic Change*, vol. 135, pp. 425-438. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10584-016-1596-2 [Accessed 17 October 2025].