

FACCIAE VERDI

I sistemi a verde verticale: facciate verdi e pareti "vegetate"

Enrico Sergio Mazzucchelli* - Sofia Pastori* - Giacomo Scrinzi* - Martino Milardi**

* Dip. ABC - Politecnico di Milano

** Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dip. ArTe

Negli ultimi anni, l'utilizzo di coperture verdi si è mostrato una pratica ormai consolidata, mentre il pieno potenziale dei sistemi di verde verticale non è, ad oggi, ancora completamente sfruttato. Infatti, accanto al verde urbano, che richiede comunque disponibilità di spazio orizzontale intorno al costruito, in zone intensamente edificate assume particolare rilievo il verde direttamente integrato nell'edificio, così come il verde a servizio di spazi filtro, ossia di quegli spazi aperti e protetti lateralmente e/o superiormente da manti vegetali che connettono lo spazio interno di un edificio con quello esterno, e che funzionano da nicchie microclimatiche.

Le i sistemi a verde verticale (VGS – Vertical Green Systems) possono essere suddivise in due gruppi principali, in base alle caratteristiche del sistema: Green Façades (GFs) e Living Wall Systems (LWSs). Le facciate verdi sono caratterizzate da pochi elementi costitutivi e da un livello di integrazione tra piante e supporto molto semplice. Di solito tali sistemi consistono in essenze rampicanti coltivate in vasche/fioriere o vasi posti alla base della facciata di un edificio, oppure da piante poste in contenitori installati a più livelli rispetto al piano di campagna. Il "rivestimento" verde della facciata può essere totale o parziale ma, in ogni caso, è necessario verificare che non vi siano interazioni negative tra vegetazione e facciata retrostante, così come tra vegetazione e involucro trasparente.

A loro volta, le facciate verdi possono essere classificate in due ulteriori categorie:

- facciate verdi "dirette" (direct green façades), composte da rampicanti autoaderenti, caducifoglie o sempreverdi, con coltivazione a terra e che utilizzano l'involucro come supporto diretto. Possono svolgere un ruolo bioprotettivo, riducendo gli estremi di temperatura della parete, ma in alcuni casi possono anche danneggiare la superficie della parete stessa;
- facciate verdi "indirette" (indirect green façades), dove le piante rampicanti sono sostenute da un supporto strutturale per la crescita della vegetazione, generalmente costituito da guide continue o modulari. In questo caso, la sottostruttura portante assume diverse funzioni: supporta e sostiene la ve-



Figura 01 – Possibili modalità di integrazione del verde nell'involucro edilizio (fonte: Wang, X., Gard, W., Borska, H. et al. Vertical greenery systems: from plants to trees with self-growing interconnections. Eur. J. Wood Prod. 78, 1031–1043 (2020))



Figura 02 – Esempio di integrazione di facciate verdi verticali ed inclinate (fonte: www.sapsistemi.it)



Figura 03 – Esempio di soluzione di parete verde con verde rampicante su apposita sottostruttura (www.geoplastglobal.com)

gettazione, crea un'intercapedine d'aria tra la superficie dell'edificio e la vegetazione, aumenta la resistenza del sistema alle azioni ambientali come pioggia, vento, neve, etc.

A differenza delle facciate verdi, i Living Wall Systems, anche noti come pareti "vegetate", integrano nella soluzione stessa di chiusura molteplici "contenitori", che contribuiscono a creare una vera e propria superficie vegetale. Si tratta di una soluzione diffusa che, a differenza delle facciate verdi, non dipende da un limitato numero di piante che si arrampicano e si diffondono sulla facciata. Essa infatti unisce vegetazione, terreno di coltura, irrigazione e drenaggio in un unico sistema, consentendo una rapida ed immediata copertura di grandi superfici e una crescita più uniforme lungo la superficie verticale. Le pareti vegetate sono soluzioni a tutti gli effetti integrate nell'involucro e sono costituite da una struttura verticale di ridotto spessore, autoportante o addossata alla muratura, che ospita in modo permanente elementi vegetali con impianti di irrigazione integrati. Le pareti vegetate possono essere classificate in continue o modulari, a seconda della loro modalità di realizzazione: i sistemi continui si basano su schermi leggeri e permeabili in cui le piante sono inserite singolarmente, mentre i sistemi modulari sono costituiti da elementi con una dimensione specifica, che includono i substrati di coltivazione. Le pareti vegetate continue sono composte da un telaio fissato alla parete di supporto, che crea una intercapedine tra il sistema di parete verde e la superficie della parete stessa. La sottostruttura sostiene i pannelli di base della vegetazione, mentre la parete è protetta da strati di barriere impermeabili, traspiranti e anti-radice, mentre lo strato esterno dei pannelli viene inciso per formare delle tasche per l'introduzione delle singole piante. Le pareti vegetate modulari possono presentare elementi di forme diverse (contenitori, vasi, fioriere, etc.), richiedendo una sottostruttura specifica caso per caso. Questi elementi, nei quali viene predisposto il substrato vegetativo e dove vengono inserite le diverse piante, vengono montati in

facciata e sono predisposti per il deflusso dell'acqua da un elemento all'altro. In questi sistemi, il substrato viene appositamente preparato e l'acqua di irrigazione viene arricchita di composti, per lo più inorganici, assunti normalmente con la nutrizione minerale. Il substrato di coltura mantiene solo le funzioni fisico-meccaniche del terreno. Le funzioni che il substrato e l'irrigazione devono garantire sono: sostegno dell'apparato radicale, protezione dell'apparato radicale da intemperie e sbalzi termici, possibilità per le radici di svilupparsi e crescere, capacità di assorbire acqua e cederla gradualmente alle radici senza creare fenomeni di ruscellamento, capacità di far circolare l'aria per evitare asfissie radicali, asetticità ed inerzia chimica, durabilità nel tempo, convenienza economica e facile reperibilità. I substrati impiegati non hanno in genere una composizione e una massa sufficienti a trattenere l'umidità per lunghi periodi, per cui l'acqua in eccesso va raccolta e possibilmente messa in ricircolo.



Figura 04 – Fase di manutenzione di una parete verde con operatori in fune (fonte: www.pareteverdi.com)

Figura 05 – Esempio di facciata verde in atrio interno (fonte: www.newenergyorganism.com)



Una ulteriore tipologia di verde integrato nell'involucro edilizio prevede la realizzazione di vasche-fioriera su balconi posti ai vari piani di un edificio, dove possono essere ospitati alberi anche di dimensioni significative. In questo caso, le essenze e gli alberi non utilizzano la facciata come supporto per la loro diffusione: si tratta quindi di una integrazione puntuale, ma che può comunque apportare, se ben valutata, benefici significativi.

I benefici delle facciate verdi variano a seconda di molti fattori, come la posizione geografica e il clima, la geometria dell'edificio, l'orientamento, le specie vegetali, i componenti e i sistemi utilizzati. Secondo la guida tecnica *Green Walls in High-Rise Buildings* (2014), questi benefici possono essere riconosciuti a due differenti livelli, cioè a "scala urbana" e a "scala di edificio". Tra i vantaggi rilevabili a scala urbana, si evidenziano: riduzione dell'effetto isola di calore urbano, miglioramento della qualità dell'aria e assorbimento di polveri, aspetti estetici, garanzia di biodiversità e habitat per animali. A livello di edificio, i vantaggi sono riconducibili alla riduzione delle temperature di picco superficiali dell'involucro, al miglioramento della qualità dell'aria e alle proprietà fonoassorbenti delle superfici verdi.

Se si considera l'effetto isola di calore urbano, consistente nella differenza di temperatura tra i centri urbani e le aree di campagna circostanti, è evidente come sia diventato negli ultimi anni un problema serio in molte città. Esso è causato principalmente dalle caratteristiche termiche e radiative dei materiali che costituiscono le superfici urbane (asfalto, calcestruzzo, materiali lapidei, etc.) nelle quali prevale l'assorbimento della radiazione solare rispetto alla riflessione, ma è ormai ampiamente riconosciuto come una delle possibili e più efficaci strategie per mitigare l'effetto dell'isola di calore

sia l'introduzione di superfici verdi, attraverso l'integrazione diffusa di parchi, tetti verdi e pareti verdi.

Gli effetti a livello microclimatico, connessi a un utilizzo della vegetazione integrata al costruito, derivano principalmente da una riduzione del flusso termico entrante in un edificio attraverso ombreggiamento, riflessione della radiazione solare, riduzione degli scambi convettivi e assorbimento di energia solare impiegata per processi fotosintetici e processi evapotraspiratori. Infatti, la radiazione solare che incide su una massa vegetale viene da questa in parte riflessa e trasmessa, in parte assorbita e impiegata nei processi fotosintetici, in parte dissipata in atmosfera come calore latente e calore sensibile derivante dai processi evapotraspiratori.

L'ombreggiamento della vegetazione può contribuire in modo significativo al raffrescamento passivo degli edifici: esso può determinare una attenuazione della temperatura massima raggiunta dalla superficie interna della chiusura e uno sfasamento significativo dell'onda termica. Inoltre, considerando il fatto che la quantità di calore latente dissipato per traspirazione dalle superfici vegetali, non soggette a stress idrico e in clima caldo-secco, è molto elevata, risulta che la presenza di aree verdi in ambiente urbano può contribuire a correggere situazioni di surriscaldamento estivo, riducendo localmente i picchi di temperatura. Gli effetti microclimatici dovuti all'evapotraspirazione sono riscontrabili soprattutto in aree poco ventilate, ma esposte all'incidenza di una forte radiazione solare. L'abbassamento delle temperature è minimizzato in presenza di singoli alberi, mentre diventa significativo in caso di integrazione di ampie zone verdi.

La vegetazione in facciata può contribuire efficacemente alla protezione della parete di supporto dall'azione combinata di pioggia e vento, costituisce un ottimo filtro per le polveri e consente di ridurre i picchi di temperatura superficiali nella stagione estiva. Riducendo le variazioni giornaliere di temperatura superficiale, i sistemi verdi aiutano anche a controllare

Figura 06 – Bosco Verticale, Milano (fonte: <https://avvenia.com>)



Figura 08 – Living Wall e sistema di accesso in facciata per operazioni di manutenzione periodiche
<https://www.repl.global>

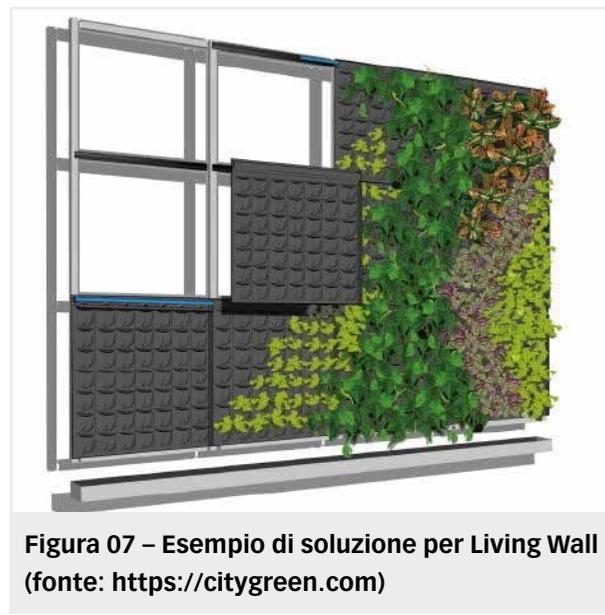


Figura 07 – Esempio di soluzione per Living Wall
 (fonte: <https://citygreen.com>)

gli effetti delle dilatazioni termiche cicliche nei materiali da costruzione che costituiscono l'involucro. In giornate estreme e considerando anche gli scambi radiativi, in una località con clima temperato la temperatura di una facciata può variare anche tra -10°C e 60°C , mentre la temperatura di una facciata ricoperta di piante oscilla solo tra 5°C e 30°C (Osler, Wood, Bahrami, & Stephens, 2011). Se si considera un manto vegetale non deciduo, tale effetto è amplificato dal fenomeno del fototropismo delle foglie, che si muovono seguendo l'inclinazione della radiazione solare durante l'arco dell'anno: nella stagione estiva esse si sollevano orientandosi verso la direzione dei raggi solari, consentendo in tal modo il passaggio d'aria tra le foglie e la parete, mentre in inverno, quando l'attività metabolica è ridotta, la foglia si piega verso il basso ricoprendo le altre foglie, formando un manto pressoché continuo che protegge la retrostante muratura dagli agenti atmosferici.

Ulteriori benefici sono stati rilevati in termini di miglioramento della qualità dell'aria esterna, in quanto è noto che le piante sono in grado di intrappolare particelle sospese nell'aria nel loro fogliame e di assorbire inquinanti gassosi dall'atmosfera, così come particelle di metalli pesanti, inclusi cadmio, rame, piombo e zinco. Infine, le pareti verdi fittamente ricoperte di vegetazione possono avere un effetto fonoassorbente sui rumori urbani, fornendo allo stesso tempo un richiamo sia visivo che uditivo della natura in ambienti altrimenti intensi e altamente urbanizzati.

La progettazione di una parete verde implica un approccio di tipo interdisciplinare. E' necessario valutare l'insieme delle principali variabili microclimatiche, tra cui radiazione solare

media mensile (diretta ed indiretta), umidità media giornaliera e mensile, velocità e direzione del vento, temperatura dell'aria massima e minima (massimo minimo, medio giornaliero, stagionale), numero medio di giorni di gelo (la temperatura minima che una specie può sopportare è uno degli aspetti fondamentali da considerare nella fase di scelta delle essenze), frequenza ed intensità di precipitazioni di tipo nevoso, precipitazioni medie mensili, incremento di peso in caso di pioggia e neve, etc. Fondamentale è l'esposizione della facciata alla radiazione solare e il contesto ambientale in cui la stessa dovrà essere realizzata: strutture urbane ad alta densità ed elevata altezza degli edifici non consentono (per l'assenza di luce sufficiente in prossimità della base degli edifici o per eccessive sollecitazioni dovute all'azione del vento nei piani più alti) l'impiego di tali soluzioni, oppure indirizzano verso la scelta di essenze particolari. Le caratteristiche di crescita e sviluppo delle piante (dimensioni massime in altezza e ampiezza, diametro dei fusti, ritmo di crescita, peso del verde in condizioni di asciutto e in condizioni di pioggia o con carichi aggiuntivi dovuti a nevicata, etc.) e le relative modalità di ancoraggio (una pianta rampicante può raggiungere un peso di anche $10\text{-}40\text{ kg/mq}$), le caratteristiche della facciata, quali l'altezza e l'estensione della superficie da ricoprire, la struttura e i materiali della superficie muraria di ancoraggio dei rampicanti autosostenenti o delle eventuali sottostrutture, le modalità di accesso e manutenzione della parete stessa, sono solo alcuni degli aspetti che devono essere considerati e valutati in fase di progettazione.

In primo luogo, occorre valutare stabilità strutturale e sicu-

rezza: le sottostrutture di ancoraggio del verde, così come le strutture di balconi ed elementi a sbalzo devono essere progettate per sopportare carichi propri molto elevati, in particolare pesi di alberi e terreno. Inoltre, soprattutto in caso di alberi ed essenze posizionati ad elevata altezza (soprattutto in edifici a torre), occorre considerare che le sollecitazioni saranno ben maggiori rispetto a quelle a cui sono soggetti alberi al piano di campagna (in particolare considerando l'azione del vento): la rottura del tronco, dei rami o lo sradicamento potrebbero avere conseguenze molto pericolose per utenti dell'edificio e per chi si trovasse nelle immediate vicinanze. Un ulteriore aspetto di sicurezza è legato al comportamento in caso di incendio: gli alberi potrebbero contribuire alla propagazione di un incendio in facciata, per cui occorre adottare specifici accorgimenti per ridurre tale rischio.

Dopo la selezione delle specie vegetali, occorre pianificare la fase costruttiva: vasche, fioriere, contenitori vanno progettati in modo accurato per quanto concerne dimensioni, materiali, sistema di impermeabilizzazione, così come l'integrazione e l'interfaccia con sistemi di irrigazione e di scarico. Particolare cura va riservata agli aspetti operativi di messa a dimora, spostamento o sostituzione di alberi ed essenze previste a progetto. A tal riguardo, fondamentale è il programma di manutenzione, con le relative procedure: gli alberi devono essere periodicamente potati e devono essere evitate crescite eccessive o anomale. Nel caso di pareti verdi, la messa a dimora in vaso implica necessariamente la predisposizione di un opportuno sistema di irrigazione automatico e un maggiore controllo dello stato di salute delle piante. Anche se il sistema comporta oneri di gestione più elevati, va considerato che la distribuzione delle rampicanti secondo fasce orizzontali può

consentire una scelta differenziata delle essenze in funzione della quota di messa a dimora. In caso di piante rampicanti autosostenenti sono da evitare le superfici eccessivamente chiare (che riflettono molto) e quelle che si scaldano facilmente. In caso di piante che necessitano di sottostruttura di sostegno, la sua scelta, configurazione e distanza dalla parete deve tenere conto delle modalità di ancoraggio del rampicante, ma anche delle caratteristiche morfologiche dell'edificio. Il materiale della sottostruttura deve garantire: durabilità, assenza o riduzione della manutenzione, resistenza prolungata a sopportare carichi in tempi lunghi, superfici non eccessivamente lisce, buona resistenza a eventuali sollecitazioni prodotte dalla crescita delle piante, tenendo conto delle modalità con cui le diverse essenze rampicanti si aggrappano alla sottostruttura stessa. La struttura rigida può essere pensata come elemento indipendente o integrata alla parete di supporto, e può essere costituita da: pannelli reticolari (grigliati) di diversa forma, montanti verticali (tralicci), strutture stampate. La sottostruttura di supporto può essere realizzata in legno (lamellare per garantire la resistenza, trattamento con impregnanti per garantire resistenza agli agenti atmosferici), metallo (da valutare il riscaldamento se esposto al sole, che può inibire la crescita delle piante), materiale sintetico fibrorinforzato (polietilene rinforzato con fibre di vetro). Le strutture tesate consistono in semplici cavi in tensione o in reti elettrosaldate fissate direttamente alla facciata, oppure in supporti principali rigidi posti a intervalli di 20-100 cm. Il carico derivante da sottostrutture e piante da queste sostenute deve essere riportato alla struttura principale dell'edificio in corrispondenza dei suoi elementi portanti (travi e pilastri), utilizzando il tamponamento di supporto solamente per l'ancoraggio dei controventi della

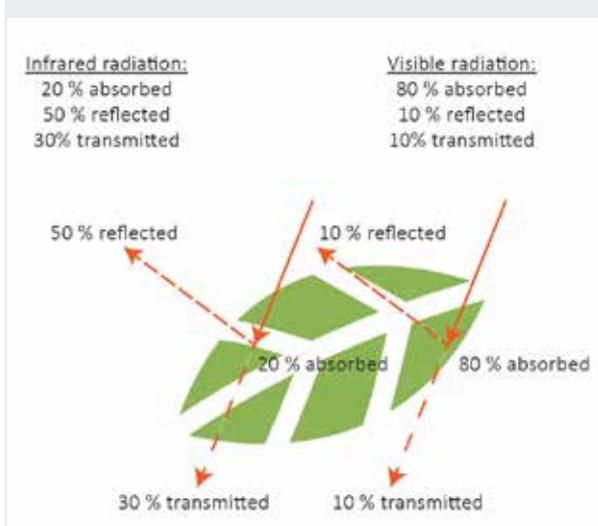


Figura 09 – Utilizzo di facciata verde in atrio interno (fonte: <https://www.boma.org>)



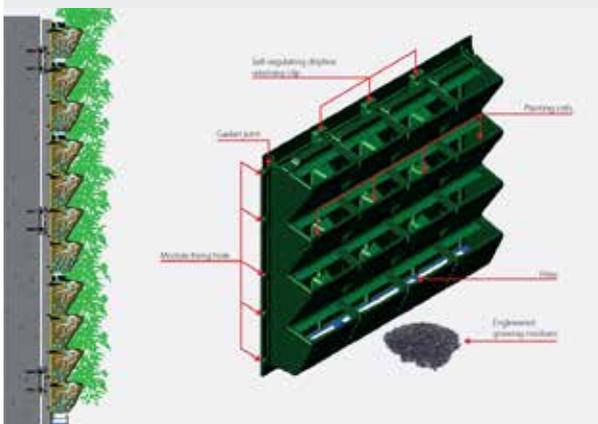
Figura 10 – Living Wall e sistema di accesso in facciata per operazioni di manutenzione periodiche (fonte: <https://fytogreen.com.au>)

Figura 11 – Comportamento del manto in foglie nei confronti della radiazione solare incidente.



**Figura 12
Sistemi di
sicurezza per
ancoraggio di
alberi posti in
quota.**

Figura 13 – Esempio di sistema di irrigazione di parete verde (<https://bynaturedesign.ca>).



sottostruttura. La progettazione e l'organizzazione delle sottostrutture deve tenere conto di: peso proprio e della massa vegetale, influenza degli agenti atmosferici (vento, pioggia, carico da neve), eventuali modifiche degli stati pensionali delle strutture dovute allo sviluppo di essenze e/o alle variazioni dimensionali lineari.

Nei primi anni dalla messa a dimora delle piante si rendono necessari sia il controllo dello sviluppo vegetativo, sia il fessaggio opportuno dei rampicanti ai loro sostegni, in modo da distribuire uniformemente il verde sulla facciata. Gli interventi di potatura si rendono necessari per il controllo della crescita delle piante, per favorire un'intensa fioritura primaverile, ridurre i carichi invernali. L'ordinaria manutenzione dello strato vegetale può essere ridotta grazie a sistemi di fertilizzazione e irrigazione automatizzati, che forniscono alla vegetazione acqua, sostanze nutrienti e protettivi da funghi e parassiti. Ne consegue che questi stessi impianti sono a loro volta soggetti a interventi di manutenzione ordinaria, per assicurarne il corretto funzionamento. Il costo della manutenzione dell'apparato verde del giardino verticale rimane superiore a quello di un involucro tradizionale e prevede anche interventi straordinari, nel caso di eventuali malattie di alcune essenze e per specifiche cure da prevedere annualmente. In assenza di una corretta manutenzione dei giardini verticali, o in assenza di tutte le attenzioni necessarie in fase di realizzazione e progettazione, la struttura perde la propria funzione. La gestione delle pareti verdi è un'attività varia, che interessa l'apparato vegetale superficiale, i sottosistemi tecnologici di mediazione fra piante e parete e i sottosistemi impianto – nutrizione per la vita dei vegetali. La manutenzione di feltri e impianto di fertirrigazione, la manutenzione del verde, la pulizia del secco ed eventuali operazioni di potatura devono essere eseguite di norma almeno tre volte in un anno.

In definitiva, dal punto di vista delle prestazioni energetiche, il verde in facciata può portare a significativi benefici ben valutato nelle fasi di progettazione e costruzione. La vegetazione, per ogni tipologia di verde integrato sopra descritto, è caratterizzata da crescita e cambiamenti, che devono essere controllati con interventi di verifica e manutenzione periodica, specie in caso di essenze caducifoglie. Tuttavia, occorre considerare anche le attuali criticità correlate ai cambiamenti climatici, sia dal punto di vista della diminuzione delle precipitazioni, sia da quello di eventi climatici estremi. La manutenzione e potatura periodica può ridurre gli effetti di forti venti (rami morti e secchi si possono rompere molto facilmente), mentre impianti per il riutilizzo di acque meteoriche e/o grigie per l'irrigazione diventeranno sempre più importanti per lo sviluppo e la diffusione di queste soluzioni di involucro.