

Green walls as nature-based solutions for urban and building resilience: a case study.

*Original*

Green walls as nature-based solutions for urban and building resilience: a case study / Tedesco, S., Montacchini, E.P., Giordano, R., Larcher, F.. - In: SUSTAINABLE MEDITERRANEAN CONSTRUCTION. - ISSN 2420-8213. - 9(2019), pp. 132-136.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2782996 since: 2020-01-20T21:52:23Z

*Publisher:*

Luciano Editore

*Published*

DOI:

*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)

# GREEN WALLS AS NATURE-BASED SOLUTIONS FOR URBAN AND BUILDING RESILIENCE: A CASE STUDY

## Abstract

The Nature-based solution concept builds on other closely related concepts, such as ecosystem services, resilience, green infrastructures. Green walls (or Living Walls) can be considered natural based solutions with environmental, social and economic positive effects on buildings and, if widely applied, on cities, as demonstrated by the scientific literature.

Moreover, different international guidelines drive EU countries to use green walls as a sustainable strategy to resilience of buildings and cities. These guidelines underline four fundamental aspects to consider: the designing, the installation, the plant species selection and the maintenance.

Through the description of a case study in Turin (I) - an intervention on an existing building located in the city center - the paper focuses on the above-mentioned aspects, from technological to agronomic point of view.

The paper deals with the objectives of the project, the design phase (analysis of the building/support structure and site), plant selection (ecological needs, aesthetic and functional aspects), the installation (frame, vegetated panels, irrigation system), the monitoring and maintenance activities (water supply needs, pruning per year, replacements), and highlights the quantitatively and qualitatively performance of the green wall. The paper includes a discussion about the potential of this technological solution for urban resilience.

**Keywords:** Nature-based solutions; Living walls; Green walls; Ecosystem services; Resilience

## Introduction

The Nature-based solution concept builds on other closely related concepts, such as ecosystem services, resilience, green infrastructures. The European Commission defines Nature-based solutions as a way to address societal challenges with “solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, [...] through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions” [1].

As a growing number of people live and



Fig. 1 - Entrance of Casa Capriolo from Via Arcivescovado. In the background the vegetated wall inside the courtyard (Source: <http://casacapriolo.it/>)

work in cities, urban green space is likely to play an increasingly important role in promoting well-being [2]. However, increasing building density means that space for ground-level urban vegetation is becoming rarer [3]. In response, cities are incorporating innovative forms of green space [4], such as green walls, that can be integrated into existing infrastructure.

Green walls (or Living Walls) can be considered Nature-based solutions with environmental, social and economic positive effects on buildings and, if widely applied, on cities.

The scientific literature demonstrates green walls benefits at the urban scale (urban heat island effect mitigation, absorption of particulate matters, enhancement of biodiversity, food production, etc.) [5], [6], at the building scale (noise pollution insulation, heating and cooling energy demand reduction, Volatile Organic Compounds dilution, property value increase) [7]-[10], and on human health (psychological and physical wellbeing) [11].

Moreover, different international guidelines

drive EU countries to use green walls as a sustainable strategy to resilience of buildings and cities. These guidelines underline four fundamental aspects to consider in order to get the above-mentioned benefits: the designing, the installation, the plant species selection and the maintenance [12].

The paper describes a case study in Turin (I), an intervention on an existing building located in the city center. Details are given on the objectives of the project and the green wall characteristics. Afterwards, the design, plant selection, on-site assembling and maintenance phases are described.

The results highlight the quantitatively and qualitatively performance of the green wall. A discussion about the potential of this technological solution for urban resilience is also included.

## Case study: Casa Capriolo Objectives of the project

The intervention is located in the block between the streets of Alfieri, Arsenale, Arcivescovado and XX Settembre, an important

place for the history of Turin since the 1600s.

The area is currently involved in an important residential redevelopment and transformation project entrusted to Ream SGR S.p.A, a company specialized in funds management of real estate investments.

In particular, in the building overlooking Via Arcivescovado - Casa Capriolo - the architectural studio that carried out the project (Astar Studio, 2015) planned the inclusion of an outdoor vegetated wall in the courtyard, with the aims of: increasing the green surfaces in a densely built area, obtaining credits in assessing the building sustainability, enhancing the real estate value and the sale price of apartments. (Fig. 1)

### Green wall characteristics

The vegetated wall covers an area of 21 m<sup>2</sup>. It is composed of n. 41 modules 87.5 x 50 cm, n. 3 modules of 55 x 50 cm, n. 4 modules 87.5 x 30 cm. The thickness of the modules is about 4 cm, excluding plants. The average weight of the modules is about 18 kg/m<sup>2</sup>, variable depending on the state of saturation, the plant species and their growth stage. The outer layer of the modules is made of felt: each module has pockets, made from felt cuts, in which the plants have been inserted.

The vegetated modules contain part of the irrigation system (microtubes and drippers) and are equipped with a quick reversible connection system to the substructure, made in galvanized steel frame. This connection system allows the possible replacement of the modules without disassembling the entire wall. The modules can be replaced without structural interventions, even with alternative finishes panels (logos or graphics). If the modules are replaced, the irrigation system can be closed at the individual elements. The modules, including the plants and the irrigation system, are priced at about 400 €/m<sup>2</sup>, while similar solutions on the market have an average price of 750 €/m<sup>2</sup> [13].

The technology used derives from an experience of technology transfer coming out from an interdisciplinary research project [14] leading to the prototyping of an innovative Living Wall System. The system is patented and produced by the startup Growing Green srl, Politecnico di Torino Spin off [15]. A team of

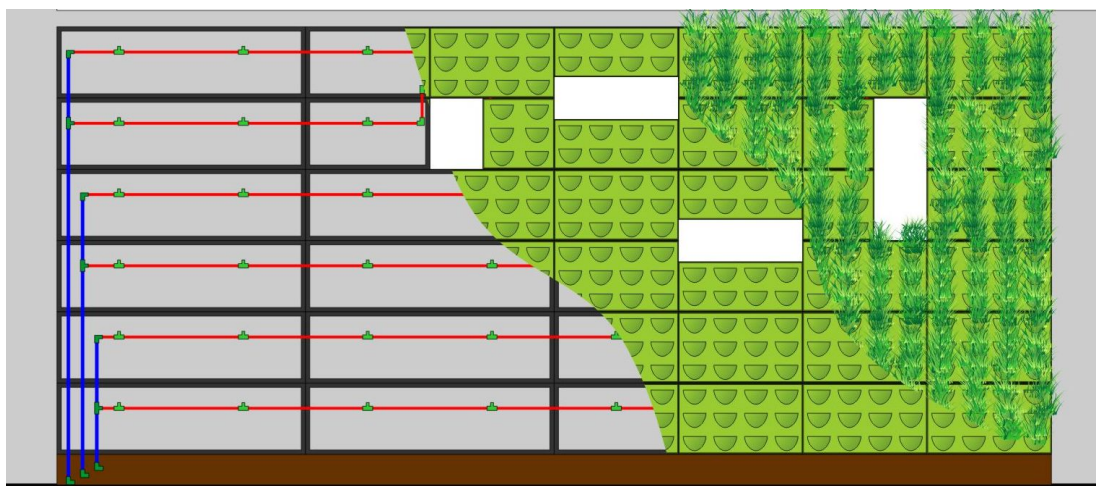


Fig. 2 - Layout of panels and irrigation network

expert agronomists from the University of Turin collaborates with Growing Green srl. It is a modular and lightweight Living Wall System (LWS). Technological and agronomic aspects have been studied together to obtain an eco-friendly solution, made with 65% by weight in natural, recycled and waste materials (coir, natural viscose, recycled PP, felt from waste from other industrial processes).

### Phases and methodology

#### Design phase

The design phase involved a series of preliminary activities: site analysis; relief of the existing wall; identification of a space to be used as a technical room for the devices and plants.

The site analysis was conducted through the use of an environmental analysis tool which allowed to simulate the conditions of sunshine and shading of the green wall throughout the year, taking into account its location, orientation and obstructions determined by surrounding buildings. The simulation showed that, although the wall faces south, it is in shadow throughout the winter and, partially, even in the intermediate seasons (autumn, spring). On the basis of these results, the most appropriate plant species were selected and the irrigation system was sized.

During the inspection phase, the characteristics of the existing wall on which to anchor the LWS were identified and the

positioning of the irrigation controller, fertilizer dosing pump and tank were established.

The irrigation control devices, the solenoid valves and the tank were hidden in the basement, in a technical room on the garage floor. The number of irrigation lines was established on the basis of the wall height (3 lines) and the selected plant species.

Fig. 2 shows the layout of the panels and the irrigation network: the main vertical lines, represented in blue, are connected to the respective solenoid valves (line 1 at the top, line 2 in the middle, line 3 at the bottom); the horizontal secondary lines are shown in red; the quick connect fittings (one for each vegetated module) are indicated in green.

The vegetated wall was conceived in a logic of unitary design and integration with respect to the entire intervention. A corten steel frame was created to enhance the vegetated wall, which is perceived as a picture coming from the main entrance (Fig. 1, Fig. 5).

### Plant selection

The use of a right plant species, together with the technological frame and the other materials, is fundamental. In the case study, plants were chosen according with low maintenance needs in terms of pruning treatment per year, high water stress tolerance, good pests resistance. Moreover, the plant species had to guarantee a fast-growing attitude, good ornamental values during the different seasons (evergreen and flowering), good aesthetic result in combination among each other. The plant species and cultivars chosen were: *Hedera helix* 'Hibernica', *Hedera helix* 'Helegantissima', *Lonicera nitida* 'Baggesen's gold', *Lonicera nitida* 'Lemon beauty', *Lonicera nitida* 'Maignun', *Carexdivulsa*, *Carexflacca*, *Geranium* × *cantabrigiense* 'Biokovo', *Pachysandra terminalis*. The modular boxes are pre-vegetated in nursery and hosts 30 plants/m<sup>2</sup>. In total more than 600 plants have been planted (Fig. 3).

### On-site assembling stage and fertigation system

The small size of the modules, the reduced weight and the reverse assembling connections have allowed an easy and quick-assembly installation of the wall (Fig. 4).



Fig. 3 - On the left, pattern of plant species. On the right, pre-vegetated modules in nursery



Fig. 4 - On-site assembling stage

On the whole, these features allow about 13 man hours per 21 m<sup>2</sup> of installed wall to be achieved, which is equivalent to the work of 2 installers per day.

The fertigation system was also built in the same period of time.

Fertigation is the essential element for the development and well-being of plant species during the entire vegetative cycle, as it brings the necessary amount of water and basic macronutrients (9N, 9P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 36K<sub>2</sub>O in autumn/winter; 20N, 20P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20K<sub>2</sub>O in springer/summer) and micronutrients. The fertigation system basically consists of: fertilizer dosing pump and tank, filter, n. 3 solenoid valves operated by the controller, distribution network, microtubes and drippers inside the modules.

The fertilizer dosing pump is a water-powered device that injects the nutrients needed for plant development by means of the irrigation network.

A specific filter for micro-irrigation systems is located downstream of the fertilizer dosing pump. The water, flowing through the filter, leaves debris and impurities inside preventing them from entering the distribution network.

The controller allows to program the irrigation, regulating the opening and closing of the solenoid valves.

The distribution network is made up of main vertical lines, from which horizontal lines

depart to distribute water to the modules. Each vegetated module is served by a branched microtube (integrated in the panel), ending in a series of drippers inserted in the upper pockets.

#### Monitoring and maintenance activities

After installation, the living wall was monitored from agronomic, technological and ecological point of view.

In particular, one year after its installation the LWS presented a flourishing aspect, as it is possible to see in figure 5. Only 25 replacements were made on 600 plants, corresponding to less than 5%.

During the first year, water consumption was minimized according to the microclimatic conditions, thanks to the installation of sensors, located in different points of the wall and at different heights, for monitoring parameters such as soil humidity, air temperature, illuminance.

From an ecological point of view, it has been observed that over time the living wall has become a habitat for birds, butterfly and insects.

In relation to air quality, on the basis of literature data [16], it was possible to estimate the Particulate Matter (total PM) sequestered from the LWS.

Moreover, a study based on Life Cycle Assessment (LCA) standards was conducted, in order to characterize the carbon dioxide equivalent emissions and the carbon storage potential of the LWS. The LCA has taken into account the production processes and the the green wall on-site assembly in a defined period of two years [5, 17]. The living wall has required fewer maintenance operations and a limited number of pruning and irrigation settings per year. Finally, no pests' diseases occurred in the first years.

#### Results

In the project described, results closely linked to the concepts of resilience and ecosystem services were achieved:

- creation of new urban ecosystems and preservation of biodiversity, as directly

observed;

- improvement of air quality, according to literature; with regards to Dzierzanowski study [16], if the wall were made entirely with *Hedera helix* (plant species very common in urban area) leaf surface would trap 0.18 g of total mass of PM per m<sup>2</sup> (two growing season). On the basis of this hypothesis, it is estimated that the LWS could catch in total 3.78 g of total PM;

- Carbon dioxide sequestration ascribed to some wood-based materials (viscose fabric) and to vegetation (*Lonicera nitida*). The LCA outcomes show the LWS increasing contribution in terms of CO<sub>2</sub> equivalent (kg/m<sup>2</sup>) due to the vegetation growth. The carbon dioxide calculation was implemented estimating the shrubs biomass from basal stem diameter. The credits due to the biomass of *Lonicera* and the viscose fabric increase in two years from 13.13 CO<sub>2</sub>eq kg/m<sup>2</sup> to 21.06 [17]. After the second year from implantation - keeping its growth stable - a square meter of green wall, over a period of 10 years, can offset up to 210 kg of carbon dioxide.

- increasing of green surfaces in a densely built area.

Moreover, it is possible to make other considerations. In particular:

- reduction of installation costs, due to the LWS characteristics (modular panels, small size and lightweight, easy and quick-assembling connections). The entire wall was assembled in 1 day (n. 2 people);
- reduction of maintenance costs, due to the limited water requirements (2 l/m<sup>2</sup> per day), number of irrigation settings per year (4 settings/year), number of prunings per year (2 prunings/year). The low water consumption helps to limit resource consumption;
- enhancing of the economic value of the building, as confirmed by the apartment sales increasing. The installation of the green wall adds interest in the investment and it is a strategy to obtain credits in assessing the building sustainability.



Fig. 5 – On the left, the green wall after installation; on the right, the vegetation growth after one year

## Conclusion

Green walls are able to provide several benefits at building and urban scale. Green walls help build resilience and can be used as specific nature-based solutions to be implemented in cities in order to answer to particular environmental and economic expectations.

In a densely built environment green areas can be increased by growing plants vertically rather than horizontally, providing multiple services. Green walls are a key instrument for the ecosystem conservation, especially if networked with other natural and semi-natural areas. If widely applied, green walls can be considered among the solutions that contribute to reducing air pollutants, according to the objectives of the European Union for the protection of human health (European Council Directive 1999/30/EC). Moreover, green walls enhance the real estate value of the building, adding interest to the urban context.

The case study shows that the right combination of “nature and technology” could be an effective solution to reach all the above-mentioned goals.

## Credits

This paper is the result of a scientific work, carried out by the four authors and wrote with their equal commitment.

## REFERENCES

- [1] European Commission (2016). Policy Topics: Nature-Based Solutions. Available at: <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?Pg=nbs> (accessed 15.04.2019).
- [2] Van den Berg, A. E., Maas, J., Verheij, R. A., & Groenewegen, P. P. (2010). Green space as a buffer between stressful life events and health. *Social science & medicine*, 70(8), 1203-1210.
- [3] Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Sia, A., & Wong, N. C. (2010). Perception studies of vertical greenery systems in Singapore. *Journal of Urban Planning and Development*, 136(4), 330-338.
- [4] Thwaites, K., Porta, S., Romice, O., & Greaves, M. (Eds.). (2007). *Urban Sustainability through Environmental Design: Approaches to time-people-place responsive urban spaces*. Taylor & Francis.
- [5] Serra, V., Candelari, E., Giordano, R. (2014, October). Vertical Greening Systems and Urban Heat Island related aspects: outcomes of a research project. In *Proceedings of Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, Venezia* (pp. 1410-1421).
- [6] Weinmaster, M. (2009). Are green walls as “green” as they look? An introduction to the various technologies and ecological benefits of green walls. *Journal of Green Building*, 4(4), 3-18.
- [7] Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Burés, S., Álvaro, J. E., Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*, 89, 46-56.
- [8] Raji, B., Tenpierik, M. J., & van den Dobbels, A. (2015). The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 610-623.
- [9] Darlington, A. B., Dat, J. F., & Dixon, M. A. (2001). The biofiltration of indoor air: air flux and temperature influences the removal of toluene, ethylbenzene, and xylene. *Environmental science & technology*, 35(1), 240-246.

- [10] Rosasco, P., Perini, K., (2014). Verifica di sostenibilità economica per sistemi di facciate verdi. *Valori e Valutazioni*, 13, 67-93.
- [11] Bringslimark, T., Hartig, T., & Patil, G. G. (2009). The psychological benefits of indoor plants: A critical review of the experimental literature. *Journal of Environmental Psychology*, 29(4), 422-433.
- [12] Giordano, R., Montacchini, E., Tedesco, S., Perone, A. (2017). Living wall systems: a technical standard proposal. *Energy Procedia*, 111, 298-307.
- [13] Giordano, R., Montacchini, E., Tedesco, S. (2016). Living Wall Systems: toward the environmental and economic sustainability. *Research and experimental development*, *Valori e Valutazioni*, 16, 25-34.
- [14] Serra, V., Bianco, L., Candelari, E., Giordano, R., Montacchini, E., Tedesco, S., Larcher, F., Schiavi, A. (2017). A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research project. *Energy and Buildings*, 146, 333-352.
- [15] Larcher, F., Giordano, R., Montacchini, E., Tedesco, S. (2018). A spin-off as an effective result of transfer of knowledge and skills in the field of living wall systems. *Acta Hort.* 1215, 341-344.
- [16] Dzierzanowski, K.; Popek, R.; Gawronska, H.; Saebo, A.; Gawronski, S.W. (2011). Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *Int. J. Phytoremediat.*, 13, 1037-1046.
- [17] Giordano, R., Montacchini, E., Tedesco, S. (2015). Living Wall Systems Potential in the Nearly Zero Emissions Building assessing. *International Conference on Living Wall Systems and Ecosystem*, University of Greenwich 6-8 July 2015.

## MURI VERDI COME SOLUZIONI BASATE SULLA NATURA PER LA RESILIENZA URBANA E EDILIZIA: UN CASO STUDIO

### Abstract

Il concetto di Nature-based solution è strettamente correlato ad altri concetti, come i servizi ecosistemici, la resilienza, le infrastrutture verdi. Come dimostrato dalla letteratura scientifica internazionale, le pareti verdi (Green walls, Living Walls) possono essere considerate Nature-based solutions con effetti positivi dal punto di vista ambientale, sociale ed economico sugli edifici e, se ampiamente diffuse, sulle città. Inoltre, diverse linee guida internazionali orientano i paesi dell'UE ad utilizzare i muri verdi come strategia sostenibile per la resilienza di edifici e città. Queste linee guida sottolineano quattro aspetti fondamentali da considerare per ottenere i suddetti benefici: la progettazione, l'installazione, la selezione delle specie vegetali e la manutenzione. L'articolo descrive un caso di studio a Torino (I), un intervento su un edificio esistente situato nel centro della città. Vengono forniti dettagli sugli obiettivi del progetto e sulle caratteristiche del muro verde. Successivamente vengono descritte le fasi di progettazione (analisi della struttura dell'edificio e del sito), selezione delle specie vegetali (esigenze ecologiche, aspetti estetici e funzionali), posa in opera (telaio, pannelli vegetati, impianto di irrigazione) e manutenzione (fabbisogni idrici, potature annue, sostituzioni). I risultati evidenziano le prestazioni quantitative e qualitative della parete verde, sottolineando il ruolo che questa soluzione tecnologica può avere per migliorare la resilienza urbana.

**Parole chiave:** Nature-based solutions; Living walls; Green walls; Ecosystem services; Resilienza

### Introduzione

Il concetto di Nature-based solution è strettamente correlato ad altri concetti, come i servizi ecosistemici, la resilienza, le infrastrutture verdi. La Commissione Europea definisce le Nature-based solutions come un modo per affrontare le sfide sociali

con “solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, [...] through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions” [1]. Poiché un numero crescente di persone vive e lavora in città, è plausibile che lo spazio verde urbano svolga un ruolo sempre più importante nella promozione del benessere [2]. Tuttavia, l'aumento della densità edilizia implica che lo spazio per la vegetazione urbana a livello del suolo stia diventando sempre più raro [3]. In risposta, le città stanno sperimentando forme innovative di spazi verdi [4], come i green walls, che possono essere integrati nelle infrastrutture esistenti. Le pareti verdi (Green walls, Living Walls) possono essere considerate Nature-based solutions con effetti positivi dal punto di vista ambientale, sociale ed economico sugli edifici e, se ampiamente diffuse, sulle città.

La letteratura scientifica dimostra i benefici delle pareti verdi a scala urbana (mitigazione dell'effetto isola di calore urbano, assorbimento del particolato, incremento della biodiversità, funzione produttiva, etc.) [5],[6], a livello di edificio (isolamento acustico, riduzione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento, diluizione dei Composti Organici Volatili, aumento del valore degli immobili) [7]-[10], e sulla salute umana (benessere psicologico e fisico) [11]. Inoltre, diverse linee guida internazionali orientano i paesi dell'UE ad utilizzare i muri verdi come strategia sostenibile per la resilienza di edifici e città. Queste linee guida sottolineano quattro aspetti fondamentali da considerare per ottenere i suddetti benefici: la progettazione, l'installazione, la selezione delle specie vegetali e la manutenzione [12]. L'articolo descrive un caso di studio a Torino (I), un intervento su un edificio esistente situato nel centro della città. Vengono forniti dettagli sugli obiettivi del progetto e sulle caratteristiche del muro verde. Successivamente vengono descritte le fasi di progettazione, selezione delle specie vegetali, posa in opera e manutenzione. I risultati evidenziano le prestazioni quantitative e qualitative della parete verde, sottolineando il ruolo che questa soluzione tecnologica può avere per migliorare la resilienza urbana.

### Il caso studio: Casa Capriolo Obiettivi del progetto

L'intervento è localizzato nell'isolato compreso tra le vie Alfieri, Arsenale, Arcivescovado e XX Settembre, un luogo importante per la storia di Torino a partire dal '600. L'area è stata interessata da un importante progetto di riqualificazione e trasformazione di tipo residenziale, affidato a Ream SGR S.p.A, società specializzata nella gestione di fondi di investimento immobiliare. In particolare nell'ambito del progetto Casa Capriolo, edificio con affaccio su Via Arcivescovado, realizzato da Astar Studio nel 2015, gli architetti hanno previsto l'inserimento di una parete vegetata outdoor nel cortile, con l'obiettivo di: aumentare le superfici verdi in un'area densamente costruita, ottenere crediti nei sistemi di valutazione della sostenibilità, aumentare il valore dell'immobile e il prezzo di vendita degli appartamenti. (Fig. 1)

### Caratteristiche della parete vegetata

La parete, di 21 m<sup>2</sup> complessivi, è composta da n. 41 moduli 87,5 x 50 cm, n. 3 moduli da 55 x 50 cm, n. 4 moduli 87,5 x 30 cm. Lo spessore dei moduli è di circa 4 cm, escluse le piante. Il peso medio dei moduli è di circa 18kg/m<sup>2</sup>, variabile in funzione dello stato di saturazione, delle specie vegetali e del loro stadio di accrescimento. Ogni modulo è dotato di tasche, ricavate nel feltro, in cui sono state inserite le piante. I moduli vegetati contengono parte dell'impianto di irrigazione (microtubi e gocciolatori) e sono dotati di un sistema di aggancio/sgancio rapido alla sottostruttura a telaio in acciaio zincato. Tale sistema di connessione consente l'eventuale sostituzione dei moduli senza smontare l'intera parete. I moduli possono essere sostituiti, senza interventi

strutturali, anche con pannelli con finiture alternative (integrabili con loghi o grafiche). In caso di sostituzione dei moduli il sistema di irrigazione può essere chiuso in corrispondenza dei singoli elementi. I moduli, comprensivi di specie vegetali e impianto di irrigazione, hanno un prezzo di circa 400 €/m<sup>2</sup>; soluzioni simili sul mercato hanno un prezzo medio di 750 €/m<sup>2</sup> [13].

La tecnologia utilizzata deriva da un'esperienza di trasferimento tecnologico maturata nell'ambito di un progetto di ricerca interdisciplinare [14], che ha portato alla prototipazione di un innovativo sistema Living Wall. Il sistema è brevettato e prodotto dalla startup Growing Green srl, Spin off del Politecnico di Torino, che si avvale della collaborazione di esperti agronomi dell'Università degli Studi di Torino [15]. Si tratta di un Living Wall System (LWS) di tipo modulare e leggero in cui sono stati studiati congiuntamente aspetti tecnologici e agronomici per ottenere una soluzione performante dal punto di vista ambientale, in cui il 65% in peso è costituito da materiali naturali, riciclati e di scarto (cocco, viscosa naturale, PP riciclato, feltro da rifiuti di altri processi industriali).

### Fasi e metodologia

#### Fase di progettazione

La fase di progettazione ha previsto una serie di attività preliminari: analisi di sito; rilievo della muratura esistente; individuazione di uno spazio da adibire a locale tecnico per le dotazioni impiantistiche. L'analisi di sito è stata condotta attraverso l'utilizzo di un software di modellazione e analisi climatica che ha permesso di simulare le condizioni di soleggiamento della parete vegetata durante tutto l'anno, tenendo conto della sua posizione, dell'orientamento e degli ostacoli determinati dagli edifici circostanti. La simulazione ha dimostrato che, sebbene il muro sia esposto a sud, è in ombra per tutto l'inverno e, in parte, anche nelle stagioni intermedie (autunno, primavera). Sulla base di questi risultati, sono state selezionate le specie vegetali più appropriate ed è stato dimensionato l'impianto di irrigazione.

Durante il sopralluogo sono state identificate le caratteristiche della parete esistente su cui ancorare il LWS e sono stati stabiliti il posizionamento della centralina di programmazione dell'irrigazione, del dosatore di fertilizzante e del serbatoio. I dispositivi di controllo dell'irrigazione, le elettrovalvole e il serbatoio sono stati nascosti nel piano seminterrato, in un locale tecnico al piano dei garage. Il numero di linee di irrigazione è stato stabilito sulla base dell'altezza della parete (3 linee) e delle specie vegetali selezionate. La Fig. 2 mostra la disposizione dei pannelli e della rete di irrigazione: le linee verticali principali, rappresentate in blu, sono collegate alle rispettive elettrovalvole (linea 1 in alto, linea 2 al centro, linea 3 in basso); le linee secondarie orizzontali sono rappresentate in rosso; i raccordi rapidi (uno per ogni modulo vegetato) sono indicati in verde. La parete vegetata è stata concepita in una logica di progettazione unitaria e di integrazione rispetto all'intero intervento. Una cornice in acciaio corten inquadra e valorizza il LWS provenendo dall'ingresso principale (Fig. 1, Fig. 5).

#### Selezione delle piante

In un LWS è fondamentale l'uso di una specie vegetale adeguata all'esposizione e al clima, unitamente a opportune scelte tecnologiche, in termini di materiali e elementi che compongono la stratigrafia dei moduli. Nel caso di studio, le piante sono state selezionate in base a ridotte esigenze di manutenzione in termini di potature all'anno, elevata tolleranza allo stress idrico, buona resistenza all'attacco dei parassiti. Inoltre, le specie vegetali dovevano garantire una rapida crescita, elevati valori ornamentali nelle diverse stagioni (piante sempreverdi e con fioritura), nonché efficaci risultati estetici in combinazione tra loro. Le specie vegetali e le cultivar scelte sono state: *Hederahelix* 'Hibernica', *Hederahelix* 'Helegantissima', *Lonicera nitida* 'Baggesen'sgold', *Lonicera nitida* 'Lemon beauty', *Lonicera nitida* 'Maigrun', *Carex divulsa*, *Carexflacca*, *Geranium* × *cantabrigiense* 'Biokovo', *Pachysandra terminalis*. I pannelli modulari sono stati

pre-vegetati in vivaio e ospitano 30 piante/m<sup>2</sup>. In totale sono state piantate più di 600 piante (Fig. 3).

#### Posa in opera dei moduli vegetati e del sistema di fertirrigazione

Le dimensioni contenute, il peso ridotto e il sistema di connessione ad aggancio e sgancio rapido dei singoli pannelli vegetati hanno consentito un'agevole e veloce posa in opera della parete vegetata (Fig. 4). Sono state impiegate, infatti, circa 13 ore/uomo per realizzare 21 m<sup>2</sup> di parete, che corrispondono al lavoro di 2 operai in una sola giornata.

Nello stesso arco temporale è stato realizzato anche l'impianto di fertirrigazione. La fertirrigazione è l'elemento essenziale per lo sviluppo e il benessere delle specie vegetali durante l'intero ciclo vegetativo, in quanto apporta la quantità necessaria di acqua e macronutrienti (9N, 9P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 36K<sub>2</sub>O in autunno/inverno; 20N, 20P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20K<sub>2</sub>O in primavera/estate) e micronutrienti. Il sistema di fertirrigazione è costituito essenzialmente da: pompa dosatrice e serbatoio di fertilizzante, filtro, n. 3 elettrovalvole azionate dalla centralina di programmazione, rete di distribuzione, microtubi e gocciolatori all'interno dei moduli.

La pompa dosatrice di fertilizzante è un dispositivo alimentato ad acqua che inietta i nutrienti necessari per lo sviluppo delle piante attraverso la rete di irrigazione. Un filtro specifico per impianti di microirrigazione si trova a valle della pompa dosatrice di fertilizzante. L'acqua, che scorre attraverso il filtro, lascia al suo interno detriti e impurità impedendone l'ingresso nella rete di distribuzione.

La centralina di programmazione permette di controllare l'irrigazione, regolando l'apertura e la chiusura delle elettrovalvole. La rete di distribuzione è costituita da linee verticali principali, da cui partono linee orizzontali per distribuire l'acqua ai moduli. Ogni modulo vegetato è servito da un microtubo ramificato (integrato nel pannello), che termina con una serie di gocciolatori inseriti nelle tasche superiori.

#### Attività di monitoraggio e manutenzione

Dopo l'installazione, la parete vegetata è stata monitorata dal punto di vista agronomico, tecnologico ed ecologico.

In particolare, a un anno dalla sua installazione, il LWS ha avuto una crescita rigogliosa, come mostrato in figura 5. Sono state effettuate solo 25 sostituzioni su 600 piante, pari a meno del 5% del totale.

Nel corso del primo anno il consumo idrico è stato ridotto al minimo in funzione delle condizioni microclimatiche, grazie all'installazione di sensori, posizionati in diversi punti della parete e a diverse altezze, per il monitoraggio di parametri quali l'umidità del suolo, la temperatura dell'aria, l'illuminamento.

Da un punto di vista ecologico, è stato osservato che nel tempo la parete vegetata è diventata un habitat per uccelli, farfalle e insetti.

In relazione alla qualità dell'aria, è stato possibile stimare il particolato sequestrato (PM totale) dal LWS sulla base dei dati della letteratura [16].

Inoltre, è stata condotta una Life Cycle Assessment (LCA), al fine di caratterizzare le emissioni equivalenti di anidride carbonica e il potenziale di stoccaggio del LWS, tenendo conto delle fasi di produzione fuori opera e in opera e assumendo come arco temporale i due anni successivi all'installazione [5, 17].

Per quanto riguarda la manutenzione, la parete vegetata ha richiesto un limitato numero di interventi di potatura annui e di settaggi dell'impianto di irrigazione. Nei primi anni, infine, non si sono verificate parassitosi o crescita significativa di infestanti.

#### Risultati

Nel progetto descritto sono stati raggiunti risultati strettamente legati ai concetti di resilienza e di ecosystem services:

- realizzazione di nuovi ecosistemi urbani e conservazione della biodiversità, come evidenziato dall'osservazione diretta;
- miglioramento della qualità dell'aria; sulla base dei dati riportati in letteratura [16], si stima che, se il muro fosse realizzato interamente con *Hederahelix*

(specie vegetale molto comune in area urbana), la superficie fogliare (due stagioni di crescita) potrebbe intrappolare 0,18 g di particolato (PM totale) per m<sup>2</sup> e 3,78 g in relazione all'intera superficie del LWS.

- sequestro di anidride carbonica attribuita ad alcuni materiali a base di legno (viscosa) e alla vegetazione (*Lonicera nitida*). I risultati dell'LCA mostrano un contributo crescente in termini di CO<sub>2</sub> equivalente (kg/m<sup>2</sup>) dovuto alla crescita della vegetazione. Il calcolo dell'anidride carbonica stoccata è stato implementato stimando la biomassa arbustiva dal diametro dello stelo basale. I crediti dovuti alla biomassa di *Lonicera* e alla viscosa aumentano in due anni da 13,13 kg/m<sup>2</sup> CO<sub>2eq</sub> a 21,06 kg/m<sup>2</sup> CO<sub>2eq</sub> [17]. Dopo il secondo anno dall'installazione - mantenendo stabile la sua crescita - un metro quadrato di muro verde, in un periodo di 10 anni, può compensare fino a 210 kg di anidride carbonica;
- aumento delle superfici verdi in un'area densamente edificata.

Inoltre, è possibile fare altre considerazioni. In particolare:

- rispetto a soluzioni simili sul mercato, sono stati ridotti i costi di installazione, grazie alle caratteristiche del sistema LWS (pannelli modulari, di dimensioni ridotte, con connessioni a innesto rapido, facili e veloci da montare). L'intera parete è stata realizzata in un solo giorno (n. 2 operai);
- analogamente, sono stati ridotti i costi di manutenzione, a causa del moderato fabbisogno idrico (2 l/m<sup>2</sup> al giorno), del limitato numero di settaggi dell'irrigazione (4 settaggi/anno) e di potature all'anno (2 potature/anno). Il basso consumo di acqua contribuisce, inoltre, a limitare il consumo di risorse;
- è stato valorizzato l'edificio e incrementato il suo valore economico, come confermato dall'aumento delle vendite di appartamenti. L'installazione della parete vegetata ha aggiunto interesse all'investimento ed è stata una strategia per ottenere crediti nella valutazione della sostenibilità dell'edificio.

#### Conclusioni

Le pareti vegetate sono in grado di fornire diversi benefici a scala edilizia e urbana. Possono essere utilizzate come nature based solutions per rispondere ad aspettative ambientali, sociali ed economiche, integrando la vegetazione nell'ambiente costruito e concorrendo alla resilienza delle città.

In un ambiente densamente edificato, le aree verdi possono essere aumentate in verticale piuttosto che in orizzontale, con molteplici potenzialità dal punto di vista dei servizi ecosistemici. Le pareti vegetate sono uno strumento chiave per la conservazione dell'ecosistema, soprattutto se collegate in rete con altre aree naturali e seminaturali. Se ampiamente applicate, le pareti verdi possono essere considerate tra le soluzioni che contribuiscono a ridurre gli inquinanti atmosferici, secondo gli obiettivi dell'Unione Europea per la protezione della salute umana (Direttiva 1999/30/CE del Consiglio Europeo). Inoltre, le pareti verdi possono contribuire a incrementare il valore immobiliare degli edifici, valorizzando gli interventi e aggiungendo interesse al contesto urbano. Il caso studio dimostra che la giusta combinazione tra natura e tecnologia potrebbe dimostrarsi una soluzione efficace per raggiungere tutti i suddetti obiettivi.

#### Credits

Il presente contributo è il risultato di un lavoro scientifico realizzato e scritto con lo stesso impegno dai quattro autori.