POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Nature-based Solutions per il progetto urbano

Original
Nature-based Solutions per il progetto urbano / Negrello, M., Fonsdituri, C., Busca, F., Ingaramo, R.. - In: OFFICINA. - ISSN 2384-9029. - 43:(2023), pp. 30-39. [10.57623/2384-9029.2023.43.30-39]

Availability:
This version is available at: 11583/2984439 since: 2023-12-11T09:46:08Z

Publisher:
Anteferma edizioni

Published
DOI:10.57623/2384-9029.2023.43.30-39

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

28 November 2026

Maicol Negrello
Assegnista post-doc di ricerca in Progettazione architettonica e urbana, DAD, Politecnico di Torino.
maicol.negrello@polito.it

Chiara Fonsdituri
Architetto.
chiara.fonsdituri@gmail.com

Francesco Busca
Assegnista di Ricerca post-doc, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), Politecnico di Torino.
francesco.busca@polito.it

Roberta Ingaramo
Professore associato di Progettazione architettonica e urbana, DAD, Politecnico di Torino.
roberta.ingaramo@polito.it

Nature-based Solutions per il progetto urbano



01. Vista interna di progetto area pubblica e spazi didattici | Internal View – Didactic and public spaces. *Chiara Fonsdituri*

Il caso di Torino: dalla obsolescenza alla produttività resiliente delle aree industriali

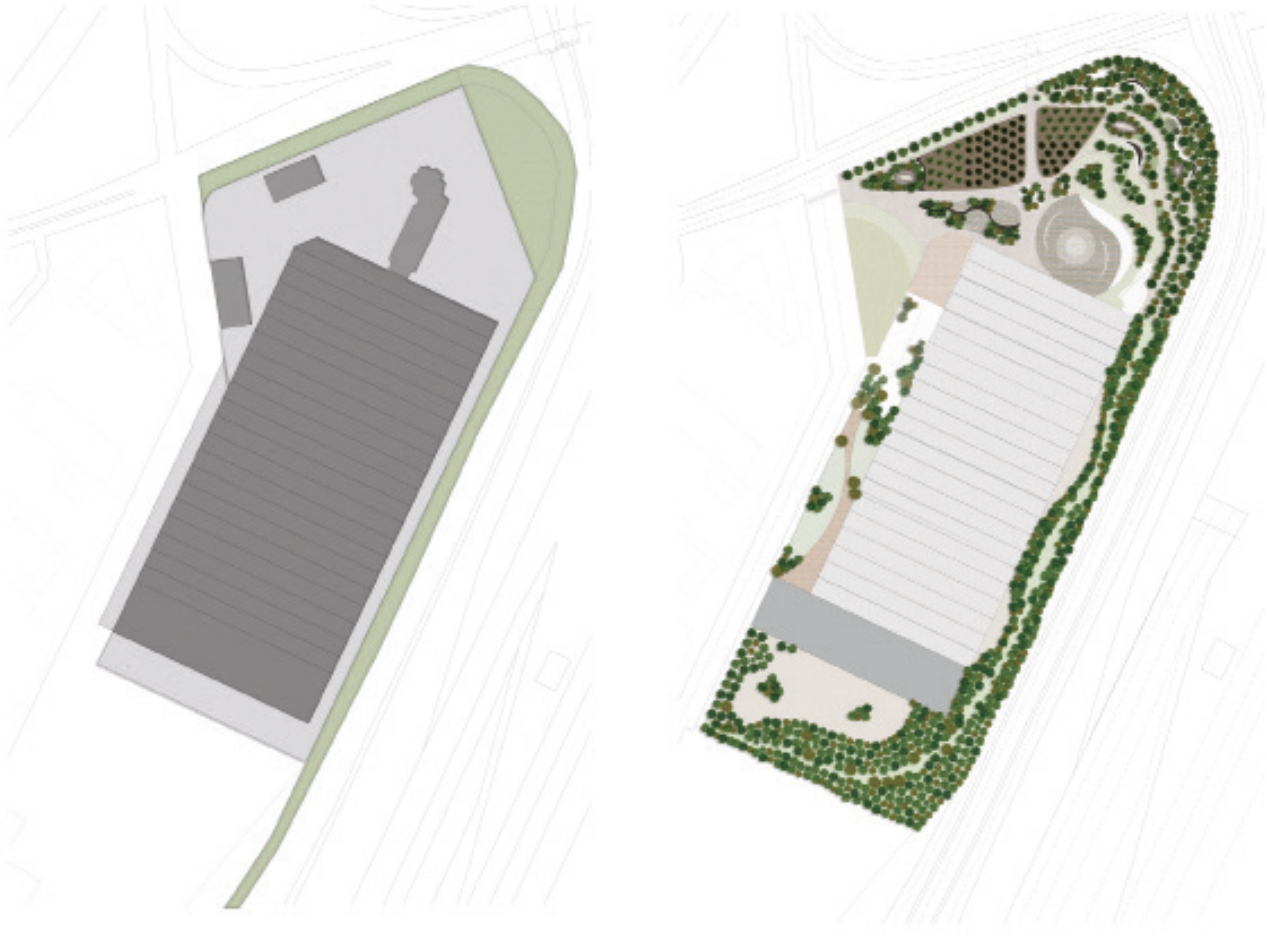


Nature-based Solutions for Urban Design
*Urban areas are strongly affected by climate change, due to high emissions of greenhouse gases. The European Union, through the New Green Deal, aims to achieve climate neutrality by 2050, also harnessing nature-based solutions. This study identifies potential ecosystemic and productive opportunities in abandoned industrial areas, proposing hybrid regeneration strategies that combine nature with innovative technologies. Finally, the ecosystem services resulting from these holistic design choices, applied to architecture and urban design, are evaluated.**

Le aree urbane sono soggette agli impatti dei cambiamenti climatici, dovuti alle elevate emissioni di gas climalteranti. L'Unione Europea, attraverso il New Green Deal, mira alla neutralità climatica entro il 2050, sfruttando anche le soluzioni basate sulla natura. Il presente studio individua nelle aree industriali dismesse un potenziale ecosistemico e produttivo, proponendo strategie di rigenerazione ibride che combinano la natura con innovative tecnologie. Infine, vengono valutati i servizi ecosistemici di queste scelte progettuali olistiche, applicate all'architettura e all'urban design.*

Introduzione

In Europa, le aree urbane ospitano il 75,2%[1] della popolazione e nel mondo esse rappresentano i principali centri di crescita, contribuendo per circa il 60%[2] al PIL mondiale (UN, 2022). Tuttavia, secondo Wolfrum (2020), l'85% di queste realtà urbane mostra una forte vulnerabilità agli effetti dei cambiamenti climatici, dei quali è in gran parte responsabile con oltre il 70% delle emissioni di gas climalteranti (GHG) (Gurney *et al.*, 2019). Inoltre, le città si configurano come cluster energivori e in parte improduttivi in termini energetici ed ecosistemici. Al fine di affrontare l'emergenza climatica, l'Unione europea (UE) ha delineato obiettivi ambiziosi all'interno del Green Deal Europeo (EGD), ovvero la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030 e la neutralità climatica entro il 2050 attraverso strategie europee condivise. Nell'ambito delle direttive e delle azioni strategiche promosse da EGD, sono stati introdotti programmi che incentivano approcci che includano la natura (*Nature-based Solutions* – NBS) all'interno della progettazione architettonica e urbana per sostenere la biodiversità (il *Nuovo Patto per gli Impollinatori*), il benessere dei cittadini e le energie rinnovabili (ad esempio, il *Clean Energy Package*). La sfida per le aree urbane consiste nello svilupparsi in accordo agli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) azzerando le emissioni. A questo proposito, l'UE ha selezionato 100 città per il progetto *Climate-neutral and smart cities* volto a raggiungere l'obiettivo di zero emissioni entro il 2030. Tale iniziativa sostiene la visione di una città più ecologica e, richiamando le teorie di Jacobs[3], di un *hub* che fornisce risorse come energia, cibo e servizi ecosistemici, incentivando nuove interazioni tra progetto urbano ed ecologia, concetto poi ripreso anche da Guallart (2014) con la proposta di *Self-sufficient City*. In questo contesto, le aree industriali dismesse, che occupano significative porzioni delle città industriali italiane (come Torino) e concorrono negativamente a incrementare gli effetti dei cambiamenti climatici, rappresentano un

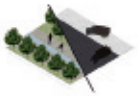
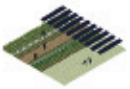


02. Planimetrie di confronto tra lo stato di fatto e di progetto dell'area oggetto di intervento | Comparison between actual site plan and project site plan. *Chiara Fonsdituri, Maicol Negrello*

ambiente dove sperimentare in modo interscalare l'integrazione di soluzioni architettoniche e urbane basate sulla natura, insieme a nuove tecnologie, volte al raggiungimento degli obiettivi europei.

Obiettivi

Il report dell'IPCC[4] riporta che solo ripensando a nuovi modi di progettazione e sperimentando soluzioni innovative si potranno ottenere esiti diversi da quelli attuali, che non integrano le NBS. Ne emerge la necessità di un cambio di paradigma: "l'intento di governare i fenomeni naturali, modellarli e assoggettarli a esigenze contingenti di breve periodo, oggi lascia il posto a un'azione che invece punta ad assecondare le dinamiche dei sistemi naturali, ne assicura il funzionamento, li accudisce e se ne prende cura" (Antonini, 2019). L'obiettivo dello studio è dimostrare come l'adozione di una progettualità olistica che integra tecnologia (*low/high*) e natura (NBS) ai tessuti industriali dismessi possa contribuire alla riconfigurazione di scenari più resilienti e produttivi. Le aree industriali, date le loro dimensioni e materialicità, sono strategiche per concorrere agli obiettivi dell'Agenda 2030: da elementi negativamente impattanti possono essere riconvertite in bacini di risorse rinnovabili, contribuendo all'adattamento e mitigazione degli effetti del cambiamento climatico e incrementando la produttività urbana e la biodiversità. È fondamentale considerare il concetto di produttività nella sua accezione più ampia, che contempla sia la produzione di beni materiali sia immateriali, i quali possono generare benefici economici diretti e indiretti. In particolare, gli effetti economici delle NBS si manifestano solo in parte sotto forma di guadagni diretti, come ad esempio la vendita di energia, prodotti agricoli, legname, crediti di carbonio, mentre in altre occasioni si presentano indirettamente, ad esempio, attraverso la riduzione dei consumi energetici, del rischio ambientale, così come anche un'educazione indiretta (*Nudging*), e altri servizi ecosistemici.

INTERVENTO	DESCRIZIONE	OBIETTIVO	SCALA DI INTERVENTO
Forestazione		- riduzione isola di calore / temperatura superficiale - stoccaggio co2 - riduzione inquinanti voc - assorbimento acque	
Agricoltura/Orticoltura Tradizionale		- produzione agricola - biodiversità - attività didattica/ educativa/ricreativa	
Rain Garden		- riduzione rischio allagamenti - biodiversità	
Bioswale		- riduzione rischio allagamenti	
Pavimentazione Drenante		- riduzione rischio allagamenti - riduzione isola di calore	
Water Square		- riduzione rischio allagamenti - spazio aggregativo	
Agrivoltaico		- produzione energia - riduzione surriscaldamento	
Tetti Verdi		- riduzione rischio allagamenti - stoccaggio co2 - biodiversità - risparmio energetico - biodiversità	
Pareti Verdi/ Seconda Pelle		- riduzione surriscaldamento - stoccaggio co2 - biodiversità - risparmio energetico - miglioramento estetico	

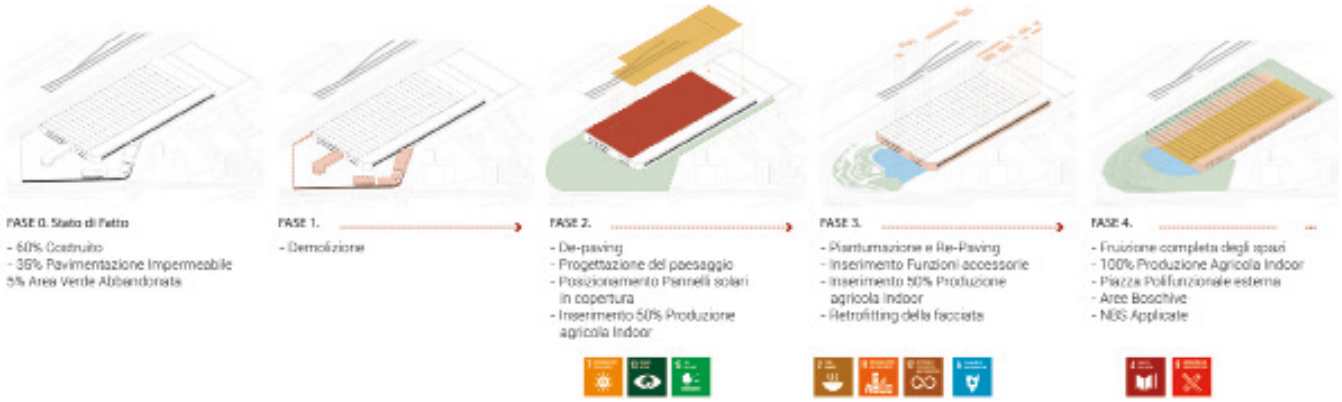
03. Tabella delle strategie NBS analizzate | NBS Strategies. *Chiara Fonsdituri, Maicol Negrello*

Approccio e metodi

La ricerca si compone di tre step principali: analisi del caso studio, applicazione delle NBS e tecnologie innovative (ad esempio agrivoltaico e l'agricoltura fuori suolo) e valutazione post-intervento.

Step 1: Lo studio è stato condotto a Torino, città selezionata per 100 *climate-neutral cities by* 2030 della Mission Board for Climate Neutral and Smart Cities. Secondo Ellena (2022), la città presenta notevoli criticità ambientali e una scarsa capacità di adattamento ai cambiamenti climatici. Legambiente (2023) riporta che Torino è una delle aree urbane europee con la peggiore qualità dell'aria e livelli elevati di CO_2. Inoltre, il 46%[5] del territorio comunale è a rischio medio/alto per l'isola di calore, soprattutto nelle aree pianeggianti più densamente edificate e impermeabilizzate, come quelle industriali. Infatti, le aree industriali, come la dismessa FAMI Centro Vendite Dirette Fiat, rappresentano punti critici a causa della mancanza di infrastrutture verdi e di superfici drenanti. Il lotto in questione, situato nel comparto Stellantis Mirafiori, è un tassello urbano totalmente impermeabile prospiciente lo svincolo autostradale, dal quale è separato da un corridoio verde disconnesso dalle trame di natura circostanti. Considerata la possibilità di localizzare innovative produzioni leggere e servizi, l'accesso all'autostrada rappresenta un elemento strategico di connessione con il centro e l'area metropolitana. Inoltre, questo lotto offre la possibilità di sperimentare diverse soluzioni NBS applicate sia all'edificio sia allo spazio circostante.

Step 2: Il progetto prevede due azioni principali: la rigenerazione dello spazio urbano e la riqualificazione e riattivazione economica e sociale dell'edificio (img. 02). Le soluzioni NBS selezionate[6] vengono raccolte in un *toolbox* progettuale che indica le diverse possibilità di applicazione rispetto agli obiettivi e alla scala di intervento (da interventi architettonici puntuali, urbani fino a quelli applicabili a scala vasta/territoriale) (img. 03). L'approccio per il proget-



04. Fasi progettuali | Planning Phases. *Fonsdituri Chiara*

to dello spazio aperto incorpora il concetto di *Continuous Productive Urban Landscape*[7] (Viljoen e Howe, 2014) e lo adatta anche alla scala dell'edificio, trattato secondo la logica del riuso adattivo. Infatti, data la crescita esponenziale delle richieste di beni ed energia e le mutevoli condizioni climatiche, sono proposte forme innovative di produzioni: agricoltura fuorisuolo (Negrello *et al.*, 2022) all'interno dell'edificio, all'esterno l'agrivoltaico, che converte i terreni circostanti sia in campi fotovoltaici sia in NBS per la biodiversità e l'agricoltura in suolo (Semeraro *et al.*, 2022). Il progetto è stato diviso in 4 fasi, ognuna delle quali è legata a SDG differenti (img. 04). Il primo intervento (fase 1) prevede la demolizione di 1.825 m^2 di superficie edificata (esterna al corpo di fabbrica principale) e la depavimentazione dell'area (22.335 m^2) (fase 2), poi convertita a verde e, per il 30%, a pavimentazione drenante ad alto albedo (fase 3) per ridurre l'effetto isola di calore (Morini *et al.*, 2016). L'area rinaturalizzata contribuisce ad aumentare la produttività energetica ed ecosistemica grazie ad aree boscate e frutteti agrivoltaici. Infatti, sono stati inseriti 1.033 alberi, di cui le specie prevalenti sono *Paulownia* (12%), *Quercus robur* (oltre il 10%), il *Tillia platyphyllos* e *Robinia pseudoacacia* (rispettivamente, entrambe oltre l'8%). Le specie sono state selezionate per la loro resistenza agli stress idrici e l'elevata capacità di stoccaggio di CO_2, oltre alla capacità di fitodepurare il terreno e assorbire gli inquinanti. Alcune specie sono state scelte per la produzione di legname da biomassa (come il *Quercus robur*), mentre altre sia per le loro qualità mellifere sia per favorire gli impollinatori (*Paulownia* e *Tillia platyphyllos* e *Robinia pseudoacacia*).

L'approccio individua strategie NBS e applicabili in tutti quegli spazi informi o "junk spaces"

La seconda azione prevede la riqualificazione, l'efficientamento edilizio e la creazione di spazi modulari flessibili (fase 4). La copertura, caratterizzata da pannelli fotovoltaici, partecipa alla decarbonizzazione del lotto grazie alla produzione di energia rinnovabile (SDG 7) e alla presenza di verde estensivo, che incrementa l'isolamento e permette l'accumulo di acqua piovana stoccata in cisterne interrate. La doppia pelle con verde pensile (img. 06), invece, riduce il surriscaldamento delle facciate e offre nuovi ambienti immersivi per gli utenti e per la biodiversità.

La *mixitè* funzionale caratterizza gli ambienti interni al fine di ampliare il ventaglio di SDG raggiungibili. Infatti, sono presenti settori dedicati all'agricoltura fuori suolo *indoor* (SDG 11, 12, 2), alle startup e alle imprese (SDG 9) (img. 07), all'educazione (SDG 4) e allo sport. Gli interni sono disegnati con elementi modulari componibili, adattabili alle esigenze dei *tenants* in base alla loro evoluzione (img. 01).

Step 3: La progettazione dello spazio esterno ha un ruolo principale nella fornitura di servizi ecosistemici. È stato possibile quantificare i benefici ambientali dell'intervento attraverso i-Tree Eco tool, una raccolta di software per l'analisi forestale e la quantificazione dei benefici urbani e rurali. È stata progettata e sviluppata dal Servizio forestale degli Stati Uniti per valutare i servizi ecosistemici specificamente forniti dalla vegetazione. Sull'area di studio è stato implementato il tool Eco, specifico per l'analisi della struttura della verde urbano e dei suoi effetti ambientali ed economici sull'ambiente circostante. Esso utilizza i seguenti dati di input: (i) località (città, popolazione, densità abitativa); (ii) dati meteorologici orari (precipitazione, temperatura, concentrazioni di inquinanti atmosferici) registrati nella stazione meteo più idonea tra quelle già implementate nel programma, e riferiti a un intero anno (nel caso specifico, il 2015 è risultato essere l'anno più recente per completezza di informazioni); (iii) dati di campo relativi

Servizi ecosistemici prodotti dall'area verde considerata, da i-Tree Eco.				
Servizio Ecosistemico		**Quantità media**	**UdM**	**Valore economico medio [€]**
Rimozione annua di inquinante atmosferico	CO	86,13	kg	95
	NO_2	127,45	kg	408
	O_3	332,24	kg	7.112
	PM2.5	16,94	kg	12.586
	PM10	110,06	kg	454
	SO_2	33,93	kg	40
Stoccaggio di Carbonio		1.520,61	t	147.012
Sequestro netto annuo di Carbonio		18,94	t	1.831
Riduzione annua di deflusso superficiale		914,30*	m^3	1.739
Produzione annua di O_2		55,68	t	-

**considerando una precipitazione di 746 mm (situazione di siccità, sotto la media annua di Torino)*

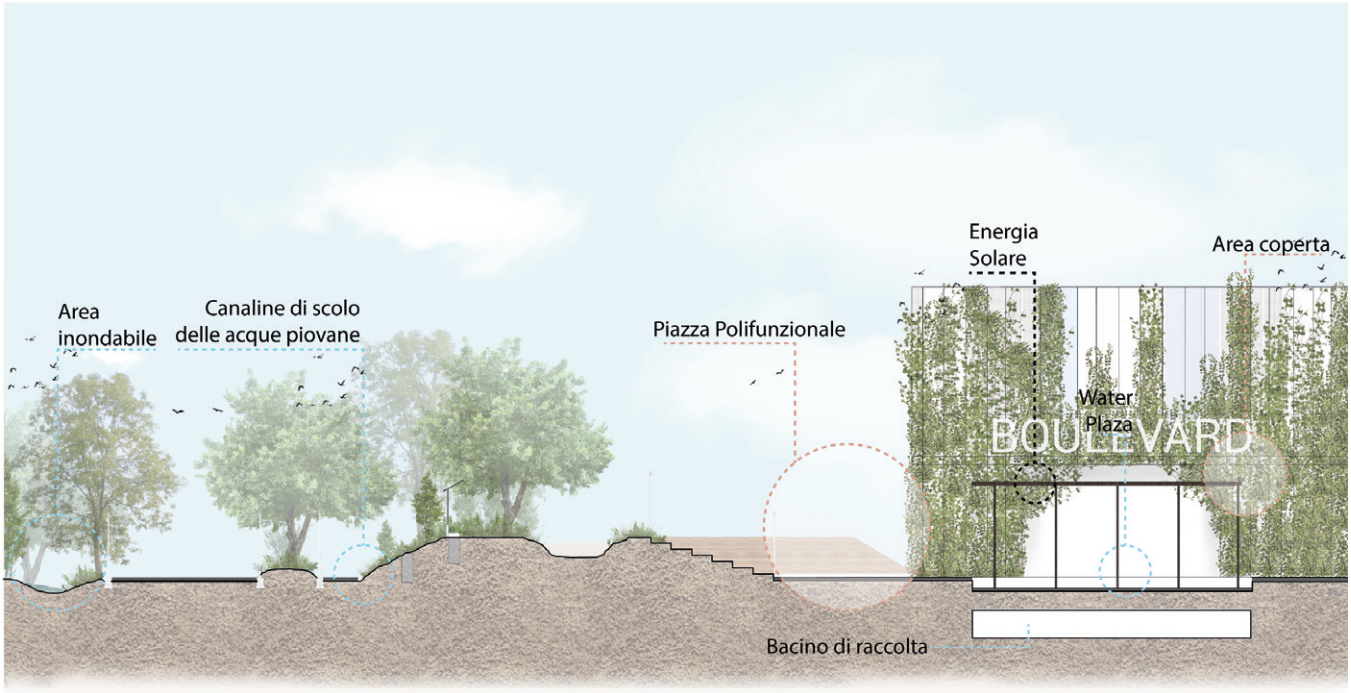
Prezzi unitari di beneficio		
Categoria	**Prezzo**	**UdM**
Carbonio**	96,68	€/t
Deflusso idrico evitato	1,902	€/m^3
Monossido di Carbonio (CO)***	997,49	€/t
Biossido di Azoto (NO_2)***	2.900,54	€/t
Ozono (O_3)***	19.419,58	€/t
Particolato 2.5 (PM2.5)***	674.096,64	€/t
Particolato 10 (PM10)***	3.738,17	€/t
Biossido di Zolfo (SO_2)***	1.056,75	€/t

**Il prezzo unitario del carbonio è stato l'unico valore modificato rispetto ai valori di default del programma, con riferimento a *EU Emissions Trading System*.

***Riferimenti: van Essen *et al.* (2011) e Nowak *et al.* (2014).

05. Tabella riassuntiva elaborazione i-Tree Eco | i-Tree Eco result scheme. *Francesco Busca*

alla popolazione arborea (specie, DBH – *diameter at breast height*, altezza media) che, in assenza di sopralluogo essendo una valutazione anterealizzazione, sono stati definiti in funzione dei valori medi per albero maturo per ciascuna specie. Nella prima tabella (img. 05) ogni servizio ecosistemico è caratterizzato dalla propria unità di misura (UdM) e dal rispettivo valore economico medio stimato annualmente. La popolazione arborea selezionata di circa 1.000 individui, raggiunta la fase adulta, produrrà ogni anno oltre 55 t di ossigeno attraverso la fotosintesi clorofilliana ed eliminerà annualmente oltre 700 kg di inquinanti atmosferici: circa metà di tale riduzione sarà composta da O_3, dannoso per la salute umana. La stima di NO_2 rimosso corrisponde all'emissione annua di 20 automobili, o di 9 case monofamiliari mentre la rimozione di SO_2 è equivalente alla produzione annua di 402 automobili (Energy Information Administration, 2013). La soluzione adottata consentirà, inoltre, di ridurre il rischio idrogeologico associato all'area: attraverso i processi idrologici di intercettazione, evapotraspirazione e infiltrazione operati dagli alberi e/o dal suolo, quasi 1.000 m^3 di deflusso idrico superficiale verrà evitato. Infine, i risultati relativi al carbonio: lo stoccaggio nell'area verde sarà di circa 1.500 t a pieno regime, con quasi 19 t di carbonio netto sequestrato ogni anno. In termini economici, il carbonio stoccato nella biomassa dell'area verde ha un valore di circa 147.000 euro, mentre la stima monetaria su base annua, che considera rimozione di inquinanti atmosferici, deflusso idrico superficiale e sequestro di carbonio, è di oltre 24.000 euro. Si sottolinea che non viene conferito un valore economico all'ossigeno in quanto presente abbondantemente in atmosfera e che la stima monetaria basata su assunzioni di prezzo unitario si riferisce esclusivamente ai servizi ecosistemici analizzati e non tiene conto dei costi di costruzione e manutenzione dell'area verde. Nello specifico, la seconda tabella (img. 05) mostra i riferimenti bibliografici utilizzati per la definizione di ciascun prezzo unitario di beneficio.



06. Sezione applicazione strategie NBS spazio esterno e in facciata | Exterior Section with NBS Strategies. *Chiara Fonsdituri*

Risultati e discussione

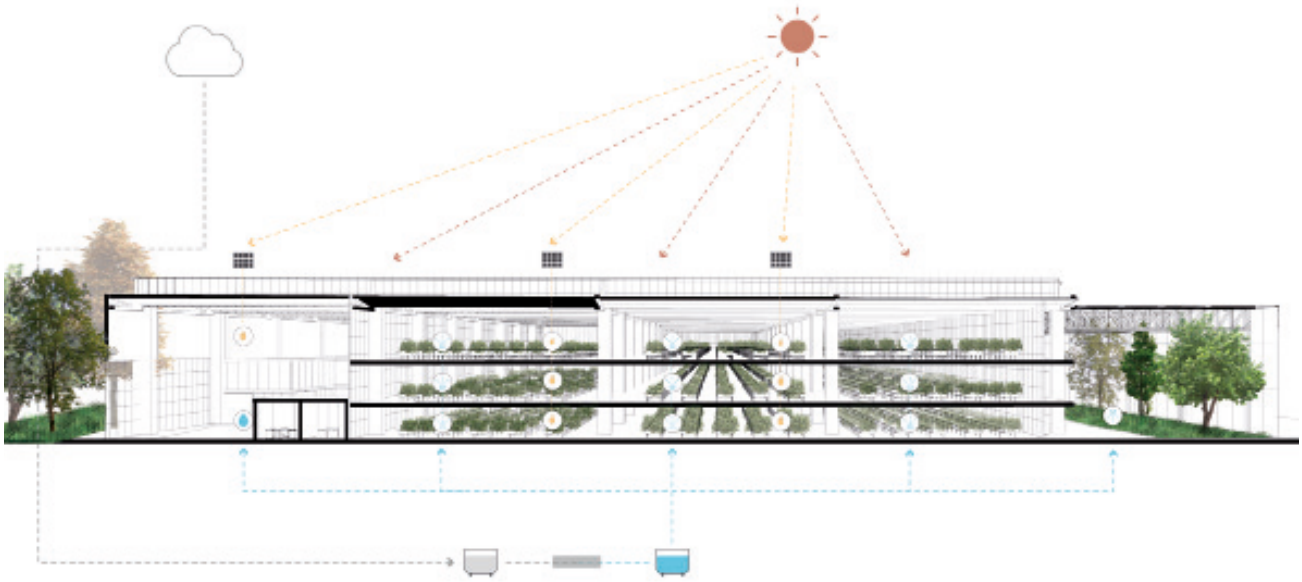
La stima dei servizi ecosistemici che il progetto potrà fornire all'ambiente circostante interessa tre principali sfere di valore: ambientale, economico e sociale. Innanzitutto, si è dimostrato come l'adozione di strategie NBS offra benefici ambientali rispetto a scelte progettuali che non considerano l'integrazione di elementi verdi, come descritto nei risultati. Inoltre, i benefici quantificati tramite lo strumento i-Tree Eco sono stati monetizzati in funzione dei costi di mercato relativamente al contesto europeo (carbonio), agli effetti sulla salute umana (inquinanti atmosferici) e ai costi di intervento post-evento (riduzione del rischio idrogeologico). Per quanto riguarda gli impatti sul microclima urbano, l'adozione di una cortina boschiva intorno all'edificio e la creazione di una copertura verde, riducono il surriscaldamento del lotto, aumentando la capacità di adattamento e riduzione del rischio di "isola di calore". Questa strategia rientra anche tra le azioni di mitigazione, poiché comporterebbe una riduzione dei consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento, e di conseguenza delle emissioni. Inoltre, l'installazione di pannelli fotovoltaici contribuirebbe a ridurre la dipendenza energetica dell'edificio dalle fonti esterne. Per quanto concerne le scelte architettoniche degli interni, la proposta di utilizzare moduli prefabbricati in materiali a basso impatto ambientale, incrementa la flessibilità degli usi e risponde alle esigenze di espansione nel tempo.

Tra i principali limiti si riscontrano ostacoli di natura economica, come i potenziali costi di bonifica che scoraggiano gli interventi di recupero delle aree industriali

Conclusioni

Lo studio presenta l'applicazione di un approccio interdisciplinare che integra soluzioni architettoniche NBS e nuove tecnologie, con l'obiettivo di riattivare aree urbane industriali e convertire il loro potenziale produttivo in un contributo concreto alla transizione ecologica. In particolare, la valutazione preventiva dei benefici delle NBS dimostra come le soluzioni architettoniche e urbane prese in considerazione contribuiscano alla riduzione di inquinanti e CO_2, nonché all'assorbimento delle acque meteoriche. Tali scelte non solo migliorano la qualità degli spazi urbani, favorendo la biodiversità, ma anche esprimono e promuovono i valori del New European Bauhaus, rispondendo ai principali obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG). L'approccio individua strategie replicabili – in modo *site-specific* – anche per quei luoghi considerati "non luoghi" o "*junk spaces*", citando Koolhaas, che possono diventare nuovi nodi in una rete ecologica resiliente e interconnessa.

L'innovazione di questa sperimentazione risiede anche nel processo proposto. Oltre all'introduzione di soluzioni innovative applicate all'architettura e agli spazi aperti, viene proposta una valutazione preliminare per illustrare i benefici derivanti dall'adozione delle NBS. In questo modo,



07. Sezione Interna dell'edificio con applicazione strategie NBS | Internal section with NBS strategies. *Chiara Fonsdituri*

si dimostra che l'integrazione della natura nel progetto di rigenerazione non rappresenta solo un beneficio ambientale per gli utenti e la biodiversità, ma anche un'opportunità economica per lo sviluppatore o il proprietario (sia esso privato o pubblico), ad esempio attraverso la possibilità di ottenere crediti di carbonio.

Il *toolbox* illustrato può rappresentare un elemento utile per potenziare gli strumenti attuativi dei piani di resilienza, adattamento e mitigazione, ancora carenti e poco efficaci, come nel caso del Piano di Resilienza di Torino.

Tuttavia, la ricerca evidenzia alcune limitazioni che non sono state approfondite nello studio presentato. Tra i principali limiti si riscontrano ostacoli di natura economica, come i potenziali costi di bonifica che scoraggiano gli interventi di recupero delle aree industriali, e barriere normative, come la mancanza di regolamentazioni che promuovano la valorizzazione e la monetizzazione dei benefici a lungo termine dei servizi ecosistemici delle NBS, nonché la mancanza di prescrizioni che impongano l'adozione di soluzioni basate sulla natura, ove possibile. Inoltre, in Italia, gli attuali strumenti di pianificazione urbanistica non risultano spesso aggiornati alle criticità attuali e alle direttive europee in materia di resilienza ed ecologia urbana, configurandosi come un limite alla sperimentazione e all'innovazione per le soluzioni basate sulla natura.*

NOTE

1 – Dato individuato da UN – United Nations Population Division (2018).
2 – Secondo i dati raccolti da UN – United Nations (2022) nel report relativo al "Goal 11 – Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable"
3 – In questo caso ci si riferisce allo storico testo del 1961, *The Death and Life of Great American Cities*.
4 – Si fa riferimento al report Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change prodotto da IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change.
5 – Dati presenti nel Piano di Resilienza ai Cambiamenti Climatici di Torino, 2020.
6 – Si fa riferimento alle soluzioni individuate ufficialmente dalla Commissione europea con la pubblicazione "Evaluating the impact of nature-based solutions – A handbook for practitioners" del 2021.
7 – Il concetto di paesaggio urbano produttivo continuo rappresenta un'infrastruttura verde produttiva che connette in modo continuo spazi urbani e architettura a tasselli periurbani verdi. Questi tasselli sono spazi potenzialmente produttivi in termini agricoli ed ecosistemici.

BIBLIOGRAFIA

– Antonini, E. (2019). Uncertainty, fragility, resilience, *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 6 (online), pp. 6-13.
– Ellena, M., Ballester, J., Costa, G., & Achebak, H. (2022). Evolution of temperature-attributable mortality trends looking at social inequalities: an observational case study of urban maladaptation to cold and heat, *Environmental Research*, 214, 114082.
– Energy Information Administration. (2013). *CE2.1 Fuel consumption totals and averages, U.S. homes.* Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
– Gurney, K.R., Patarasuk, R., Liang, J., Song, Y., O'keeffe, D., Rao, P., Miller, C. (2019). The Hestia fossil fuel CO_2 emissions data product for the Los Angeles megacity (Hestia-LA). *Earth System Science Data*, 11(3), pp. 1309-1335.
– Guallart, V. (2014). *The Self-Sufficient City: Internet has changed our lives but it hasn't changed our cities, yet*. Barcelona: Actar Publishers.
– Legambiente (2023). Mal'Aria (online). In legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/Rapporto_Malaria_2023.pdf (ultima consultazione marzo 2023).
– Morini, E., Touchaei, A.G., Castellani, B., Rossi, F., Cotana, F. (2016). The impact of albedo increase to mitigate the urban heat island in Terni (Italy) using the WRF model. *Sustainability*, n. 10, p. 999, doi.org/10.3390/su8100999.
– Negrello, M., Roccaro, D., Santus, K., Spagnolo, I. (2022). The Resilience of urban agriculture in the European context. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 11, pp. 74-83.
– Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, pp. 119-129, doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028.
– Semeraro, T., Scarano, A., Santino, A., Emmanuel, R., Lenucci, M. (2022). An innovative approach to combine solar photovoltaic gardens with agricultural production and ecosystem services. *Ecosystem Services*, n. 56, 101450, pp. 1-14.
– Viljoen, A., Howe, J. (2012). *Continuous productive urban landscapes*. Londra: Routledge.
– Van Essen, H., Schroten, A., Otten, M., Sutter, D., Schreyer, C., Zandonella, R., Maibach, M., Doll, C. (2011). *External Costs of Transport in Europe*. Netherlands: CE Delft, p. 161.
– Wolfrum, M. (2020). Why cities will be key for achieving the EU's new emissions target. *CDP Worldwide (Europe) gGmbH.*



Maicol Negrello, Chiara Fonsdituri, Francesco Busca, Roberta Ingaramo

Nature-based Solutions for Urban Design

The case of Turin: from obsolescence to resilient productivity in industrial areas

Introduction

In Europe, urban areas host 75.2%[1] of the population and globally they are the main centres of growth, contributing to approximately 60%[2] of the world's GDP (UN, 2022). However, according to Wolfrum (2020), 85% of these urban realities exhibit high vulnerability to the effects of climate change, for which they are largely responsible, accounting for over 70% of greenhouse gas (GHG) emissions (Gurney *et al.*, 2019). Furthermore, cities are characterized as energy-intensive clusters and partially unproductive in terms of energy and ecosystems. To address the climate emergency, the European Union has outlined ambitious goals within the European Green Deal (EGD), including a reduction of at least 55% in greenhouse gas emissions by 2030 and climate neutrality by 2050 through shared European strategies.

Within the directives and strategic actions promoted by the EGD, programs have been introduced to incentivize approaches that incorporate nature-based solutions (NBS) in architectural and urban design to support biodiversity (such as the New Pact for Pollinators), citizen well-being, and renewable energies (e.g., the Clean Energy Package). The challenge for urban areas lies in developing in line with the sustainable development goals (SDGs) and achieving zero emissions. In this regard, the European Union has selected 100 cities for the Climate-neutral and Smart Cities project, aiming to achieve the goal of zero emissions by 2030. This initiative supports the vision of a greener city and, drawing on Jacobs'[3] theories, an urban hub that provides resources such as energy, food, and ecosystem services, encouraging new interactions between urban design and ecology, a concept also echoed by Guallart (2014) with the proposal of the Self-sufficient City.

In this context, disused industrial areas, which occupy significant portions of Italian industrial cities like Turin and contribute negatively to the effects of climate change, represent an environment where the integration of nature-based architectural and urban solutions, together with new technologies, can be experimentally implemented, aiming to achieve European objectives.

Targets

The IPCC[4] report states that only by rethinking new design approaches and experimenting with innovative solutions we can achieve outcomes different from the current ones, that do not integrate NBS. This affirmation highlights the need for a paradigm shift: "The intention to govern natural phenomena, mould them, and subject them to short-term contingencies now gives way to an action that aims to align with the dynamics of natural systems, ensuring their functioning, caring for them, and nurturing them" (Antonini, 2019). The research aims to demonstrate how a holistic approach that integrates technology (low/high) and nature-based solutions into disused industrial areas can contribute to reconfiguring more resilient and productive scenarios. Industrial areas, given their size and materiality, are strategic in achieving the goals of 2030 Agenda: from being negatively impactful elements, they can be transformed into reservoirs of renewable resources, contributing to the adaptation and mitigation of the effects of climate change while enhancing urban productivity and biodiversity.

It is essential to consider a broader concept of productivity, encompassing both the production of material and immaterial goods, which can generate direct and indirect economic benefits. In particular, the economic effects of NBS are manifested partially through direct gains, such as the sale of energy, agricultural products, timber, and carbon credits, while in other instances, they occur indirectly, for example, through the reduction of energy consumption, environmental risk, as well as indirect education (nudging), and other ecosystem services.

Approach and methods

The research consists of three main steps: case study analysis, application of nature-based solutions (NBS) and innovative technologies (such as agrivoltaics and soilless agriculture), and post-intervention evaluation.

Step 1: The study was conducted in Turin, a city selected for the "100 climate-neutral cities by 2030" initiative by the Mission Board for Climate-Neutral and Smart Cities. According to Ellena (2022), the city faces significant environmental challenges and has a limited capacity to adapt to climate change. Legambiente (2023) reports that Turin is one of the European urban areas with the worst air quality and high levels of CO_2. Moreover, 46%[5] of the municipal territory is at medium/high risk for heat islands, especially in densely built and impermeable flat areas, such as industrial areas. The FAMI Centro Vendite Dirette Fiat represent a case study for its characteristics: lack of green infrastructure and draining surfaces. The plot in question, located in the Stellantis Mirafiori district, is an impermeable urban segment facing the highway junction, separated from the surrounding natural areas by a disconnected green corridor. Considering the possibility of locating innovative light industries and services, highway access is a strategic element for connectivity with the city centre and the metropolitan area. Furthermore, this plot offers the opportunity to experiment with various NBS solutions applied to the building and the surrounding space.

Step 2: The project involves two main actions: urban space regeneration and the refurbishment of the building for economic and social purposes (img. 02). The selected nature-based solutions (NBS)[6] are collected within a design toolbox that outlines the various possibilities of application concerning objectives and the scale of intervention (ranging from specific architectural interventions, urban interventions, to those applicable at a large/territorial scale) (img. 03). The approach for the open space design incorporates the concept of a Continuous Productive Urban Landscape[7] (Viljoen and Howe, 2014) and adapts it to the scale of the building, according to an adaptive reuse approach. In fact, given the exponential growth in demand for goods and energy and the changing climatic conditions, innovative forms of production are proposed: soilless agriculture (Negrello *et al.*, 2022) within the building and agrivoltaics outside, which converts the surrounding land into both photovoltaic fields and NBS for biodiversity and

soil-based agriculture (Semeraro *et al.*, 2022). The project is composed of four phases, each linked to different Sustainable Development Goals (SDGs) (img. 04). The first intervention (Phase 1) involves the demolition of 1,825 m^2 of built area (external to the main building) and the removal of pavement from the area (22,335 m^2) (Phase 2), which is then converted into green space, for 30% of it, into high-albedo permeable pavement (Phase 3) to reduce the heat island effect (Morini *et al.*, 2016). The renaturalized area contributes to increased energy and ecosystem productivity through wooded areas and agrivoltaic orchards. In fact, 1033 trees have been planted, with the predominant species being *Paulownia* (12%), *Quercus robur* (over 10%), *Tillia platyphyllos*, and *Robinia pseudoacacia* (both over 8%). The species have been selected for their resistance to water stress, high CO_2 storage capacity, phytodepuration ability, and pollutant absorption. Some species were chosen for biomass timber production (such as *Quercus robur*), while others for their nectar-producing qualities and to support pollinators (*Paulownia* and *Tillia platyphyllos*, and *Robinia pseudoacacia*). The second action involves the refurbishment, energy efficiency improvements, and creation of flexible modular spaces (Phase 4). The roof, characterized by photovoltaic panels, contributes to the decarbonization of the site through renewable energy production (SDG 7) and the presence of extensive greenery, which enhances insulation and allows the storage of rainwater in underground tanks. The double-skin façade with green roofs (img. 06), on the other hand, reduces the overheating of the building and provides immersive environments for users and biodiversity.

Functional mixed characterizes the indoor spaces to broaden the range of achievable SDGs. Dedicated sectors include indoor soilless agriculture (SDGs 11, 12, 2), start-ups and businesses (SDG 9) (img. 07), education (SDG 4), and sports. The interiors are designed with modular and adaptable elements to meet the evolving needs of tenants (img. 01).

Step 3: The landscape design plays an important role in providing ecosystem services. It was possible to quantify the environmental benefits of the intervention through i-Tree Eco, a collection of software for forestry analysis and quantification of urban and rural benefits. It was designed and developed by the US Forest Service to assess the ecosystem services provided by vegetation. The i-Tree Eco tool has been implemented in the study area, specifically for analysing the structure of urban greenery and its environmental and economic effects on the surrounding environment. It uses the following input data: (i) location (city, population, population density); (ii) hourly meteorological data (precipitation, temperature, air pollutant concentrations) recorded in the most suitable weather station among those already implemented in the programme, and referring to a whole year (in this specific case, 2015 turned out to be the most recent year for completeness of information); (iii) field data relating to the tree population (species, DBH – diameter at breast height, average height) which, in the absence of a site visit as it is an ante-realisation assessment, were defined according to the average values per mature tree for each species. In the first table (img. 05), each ecosystem service has its unit of measurement (UoM) and the respective average annual estimated economic value. The selected tree population of about 1,000 individuals, having reached the adult stage, will produce more than 55 tonnes of oxygen annually through photosynthesis and remove more than 700 kg of air pollutants: about half of this reduction will be O_3, which is harmful to human health. The estimated NO_2 removed corresponds to the annual emission of 20 cars, or 9 single-family homes, while the removal of SO_2 is equivalent to the yearly production of 402 cars (Energy Information Administration, 2013). The adopted solution will also reduce the hydrogeological risk associated with the area: through the hydrological processes of interception, evapotranspiration and infiltration operated by trees and soil, will be avoided almost 1,000 m^3 of surface water runoff. Finally, the carbon results: storage in the green area will be about 1,500 t at full capacity, with about 19 t of net carbon sequestered annually. In economic terms, the carbon stored in the biomass of the green area has a value of approximately €147,000, while the monetary estimate on an annual basis, which considers air pollutant removal, surface water runoff and carbon sequestration, is over €24,000. It should be noted that no economic value is placed on oxygen as it is abundantly present in the atmosphere and that the monetary estimate based on unit price assumptions refers only to the ecosystem services analysed and does not consider the construction and maintenance costs of the green area. Specifically, the second table (img. 05) shows the bibliographic references used to define each unit price of benefit.

Results and discussion

The estimation of ecosystem services the project can provide to the surrounding environment concerns three main spheres of value: environmental, economic, and social. Firstly, the nature-based solutions (NBS) offer environmental benefits compared to design choices that do not consider green elements integration, as described in the results. Furthermore, the quantified benefits using the i-Tree Eco tool have been monetized based on market costs relative to the European context (carbon), effects on human health (air pollutants), and post-event intervention costs (reduction of hydrogeological risk). Regarding the impacts on the urban microclimate, the choice of a wood belt around the building and the green roof reduces the overheating of the site, increasing its adaptive capacity and reducing the risk of the "heat island" effect. This strategy also falls within the mitigation actions, as it would result in a reduction in energy consumption for heating and cooling and emissions. Additionally, the photovoltaic panels reduce the building's dependence on external energy sources. Whereas for the architectural choices for the interiors, the proposal to use prefabricated modules made from low-impact materials enhances the flexibility of use and meets the needs for future expansion of the tenants.

Conclusions

The study presents the application of an interdisciplinary approach that integrates NBS architectural solutions and new technologies aimed at revitalizing industrial urban areas and harnessing their productive potential for concrete contributions to the ecological transition. Specifically, the preliminary assessment of NBS benefits demonstrates how the considered architectural and urban solutions contribute to reducing pollutants, CO_2, and the absorption of rainwater. These choices enhance the quality of urban spaces, promote biodiversity, and embody the values of the New European Bauhaus, aligning with the key Sustainable Development Goals (SDGs). The approach identifies replicable site-specific strategies, even for those spaces considered "non-places" or "junk spaces," as referenced by Koolhaas, which can become new nodes in a resilient and interconnected ecological network. The innovation of this experimentation also lies in the proposed process. In addition to introducing innovative solutions in architecture and open spaces, a preliminary evaluation illustrates the benefits of adopting NBS. Integrating nature into the regeneration project provides environmental benefits for users and biodiversity and presents an economic opportunity for developers or owners (private and public), such as the possibility of obtaining carbon credits.

The presented toolbox can be a valuable resource for enhancing the implementation tools of resilience, adaptation, and mitigation plans, which are currently lacking and ineffective, as exemplified by the Turin Resilience Plan. However, the research highlights some limitations not evaluated in the presented study. The research identified economic obstacles, including potential remediation costs that discourage interventions in industrial areas, and regulatory barriers, such as the absence of regulations that promote the valorisation and monetization of the long-term benefits of NBS ecosystem services, as well as the lack of mandates requiring the adoption of nature-based solutions where feasible. Furthermore, in Italy, current urban planning instruments often fail to adequately address current challenges and European directives on resilience and urban ecology, thus impeding experimentation and innovation in nature-based solutions.*

Notes

1 – Data identified by UN – United Nations Population Division (2018).

2 – According to data collected by UN – United Nations (2022) related to "Goal 11 – Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable".

3 – In this case, we refer to the historic 1961 text, "The Death and Life of Great American Cities".

4 – According to the report Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change by IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change.

5 – Data in the Turin Climate Change Resilience Plan, 2020.

6 – Reference is made to the solutions officially identified by the European Commission through the publication "Evaluating the impact of nature-based solutions – A handbook for practitioners" from 2021.

7 – The concept of a continuous productive urban landscape represents a productive green infrastructure that continuously connects urban spaces and architecture to peri-urban green building blocks. These building blocks are potentially productive spaces in agricultural and ecosystem terms.