

SMC

SUSTAINABLE MEDITERRANEAN CONSTRUCTION
LAND CULTURE, RESEARCH AND TECHNOLOGY

FOCUS ON
GREEN

LUCIANO EDITORE

N. NINE
2019

SMC - Official Magazine of the SMC (Sustainable Mediterranean Construction) Association - Online Edition: <http://www.smc-magazine.com> - Aut. Tribunale di Napoli n. 29 del 09/06/2014.

SCIENTIFIC COMMITTEE

Aasfaw BEYENE
Claudia BLOOM
Michele CAPASSO
Paul CASALONGA
Francesca R. D'AMBROSIO
Kambiz M. EBRAHIMI
Graeme EVANS
Daniel FAURE
Pliny FISK
Ángela García CODOÑER
Giorgio GIALLOCOSTA
Rodolfo GIRARDI
Mihiel HAM
Stephane HANROT
Jean Luis IZARD
Fakher KARAT Serge
LATOUCHE Stefano
LENCI Alberto
LUCARELLI
Gaetano MANFREDI
Saverio MECCA

Giuseppe MENSITIERI
Lorenzo MICCOLI
Alastair MOORE
Michael NEUMAN
João NUNES
Silvia PIARDI
Alberto PIEROBON
Kuno PREY
Khalid R'KHA CHAHAM
Susan ROAF
Francois Noel ROSSI
Piero SALATINO
Antonello SANNA
Gianni SCUDO
Alfonso SENATORE
Ali SHABOU
Abdelgani TAYYIBI
Nikolas TSINIKAS
Michael VAN GESSEL
Dilek YILDIZ
Ayman ZUAITER

REFEREE BOARD

Maddalena ACHENZA
Manuela ALMEIDA
Eugenio ARBIZZANI
Gaia BOLLINI
Pedro BOSCH GIRAL
Assunta CAPECE
Gianluca CADONI
James CHAMBERS
Giacomo CHIESA
Luigi CIMORELLI
Ana Maria DABIJA
Pietromaria DAVOLI
Orio DE PAOLI
Dalila EL-KERDANY
Dominique FLAHAUT
Aurora FLOREZ
Maria Cristina FORLANI
Andrea GIACHETTA
Barbara GUASTAFERRO
Luigi IANNACE
Shoaib KHANMOHAMMADI
Pablo LA ROCHE
Liliana LOLICH
Philippe MARIN
Paulo MENDONCA
Barbara MESSINA
Luigi MOLLO
Paola NISTICO'
Joe RAVETZ
Marco SALA
Jacques TELLER
Fani VAVILI
Roland VIDAL

EDITORIAL BOARD

Editor in Chief
Dora FRANCESE

First Editors
Antonio PASSARO
Paola DE JOANNA
Domenico CAPUTO
Roberto CASTELLUCCIO

Associate Editors
Luca BUONINCONTI
Pierpaolo D'AGOSTINO
Cristian FILAGROSSI A.
Marina FUMO
Barbara LIGUORI
Andrea MAGLIO
Lia Maria PAPA
Rossella SIANI
Marialucre STANGANELLI

Editorial Secretary
Mariangela CUTOLO

Graphic Design
Web Master
Cristian FILAGROSSI A.
Luca BUONINCONTI
Giuseppe VACCARO

STEERING COMMITTEE

Emanuela ADAMO
Gigliola AUSIELLO
Alfredo BUCCARO
Luca BUONINCONTI
Mario BUONO Domenico
CALCATERRA
Domenico CAPUTO
Roberto CASTELLUCCIO
Pierpaolo D'AGOSTINO
Gabiella DE IENNER
Paola DE JOANNA

Viviana DEL NAJA
Cristian FILAGROSSI A.
Dora FRANCESE
Marina FUMO
Fabio IUCOLANO
Fabrizio LECCISI
Barbara LIGUORI
Mario LO SASSO
Andrea MAGLIO
Nicolina MASTRANGELO
Vincenzo MORRA

Lia Maria PAPA
Antonio PASSARO
Elvira PETRONCELLI
Domenico PIANESE
Chiara PICCOLI
Daniela PISCOPO
Francesco POLVERINO
Rossella SIANI
Marialucre
STANGANELLI Salvatore
VIGONE Rosamaria
VITRANO

SMC is the official semestral magazine of the SMC Association, jointed with CITTAM SMC N. 9 - 2019

All the articles of SMC magazine were submitted to a double peer blind review.

Cover Photo
© Giuseppe Vaccaro 2019,
Parco Urbano dell'Irno,
Salerno (Italy)

Printed Edition
ISSN: 2385-1546

Publisher:
Luciano Editore
Via P. Francesco Denza, 7
P.zza S. Maria La Nova, 4
80138 Naples - Italy
www.lucianoeditore.net
info@lucianoeditore.net
editoreluciano@libero.it

Online Edition
ISSN: 2420-8213
www.sustainablemediterranean
construcion.eu



SMC - Sustainable Mediterranean Construction Association
Founded on March 1st 2013
Via Posillipo, 69
80123 Naples - Italy
smc.association@mail.com

TECHNICAL IMPLEMENTATIONS, BIOCLIMATIC INVOLVEMENTS AND TECHNOLOGICAL PERSPECTIVES OF GREENERY IN ARCHITECTURE

Abstract

The integration of vegetation in architecture has been for years a topic of great interest. Although in a fluctuating manner, plant-related technological solutions have recently faced the extension of their application possibilities: green screens to control incident solar radiation, green façades and living walls to reduce building envelope surficial temperatures and green roofs for high-performance buildings are only some of the words currently used to describe the different hybridizations of the green with the built. In this framework, the present contribution aims at investigate the technical implementations coming from the multiple peculiarities of greenery in architecture, analysing the different possibilities available to designers through the investigation of a sample of contemporary buildings, considered significant as examples of sustainable and innovative design. The purpose of such finding is to produce a critical synthesis of vegetal applications in architecture in order to provide a starting point for reflections on their limits and future developments for an effective integration of vegetation at the architectural scale.

Keywords: Vertical green, Green roofs, Greenery in architecture, Sustainable architecture, Environmental design.

Introduction

Because of the multiple benefits it produces, the integration of vegetation in architecture has been, for years, a topic of great interest. First examples of vegetal applications indeed, are dated back probably to prehistoric ages, when the vegetation was associated with the need of protection and camouflage within the surroundings. It is only around the half of the 17th century that roof gardens began useful means to increase the healthiness of densely populated environments, thus being considered not only for their aesthetic values but also for the social and hygienic advantages they involve, as element for compensation and urban mitigation.

In the first half of the 20th century, the relationship among buildings and environment becomes ever closer, as evidenced by the spreading of the vegetative element in modern building experiences¹ as functional element for housing purposes. The diffusion of greenery employed as building components started to become a practice, pushed ahead by the continuous implementation of regulations aimed, from one side, to protect soil consumption, and from the other, to maximise passive strategies to improve building energy efficiency.

Although in a fluctuating manner, influenced by the multiple and changeable trends in progress, plant-related technological solutions have recently faced the extension of their application possibilities: green screens to control solar radiation, green façades and living walls to reduce building envelope surficial temperatures and green roofs for high-performance buildings are only some of the words currently employed to describe the different hybridizations of the green with the built. From decorative detail, the vegetation becomes project's technical element, functional device or component for microclimatic control [1], capable of affecting energy interactions among building and the external environment, improving environmental comfort conditions thus limiting thermal losses, in addition to the ability of filter up to 70% of air pollutants [2]. In this framework, the present contribution, after the analysis of the different possibilities available to designers, aims at produce – through the the investigation of a sample of contemporary buildings considered significant – a critical synthesis of vegetal applications in architecture, to provide a starting point for reflecting on their limits and future developments for an effective integration of vegetation at the architectural scale.

The greenery in architecture and its technical implementations

Current technical solutions with greenery in architecture are mostly pointed towards specific technical elements, whose application domain is that of building envelope; however, also greening technologies aimed at landscape mitigation of engineering works are existing, even if excluded from the present discussion. The most widespread technical applications are surely those related to the creation of green roofs (Fig. 1).



Fig. 1 – Intensive green roof, Italy

First of all, it must be said that there is a fine line that divides a hanging garden from a green

roof [3] although in non-specialized languages we tend to consider them alternative terms. We speak about hanging gardens when the vegetation defines a usable place connected to the building, directly placed on one of the functional layers of the roof. Instead, it is defined green roof when the last external element of the roof is vegetable and it is not necessarily intended for use. A green roof can be intensive, when it can be used similarly to a ground garden [4], or extensive, when it does not allow the usability of the roof. In the first case, several vegetal species can be used, although with a very thick cultivation substrate (capable of reaching even 100 cm); consequently, it requires constant nourishment and water, as well as regular maintenance. Otherwise, in the second case, it is possible to use very thin soil layers (starting from 8 cm); the adoption of “sedum” essences² means that such kind of roofs need low maintenance.

In general, these solutions, due to the presence of water in roof's surficial layers, in addition to the plant-related microbiological activities as well as the existence of the roots, require very fine-tuned design. On the other hand, the advantage deriving from their applications is significant, both in terms of thermal and acoustic insulation, thanks to the soil inertial capacity, as well as at a microclimatic level, thanks to the evapotranspiration process that significantly cools the air temperature during summer season, contributing to the reduction of the heat island effect. Moreover, the implementation of green roofs allows the optimization of water resources, lightening loads on sewer system in highly urbanized environments [5].

The second most common type of green hybridization is certainly that of vertical applications. Green façades (Fig. 2) can be divided into direct or indirect. In the first case, vegetation is integrated in the architectural envelope and directly fastened to building structures through wires or framework while in the second case, the vegetative layer is placed alongside the external wall as a separated double skin façade with its own support devices. To the first group, also defined low-tech green [1], belong all the applications in which the vegetal element is fastened to the wall behind, on which it can directly grows; to the second group instead, defined high-tech green [1], belong all the systems able to host plants' roots directly on building envelope second skin, by means of panels, felts or containers anchored to the façade through supporting structures.

A further variation of vertical green are the so-called living walls or vertical gardens, conceived as real gardens and generally made of pre-greened modular panels³, mainly equipped with decorative function. Since they generally present greater maintenance requirements than technologies previously presented, most of them exploit hydroponic technologies to reduce maintenance needs, integrating irrigation and run-off devices directly into the panels. In rare cases, these systems perform an active behaviour, being exploited to purify the air through the vegetative element, to further re-enter it within the building by means of controlled mechanical ventilation devices.



Fig.2 – Direct green façade, Madrid (SP)

The main advantages deriving from the abovementioned technological solutions are undoubtedly on the microclimatic level: the presence of a vegetal layer, actually containing air within it, significantly contributes to the increase of the thermal inertia of the whole enclosure and, consequently, of its thermal insulation level. Indeed, a constant layer of 5 cm of air between the vegetation layer and the external wall has a heat transfer coefficient of $2.9 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}^4$. In addition, during winter season, the vegetation protects the building towards prevailing winds. Significant is also the reduction of noise pollution (generally of a value comprised between 2.5 and 3 dB, lowering, at the same time, even the reverberation between adjacent buildings). Finally, the vegetative presence, that performs a filtering and purifying action⁵, allows an improvement of the air quality and, in general, of the surrounding microclimate, with positive effects also at the perceptive level.

The last variant of vertical green applications is represented by solar screens (Fig. 3) which employ vegetal skins as climate control tools by virtue of their ability to intercept solar radiation. Clearly, such effect depends on plant species, of their age and, evidently, of the period of the year; vertical green indeed, if correctly used in terms of essence and application methods, provides performances adaptable to the seasonal variability, allowing

the achievement of satisfying performance, sometimes even higher than those obtained through conventional shading devices, also from an acoustic insulation point of view.



Fig.3 – Vegetal screen on structural glass curtain wall in an office building in Cologne

Therefore, it is possible to affirm that vegetation is able to effectively replace architectural and technological elements of various kind thanks to its ability to act on energy interactions between buildings and the external environment (Fig. 4).

Sustainable and innovative design experiences

In order to investigate the application possibilities currently available to designers, a sample of about 50 buildings – selected among the examples considered most representative which integrate vegetal applications in architecture – has been examined, even if, for the sake of brevity, a very small sample has been here described, considering one building for each of the three types of technical applications previously presented. The choice fell on them by virtue of their significant role for the particular technology they use, trying to analyze the adopted implementation solutions according to the different expected results.

California Academy of Sciences (2008), RPBW, San Francisco (CA), United States of America. Among the different built examples, the Piano's building is certainly a milestone, if only for the size of the green area: almost 50,000 square meters with about 1.9 million grass family's native varieties, mostly perennials and evergreens. The selected species, before being planted on the museum's roof, were made grow for over a year in coconut fiber containers; then, once the containers biodegraded and plants have been installed, they became part of building's ecosystem.

Such roof represents a real experiment aimed at demonstrate the sustainability of the construction thus obtained; the large thermal mass in fact, allows a significant increase of thermal inertia and, therefore, of the insulating abilities of the whole enclosure. The wavy shape,

which reflects the morphology of the spaces inside the museum, contributes to the movement of the air masses, favoring a breezes' acceleration that maximizes the contribution given by natural ventilation, even due to the presence of skylights that can be automatically opened based on indoor air temperature (Fig. 5).



Fig. 5 – RPBW (2008), California Academy of Sciences, San Francisco (CA), USA.

Musée du Quai Branly (2002-2006), Jean Nouvel, Paris, France.

Developed in close collaboration with the landscape architect G. Clement and the botanist P. Blank, the museum is one of the best known examples of greenery in architecture, thanks to a green area of about 800 square meters, extended to the entire façade and made up of 150 different species of plants (Fig. 6). The technology used for realize the green living wall is indirect; indeed, the vegetation does not overlap the façade but it is juxtaposed to it through a metal structure, creating a ventilated façade solution. This was made possible thanks to the integration of the vegetable layer with a 1 cm thick expanded PCV sheet, covered by two layers of reinforced polyamide felt which allow it to take root and develop; an automatic irrigation device, integrated into the system⁶, allows to limit maintenance operations.

"Ex Ducati" building (2007), Mario Cucinella, Rimini, Italy.

Representative example of green screen realized placing a double skin steel mesh on the building, in support of the development of the climbing vegetation, arranged in big tanks at the ground (Fig. 7). The permeable system thus defined has actually allowed even the use of the space between the two skins, thanks to the creation of a walkway that connects the rooms behind the vegetable screen with the outside. The vertical enclosures interchange translucent portions with opaque portions, guaranteeing the right amount of natural lighting without compromising occupants' privacy needs.

Conclusions, limits and lines of future development

Downstream of these considerations, it is clear that vegetal integration in architecture involves objective advantages both at a bioclimatic as

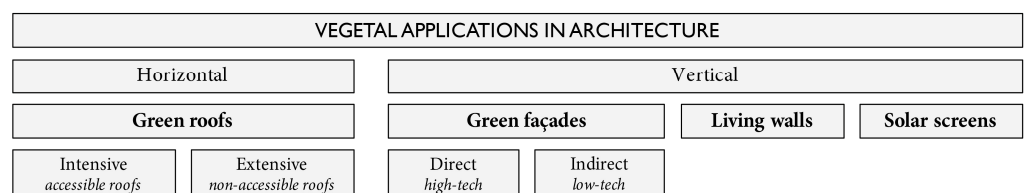


Fig.4 – Summary of greenery applications in architecture

well as a perceptive level. Applications of such a kind, even if at a first glance seem diversified each other, can actually be traced back, for the almost totality, to the three abovementioned typologies, clearly considering the specific technological features of each technical application.



Fig. 6 – Jean Nouvel (2002-2006), Musée du Quai Branly, Paris, France



Fig. 7 – MCA (2007), "Ex Ducafi" building, Rimini, Italy

However, in the face of the numerous advantages here presented, there are still some shortcomings primarily related to the high costs of these technologies, sometimes exceeding the benefits deriving from their application. Among the leading barriers for their diffusion there are, from one side, the complex quantification of the actual positive contribution they provide, and, from the other,

the difficult comparison of the effectiveness of the adopted solutions, due to the measurement discretion of the various microclimatic parameters (different construction systems, multiple living species, various boundary conditions, and so on).

Therefore, the main challenge, for whoever operate in this domain, is to demonstrate the sustainability of these systems also from an economic point of view, as a valuable resources for buildings' development and recovery policies, especially within the Mediterranean area.

Accordingly, the research must overcome the technical difficulties resorting to the standardization of the morphological and typological parameters specific of each application, so that both the reference values as well as the technical aspects linked to their integration into the construction world can be identified and systematized in a common substrate, useful as a starting point to formulate further project elaborations – variable, according to the multiple specificities of the different application contexts – in order to determine benefits on a larger scale than that of the single building.

REFERENCES

- [1] Tatano, V. (2008) (a cura di), VERDE: naturalizzare in verticale, Maggioli Editore, Rimini.
- [2] Bellomo A. (2003), Pareti verdi. Linee guida alla progettazione, Sistemi Editoriali, Napoli.
- [3] Musacchio, A. and Tatano, V. (2014), TETTI GIARDINO. Storia, tecnica, progetto, Maggioli Editore, Rimini.
- [4] Conato, F. and Frighi, V. (2016), Metodi della progettazione ambientale. Approccio integrato multiscale per la verifica prestazionale del progetto di architettura, Franco Angeli Editore, Milano.
- [5] Barozzi, B., Bellazzi, A. and Pollastro, M.C. (2016), "The energy impact in buildings of vegetative solutions for extensive green roofs in temperate climates", Buildings, 6, (3), 33, MDPI.
- [6] Bellini, O. E. and Daglio, L. (2009), Verde verticale. Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green facades, Maggioli Editore, Rimini.
- [7] Besir, A. B. and Cuce E. (2018), "Green roofs and facades: A comprehensive review" in Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 82 (2018), pp. 915–939, Elsevier.
- [8] Musacchio, A. and Tatano, V. (2007), "Superfici naturalizzate", in Barucco, M., Trabucco, D. (a cura di), Architettura, energia. Un'indagine sul complesso rapporto tra la professione dell'architetto e la questione energetica, EdicomEdizioni, Monfalcone.
- [9] Ragheb, A., El-Shimy, H. and Raghebb, G. (2016), "Green architecture: a concept of sustainability", paper presented at the conference Urban Planning and Architecture Design for Sustainable Development, UPADSD, 14- 16 October 2015, and published on Procedia - Social and Behavioral Sciences, n. 216 (2016), pp. 778 – 787, Elsevier.
- [10] Tatano, V., Rossetti, M. (2013), "Green surfaces", in PONTE, n. 3-2013, pp.37-48, Tipografia DEI del Genio Civile, Roma.
- [11] G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor)", in Plastics, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.
- [12] W.-K. Chen, Linear Networks and Systems (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.

NOTES

1. Le Corbusier, among the firsts, in his *Vers une architecture* (1923), proposed the use of greenery in flat roofs by virtue of its enormous technical potentials as thermoregulatory mass.
2. A variety of perennial herbaceous plants with limited development and high-water and –heat stress resistance.
3. Thanks to the presence of growing substrate within them.
4. Value similar to those of an air-filled Insulating Glass Unit.
5. Picking up the carbon dioxide from the surrounding air, the vegetation produces oxygen, removing up to 87% of pollutants.
6. Made of polypropylene irrigation tubes.

RETHINKING THE GREEN. Applicazioni tecniche, implicazioni bioclimatiche e aspetti tecnologici dell'integrazione vegetazionale in architettura

Abstract

L'integrazione vegetazionale in architettura costituisce da anni tematica di grande interesse.

Seppur in maniera altalenante, le soluzioni tecnologiche che integrano apparati vegetali hanno recentemente visto estendersi il quadro delle possibilità applicative: schermi verdi per fronteggiare il soleggiamento, green façades e living walls in grado di ridurre le temperature superficiali dell'involucro edilizio, tetti verdi per edifici ad alte prestazioni sono solo alcune delle terminologie oggi in uso per descrivere le diverse ibridazioni del verde con il costruito.

In tale contesto, il presente contributo è finalizzato all'indagine delle applicazioni tecniche derivanti dalle molteplici specificità dell'uso dell'elemento vegetale in architettura. Con esso, ci si propone di analizzare le diverse soluzioni oggi a disposizione del progettista attraverso l'analisi di un campione di architetture contemporanee ritenute significative quali esempi di progettazione sostenibile ed innovativa. Scopo di tale analisi è quello di produrre una sintesi critica sulle applicazioni vegetali in architettura, al fine di fornire uno spunto di riflessione su limiti e linee di futuro sviluppo per un'efficace integrazione vegetazionale alla scala architettonica.

Parole chiave: Verde vertical, Tetti verdi, Integrazione vegetazionale, Architettura sostenibile, Progettazione ambientale.

Introduzione

L'integrazione vegetazionale in architettura costituisce da anni tematica di grande interesse per via dei molteplici benefici che produce. I primi esempi di applicazioni vegetali hanno origini assai remote, addirittura probabilmente risalenti alle epoche preistoriche, dove l'uso della vegetazione veniva associato ad esigenze di protezione e mimetizzazione nell'ambiente circostante. È solo con la metà del XVII sec. però, che il verde pensile comincia a venire impiegato come mezzo per incrementare la salubrità degli ambienti densamente antropizzati, venendo così considerato non soltanto per le sue valenze estetiche ma anche in ragione di quelle sociali ed igieniche, quale importante elemento di compensazione e mitigazione urbana.

Nella prima metà del XX sec. dunque, il rapporto tra edificio e ambiente diviene sempre più stretto, come testimoniato anche dalla diffusione dell'elemento vegetativo nelle esperienze moderne: quale elemento funzionale ai fini abitativi.

La diffusione di elementi vegetali impiegati come componenti edilizi comincia a divenire prassi, sospinta dalla continua emanazione di normative rivolte, da un lato, a proteggere il consumo di suolo e, dall'altro, a massimizzare strategie di tipo passivo per l'efficienza energetica del costruito.

Seppur in maniera altalenante, influenzate dalle molteplici e mutabili tendenze in atto, le soluzioni

tecnologiche che integrano apparati vegetali hanno recentemente visto estendersi il quadro delle loro possibilità applicative: schermi verdi per fronteggiare il soleggiamento, green façades e living walls in grado di ridurre le temperature superficiali dell'involucro edilizio, tetti verdi per edifici ad alte prestazioni sono solo alcune delle terminologie usate per descrivere le diverse ibridazioni del verde con il costruito. Da elemento decorativo, la componente vegetale diviene elemento tecnico del progetto, dispositivo funzionale, componente per il controllo microclimatico [1], capace di incidere sulle interazioni energetiche tra edificio e ambiente esterno, migliorando le condizioni di comfort ambientale e limitando le dispersioni termiche, oltre ad essere in grado di filtrare fino al 70% delle polveri presenti nell'aria [2].

Nel contesto così delineato, il presente contributo, dopo aver analizzato le diverse soluzioni realizzative oggi a disposizione, mira a produrre – attraverso l'analisi di un campione di architetture contemporanee ritenute rappresentative – una sintesi critica circa le applicazioni vegetali in architettura, al fine di fornire uno spunto di riflessione su limiti e linee di futuro sviluppo per una loro efficace integrazione alla scala architettonica.

L'integrazione vegetazionale in architettura e le sue applicazioni tecniche

Le diverse soluzioni realizzative che prevedono l'uso dell'elemento vegetale in architettura sono oggi perlopiù rivolte a specifici elementi tecnici il cui dominio di applicazione è quello dell'involucro edilizio; tuttavia si segnalano tecnologie di inverdimento rivolte alla mitigazione paesaggistica di opere di carattere ingegneristico, escluse dalla presente trattazione. Le applicazioni correnti più diffuse sono senz'altro quelle legate alla realizzazione di superfici inverdite in copertura, i cosiddetti tetti verdi. (Fig. 1)

Va detto innanzitutto che esiste differenza tra giardino pensile e tetto verde [3] sebbene nel linguaggio non specialistico si tenda a considerarli termini alternativi. Si parla infatti di giardino pensile quando la vegetazione definisce un luogo fruibile direttamente collegato con l'edificio, collocandosi su uno degli strati funzionali del pacchetto di copertura. Trattasi invece di tetto verde quando l'ultimo elemento estradossale è vegetale e la copertura non è necessariamente destinata ad essere fruita. Un tetto verde può essere di tipo intensivo, quando presenta un livello di fruizione paragonabile a quello dei giardini a terra [4], o estensivo, quando non consente l'utilizzabilità della copertura. Nel primo caso possono venire impiegate molteplici specie vegetali, seppur a fronte di un substrato culturale molto spesso (capace di raggiungere addirittura i 100 cm); di conseguenza, gli apporti nutritivi e irrigui sono costanti e necessitano di manutenzione regolare. Nel secondo caso invece, è possibile impiegare strati di terreno di spessore decisamente ridotto (a partire da 8 cm); l'adozione di essenze di tipo "sedum²" fa sì che tali tipologie di coperture necessitino di scarsa manutenzione. In generale, tali soluzioni, per via della presenza di acqua negli strati superficiali della chiusura superiore di involucro, oltre che delle attività microbiologiche connesse alla presenza del terriccio e della vegetazione nonché dell'esistenza delle radici, richiedono accorgimenti mirati in fase progettuale. Per contro, il vantaggio derivante dalla loro adozione è significativo sia sul fronte dell'isolamento termico sia di quello acustico, grazie alla capacità inerziale del terreno, così come a livello microclimatico, grazie ai processi di evapotraspirazione che permettono un raffrescamento sensibile della temperatura dell'aria durante la stagione estiva, contribuendo alla riduzione dell'effetto isola di calore. In aggiunta a ciò, l'adozione di tetti giardino consente di ottimizzare le risorse idriche, alleggerendo il carico sulla rete fognaria in ambienti fortemente urbanizzati [5].

La seconda tipologia di ibridazioni vegetali più diffusa è senza dubbio quella delle applicazioni verticali. Le facciate inverdite o green façades (Fig. 2), possono essere distinte in dirette o indirette. Nel primo caso la vegetazione è integrata nell'involucro e direttamente ancorata alle strutture dell'edificio attraverso reti o

tralicci; nel secondo caso, lo strato vegetativo è accostato alla parete perimetrale, separato rispetto a quest'ultima mediante dispositivi di supporto. Al primo gruppo, definito anche verde low-tech [1], appartengono tutte le applicazioni nelle quali l'elemento vegetale è ancorato alla muratura retrostante, sulla quale può crescere direttamente; al secondo gruppo invece, definito verde high-tech [1], appartengono tutti i sistemi capaci di ospitare le radici delle piante direttamente sulla seconda pelle di involucro, mediante pannelli, feltri o contenitori ancorati alla facciata per mezzo di sottostrutture di sostegno.

Ulteriore declinazione di verde verticale sono i cosiddetti living walls, o vertical gardens, concepiti come giardini verticali e generalmente costituiti da pannelli modulari pre-inverditi³ dotati principalmente di funzione decorativa. Poiché generalmente comportano esigenze manutentive maggiori rispetto ai precedenti, gran parte di tali sistemi sfrutta tecnologie idroponiche per ridurre la manutenzione necessaria, integrando direttamente nei pannelli i dispositivi per l'irrigazione ed il deflusso. In rari casi, tali sistemi hanno un funzionamento di tipo attivo, ovvero vengono sfruttati per depurare l'aria attraverso l'elemento vegetativo per poi reimmetterla all'interno dell'edificio attraverso dispositivi di ventilazione meccanica controllata.

I principali vantaggi derivanti dall'adozione delle suddette soluzioni tecnologiche sono senz'altro sul piano microclimatico: la presenza di un layer vegetale, contenente di fatto aria al suo interno, contribuisce all'aumento dell'inerzia termica del pacchetto di chiusura e, conseguentemente, del suo livello di isolamento termico. Uno strato costante di 5 cm di aria tra strato vegetazionale e chiusura esterna presenta infatti un coefficiente di trasmissione del calore pari a 2,9 W/m²K⁴. Durante la stagione invernale inoltre, la vegetazione offre protezione all'edificio nei confronti dei venti dominanti. Significativa è anche l'azione di abbattimento del rumore proveniente dall'esterno; è stato dimostrato infatti che l'adozione di facciate inverdite consente l'abbattimento del rumore proveniente dall'esterno di un valore compreso tra 2,5 e 3 dB, riducendo al contempo il riverbero tra edifici contigui. La presenza vegetativa infine, grazie allo svolgimento di un'azione filtrante e depurativa⁵, consente un miglioramento della qualità dell'aria ed, in generale, del microclima circostante, con effetti positivi anche sul piano percettivo.

Ultima variante delle applicazioni vegetali verticali è costituita dagli schermi solari (Fig. 3) che impiegano pelli vegetali come strumenti di controllo climatico grazie alla loro capacità di intercettare la radiazione solare. Chiaramente, l'effetto è funzione della specie vegetale scelta, dell'età della pianta e del periodo dell'anno; il verde verticale, se correttamente impiegato in termini di essenza e modalità applicative, fornisce prestazioni adattabili alla variabilità stagionale, consentendo di raggiungere prestazioni soddisfacenti, e a volte anche maggiori rispetto ai dispositivi schermanti convenzionali, anche dal punto di vista dell'isolamento acustico.

Di fatto dunque è possibile affermare che la vegetazione è in grado di sostituire efficacemente elementi architettonico-tecnologici di vario genere, grazie alla sua capacità di agire sulle interazioni energetiche tra edificio ed ambiente esterno (Fig. 4).

Esperienze di progettazione sostenibile e innovativa

Al fine di indagare le possibilità applicative oggi a disposizione, è stato preso in esame un campione di circa 50 edifici, selezionati tra gli esempi più significativi di integrazione vegetazionale in architettura, seppur, per ragione di sintesi, è stato qui descritto un campione assai ridotto, costituito da un edificio per ciascuna delle tre tipologie precedentemente presentate; la scelta è ricaduta su essi in funzione del loro ruolo rappresentativo per la particolare tecnologia impiegata, senza volontà di sintesi bensì cercando di analizzare le diverse soluzioni adottate in funzione dei risolutati attesi.

California Academy of Sciences (2008), RPBW, San Francisco (CA), Stati Uniti.

Tra i diversi esempi costruiti, l'edificio di Renzo Piano costituisce senz'altro un importante riferimento, non foss'altro per la dimensione della superficie a verde: quasi 50.000 mq realizzati mediante circa 1,9 mln di varietà autoctone di graminacee, perlopiù perenni e sempreverdi. Le specie selezionate, prima di venire impiantate sulla copertura del museo sono state fatte crescere per un anno all'interno di contenitori in fibre di cocco, poi biodegradatesi, divenendo parte dell'ecosistema dell'edificio una volta installate. Tale copertura rappresenta una vera e propria sperimentazione volta a dimostrare la sostenibilità della costruzione ottenuta; la grande massa termica consente infatti un aumento significativo dell'inerzia e dunque delle capacità isolanti del pacchetto di chiusura superiore; la forma ondulata, oltre a riflettere la morfologia degli spazi interni al museo, contribuisce alla movimentazione delle masse di aria, favorendo un'accelerazione delle brezze tale da massimizzare il contributo della ventilazione naturale, grazie anche alla presenza di lucernari apribili in modo automatizzato in base alla temperatura dell'aria interna (Fig. 5).

Musée du Quai Branly (2002-2006), Jean Nouvel, Parigi, Francia.

Realizzato in stretta collaborazione con il paesaggista G. Clement ed il botanico P. Blank, il museo costituisce uno degli esempi più noti di integrazione vegetazionale grazie ad una superficie inverdita di circa 800 mq, estesa all'intera facciata e costituita da 150 specie di piante differenti (Fig. 6). La tecnologia impiegata per la realizzazione del muro vegetale è di tipo indiretto; la vegetazione infatti non aderisce alla facciata bensì è giustapposta a quest'ultima attraverso una struttura metallica in soluzione ventilata; ciò è reso possibile dall'integrazione dello strato vegetale con una lastra di PCV espanso spesso 1 cm, rivestita da due strati di feltro in poliammide rinforzato che ne consentono l'attecchimento e lo sviluppo; un sistema di irrigazione automatico integrato nel sistema² consente di limitare le operazioni di manutenzione.

Edificio a destinazione specialistica "Ex Ducati" (2007), Mario Cucinella, Rimini, Italia.

Schermo verde realizzato apponendo all'edificio una doppia pelle grigliata in acciaio inox a supporto dello sviluppo della vegetazione rampicante, posizionata in grandi vasche al livello del piano di campagna (Fig. 7). Il sistema così definito ha permesso anche la fruizione dell'intercapedine tra le due pelli, grazie alla realizzazione di un ballatoio che pone in collegamento i locali retrostanti lo schermo vegetale con l'esterno. Le chiusure verticali di involucro alternano porzioni traslucide a porzioni opache, garantendo il giusto apporto di illuminazione interna senza compromettere le esigenze di privacy degli occupanti.

Conclusioni, limiti e linee di futuro sviluppo

A valle di tale trattazione, risultano evidenti i vantaggi che l'integrazione vegetazionale in architettura comporta, tanto a livello bioclimatico quanto a livello percettivo. Applicazioni di questo tipo, seppur apparentemente diversificate tra loro, possono in realtà essere ricondotte per la quasi totalità alle tre tipologie qui discusse, chiaramente declinandone gli specifici aspetti tecnologici.

A fronte dei soprarichiamati vantaggi però, sussistono ancora questioni complesse, legate più che altro ai costi elevati di tali tecnologie, talvolta superiori ai benefici che derivano dalla loro applicazione. Tra i principali ostacoli alla loro piena diffusione vi è la difficoltà, da un lato, nel quantificarne gli apporti positivi e, dall'altro, nel comparare l'efficacia delle soluzioni adottate, per via della discrezionalità di misurazione dei diversi parametri microclimatici (diversi sistemi costruttivi, specie differenti e soprattutto viventi, diverse condizioni al contorno, e così via); va detto inoltre che tali sistemi necessitano di più risorse, sotto tutti i fronti, rispetto ad una struttura convenzionale.

La sfida principale, per chi opera in tale domino, è dunque dimostrare la sostenibilità tali sistemi anche dal punto di vista economico, in qualità di risorsa preziosa per le politiche di sviluppo e recupero del costruito, specialmente all'interno dell'area mediterranea. La ricerca dunque deve progredire superando le difficoltà tecniche attraverso la standardizzazione dei parametri morfologici e tipologici propri di ciascuna possibilità applicativa, affinché, tanto i valori di riferimento quanto gli aspetti tecnici legati alla loro integrazione, possano venire identificati e sistematizzati in un substrato comune, a partire dal quale formulare elaborazioni progettuali – variabili a seconda delle specificità dei diversi contesti di applicazione – in grado di determinare benefici ad una scala più vasta rispetto a quella del singolo edificio.

NOTE

1. Le Corbusier, tra i primi, nel suo *Vers une architecture* (1923), propone l'utilizzo del verde nelle coperture piane in virtù del suo enorme potenziale tecnico quale massa termoregolatrice.
2. Varietà di piante erbacee perenni a sviluppo limitato e con elevata resistenza allo stress idrico e termico.
3. Grazie alla presenza di substrato culturale al loro interno.
4. Valore paragonabile a quello di una vetrata isolante con aria in intercapedine.
5. Prelevando anidride carbonica dall'aria circostante, la vegetazione produce ossigeno, rimuovendo fino all'87% delle sostanze inquinanti.
6. Costituito da tubi di irrigazione in polipropilene.