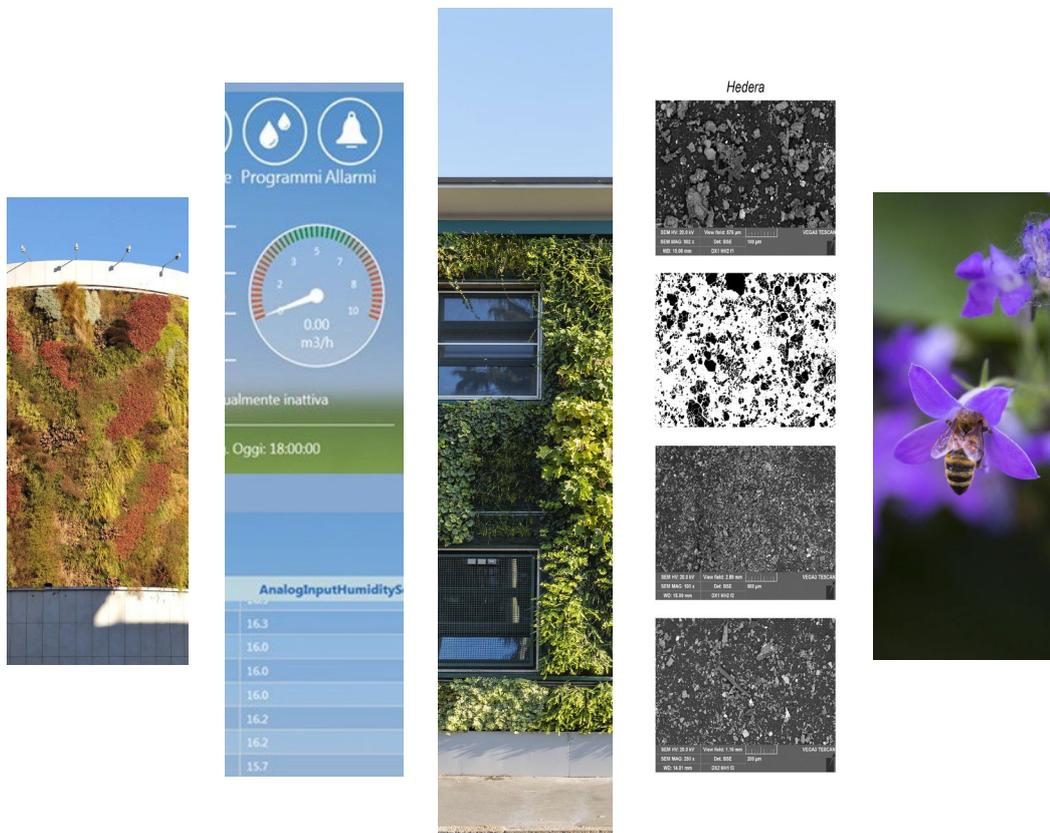


# Linee Guida per il Verde Verticale

Istruzioni per la progettazione, esecuzione,  
controllo e manutenzione delle pareti vegetate

*Paolo Pignataro, Matteo Fiori*



AIVEP - Associazione Italiana per il VERde Pensile  
c/o Fiera di Padova  
via Tommaseo 59 – 35131 Padova  
Codice Fiscale 94058220214  
P.IVA 02251600215

ISBN 979-12-210-3658-9

Documento in formato digitale non riproducibile e non divulgabile  
su web, in toto o in parte, senza il consenso degli autori

In caso di riferimento al documento, citare la fonte come segue:  
*Pignataro Paolo, Fiori Matteo, 2023. Linee Guida per il Verde  
Verticale AIVEP. Istruzioni per la progettazione, esecuzione,  
controllo e manutenzione delle pareti vegetate. AIVEP -  
Associazione Italiana VERde Pensile. ISBN 979-12-210-3658-9*

Edizione del 01/02/2023

Si ringraziano le aziende partecipanti al tavolo di confronto:  
Peverelli Spa, Poliflor Srl, Sundar Italia Srl

# Prefazione

Si stima che la maggior parte degli abitanti del pianeta viva in ambiti urbani ad elevata densità insediativa, con un processo di crescita che sembra non avere sosta. Recenti studi hanno valutato che si arriverà a circa il 70% entro il 2050.

L'antropizzazione degli spazi e la progressiva cementificazione hanno comportato il progressivo allontanamento della natura e l'alterazione degli equilibri ambientali con conseguenze che sono oramai ben visibili a tutti. L'inquinamento dell'aria con sostanze climalteranti e polveri sottili, il progressivo accumulo termico in aree urbane con la formazione di isole di calore, la difficoltà sempre crescente di smaltire le acque portate dai "medicane", sono effetti dei cambiamenti climatici rispetto ai quali è necessario adottare strategie basate sull'utilizzo di strumenti che la natura ci mette a disposizione, applicati con le nuove tecniche che la scienza agronomica ha sviluppato negli ultimi decenni.

Il cosiddetto verde tecnologico si sta sviluppando come principale strumento di applicazione delle NBS (Natural Based Solutions) con risultati oramai consolidati, vista la quantità di progetti realizzati e la capacità di mantenere nel tempo le prestazioni ecosistemiche, in grado di demineralizzare ampie parti di aree urbanizzate.

I principali effetti sono il miglioramento della vita dal punto di vista della salute e del benessere psichico e la riduzione dell'impatto, di città sempre più estese e densamente abitate, sulle campagne e sulle aree naturali circostanti.

Tra le tecniche di reinserimento della natura il verde verticale rappresenta la più recente novità che, a partire dagli esperimenti degli anni '80, ha trovato un sempre più vasto campo di applicazione, anche a fronte di un progressivo abbassamento dei costi di installazione.

Il verde verticale è un giovane e dinamico segmento del paesaggismo, con soluzioni tecniche diversificate e continue sperimentazioni, che non beneficia ancora di una normativa italiana di riferimento nonostante le molteplici applicazioni che si riscontrano nelle nostre città.

Per colmare tale vuoto, la nostra Associazione ha avviato un'attività di ricerca e studio, durata circa due anni, che ha coinvolto studiosi, tecnici esperti, aziende produttrici, installatrici e cultori della materia riguardante le pareti a verde, con competenze specifiche e interdisciplinari. Sono stati anche effettuati approfondimenti sulla letteratura scientifica internazionale, incluse attività sperimentali e di modellazione, che tuttavia, allo stato attuale, sono ancora limitate.

Le Linee Guida AIVEP per il Verde Verticale, si propongono quindi come solida base di riferimento per la progettazione delle pareti vegetate, fornendo ai progettisti, ai produttori, ai realizzatori e a tutti gli stake-holder, un inquadramento di ordine tecnico e scientifico.

La prima versione costituisce il fondamento su cui gli autori stessi e tutti i soci AIVEP lavoreranno nei prossimi anni con aggiornamento continuo, secondo l'evoluzione dello stato dell'arte, della ricerca e della tecnologia.

Presidente AIVEP

Arch. Giorgio Strappazon

## Gli autori



**Paolo Pignataro**

*Ordine dei Dottori Agronomi  
e Forestali di Milano*

Dottore Agronomo specializzato  
nel verde verticale.

Dal 2006 progetta pareti verdi  
sperimentando le diverse  
tecnologie, monitorandone  
l'evoluzione e le prestazioni  
negli anni.

Fornisce consulenza a  
importanti aziende e studi di  
architettura e svolge docenze  
sul verde tecnologico.



**Matteo Fiori**

*Professore associato  
Dipartimento ABC - Politecnico di Milano*

Professore associato presso il  
dipartimento ABC del  
Politecnico di Milano.

Coordinatore dei gruppi di  
lavoro 14 e 33 della  
commissione CT 33 dell'UNI.

Ha coordinato la redazione  
della norma UNI 11235 sulle  
coperture a verde.

# INTRODUZIONE

Negli ultimi anni si è riscontrato un continuo e progressivo interesse per la realizzazione di pareti a verde, in quanto le stesse sono risultate un valido strumento per raggiungere obiettivi di compensazione, mitigazione e miglioramento ambientale, sia a livello puntuale sia su scala territoriale.

Sono infatti evidenti i vantaggi compensativi delle pareti a verde laddove il costruito utilizza una parte di territorio, modificandolo permanentemente; così come una copertura a verde certamente ottiene un effetto di mitigazione dell'impatto ambientale conseguente alla costruzione di un edificio, una parete a verde ne influenza anch'essa il comportamento.

I benefici generati dai sistemi di parete a verde ricadono nelle seguenti principali categorie:

## a) pianificazione urbana

- creazione di superfici verdi;
- miglioramento dell'aspetto urbano;
- miglioramento della qualità dello spazio e dell'ambiente urbano;

## b) valore ecologico

- contributo alla realizzazione dei requisiti di pianificazione del verde;
- contributo alla conservazione ex situ di flora e fauna in ambiente antropico;
- recupero del ciclo idrologico naturale attraverso l'evapotraspirazione;

## c) tutela economica e ambientale

- dispersione degli inquinanti sia in ambiente interno che esterno;
- riduzione della temperatura in ambiente urbano e sulla superficie degli edifici;
- contributo all'assorbimento acustico;
- contributo all'isolamento termico;
- incremento del valore commerciale delle costruzioni;

## d) valore sociale

- miglioramento del benessere psicofisico negli ambienti interni ed esterni
- comfort e arricchimento nei luoghi di socializzazione

# INDICE

1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	7
2 RIFERIMENTI NORMATIVI	7
3 TERMINI E DEFINIZIONI	8
4 REQUISITI	10
5 ISTRUZIONI PER LA PROGETTAZIONE	11
5.1 Generalità	11
5.2 Analisi del contesto	11
5.2.1 Analisi del contesto in ambiente esterno	12
5.2.2 Analisi del contesto in ambiente interno	13
5.3 Progettazione degli aspetti tecnici	14
5.3.1 Capacità agronomica	14
5.3.2 Controllo della distribuzione idrica	14
5.3.3 Controllo della fertilizzazione	14
5.3.4 Controllo della qualità dell'acqua immessa nel sistema	15
5.3.5 Controllo del livello di illuminamento degli ambienti interni ed esterni	15
5.3.6 Controllo della temperatura e umidità degli ambienti interni	16
5.3.7 Mantenimento della concentrazione di anidride carbonica	16
5.3.8 Livello di gestione della parete vegetata	16
5.3.9 Resistenza agli attacchi biologici e ai microorganismi.	19
5.3.10 Attitudine alla biodiversità	19
5.4 Progettazione degli elementi e degli strati della parete vegetata	19
5.4.1 Generalità	19
5.4.2 Elementi, strati e impianti componenti il sistema	19
5.4.2.1 Progettazione dell'elemento di protezione meccanica della parete dell'edificio e dei serramenti	
5.4.2.2 Progettazione dell'elemento di protezione idrica della parete dell'edificio e dei serramenti	20
5.4.2.3 Elementi di supporto strutturale	21
5.4.2.4 Elemento di drenaggio	21
5.4.2.5 Elementi di ancoraggio dell'apparato radicale	21
5.4.2.6 Elemento di accumulo idrico	21
5.4.3 Strato di vegetazione	22
5.4.3.1 Generalità	22
5.4.3.2 Contesto climatico	22
5.4.3.3 Contesto territoriale	22
5.4.4 Impianto d'irrigazione	23
5.4.5 Impianto di fertilizzazione	24
5.4.6 Predisposizioni per lavori di manutenzione in quota	24
5.4.7 Progettazione della Resistenza al fuoco	24

6 SCHEMI FUNZIONALI E CLASSIFICAZIONE DEL SISTEMA	25
6.1 Schemi funzionali	25
6.1.1 pareti verdi senza elementi di accumulo idrico	25
6.1.1 pareti verdi con elementi di accumulo idrico	26
6.2 Schemi impiantistici	27
6.2.1 Irrigazione a ciclo aperto	27
6.2.2 Irrigazione a ciclo chiuso	28
7 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	28
8 MATERIALI E COMPONENTI	29
8.1 Elementi strutturali o di aggancio delle pareti vegetate	29
8.2 Elemento di protezione idrica della parete	29
8.3 Strato di drenaggio idrico	29
8.4 Matrice di accumulo idrico	29
8.5 Rete di distribuzione idrica	30
8.6 Gruppo di partenza dell'impianto	30
8.7 Canaline e cornici deviatrici	30
8.8 Vegetazione delle pareti vegetate	30
9 ISTRUZIONI PER L'ESECUZIONE E L'INSTALLAZIONE	31
9.1 Premessa	31
9.2 Stazione di automazione e controllo dell'impianto di irrigazione	31
9.3 illuminazione funzionale	32
9.4 Impianto di climatizzazione	33
9.5 Adattamento delle piante	33
9.6 Dettagli esecutivi	33
10 CONTROLLI	34
10.1 Generalità	34
10.2 Controllo delle stratigrafie e degli impianti accessori	34
10.3 Controllo impiantistico	34
10.4 Controllo della vegetazione	34
11 GESTIONE DELLE PARETI VEGETATE	35
11.1 Generalità	35
11.2 Fasi della gestione delle pareti vegetate	35
11.2.1 Impostazioni e monitoraggio iniziale	35
11.2.2 Controllo e manutenzione di avviamento a regime	36
11.2.3 Controllo e manutenzione ordinaria	37
11.2.4 manutenzione straordinaria	38
11.3 manutenzione del sistema di drenaggio	38
11.4 manutenzione del sistema di raccolta e smaltimento delle acque	38
11.5 manutenzione degli impianti	38
11.5.1 Interventi su impianto di irrigazione e fertilizzazione	39
11.5.2 ulteriori indicazioni sulla gestione	39

# 1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

Questa pubblicazione raccoglie le linee guida per la progettazione, l'esecuzione, la manutenzione e il controllo di pareti vegetate in ambiente esterno e interno, in funzione delle specifiche situazioni di destinazione d'uso, di ambito climatico e di contesto edilizio e con elementi costitutivi realizzati come indicato nella presente.

Non sono indicati in queste linee guida i requisiti caratteristici delle pareti che non subiscono variazione rispetto all'inserimento di specie vegetali, in quanto si considerano implicitamente richiesti.

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le presenti linee guida rimandano a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti del testo e sono di seguito elencati. Per quanto riguarda i riferimenti datati, successive modifiche o revisioni apportate a dette pubblicazioni valgono unicamente se introdotte nel presente documento come aggiornamento o revisione. Per i riferimenti non datati vale l'ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento (compresi gli aggiornamenti).

UNI EN 1367-1	Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli Aggregati - Parte 1: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo
UNI EN 1897	Geotessili e prodotti affini - Determinazione delle proprietà di viscosità a compressione
UNI EN 12225	Geotessili e prodotti affini - Metodo per la determinazione della resistenza microbiologica mediante prova di interramento
UNI EN 13252	Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nei sistemi drenanti
UNI EN 13652	Ammendanti e substrati per coltura - Estrazione di nutrienti ed elementi solubili in acqua
UNI EN ISO 9863-1	Geosintetici - Determinazione dello spessore a pressioni specificate – Parte1: Strati singoli
UNI EN ISO 9863-2	Geotessili e prodotti affini - Determinazione dello spessore a pressioni stabilite – Parte 2: Procedura per la determinazione dello spessore dei singoli strati di prodotti multistrato
UNI EN ISO 10319	Geotessili - Prova di trazione a banda larga
UNI EN ISO 11058	Geotessili e prodotti affini - Determinazione delle caratteristiche di permeabilità all'acqua perpendicolare al piano, senza carico
UNI EN ISO 12236	Geotessili e prodotti affini - Prova di punzonamento statico (metodo CBR) UNI EN ISO 12956 Geotessili e prodotti affini – Determinazione della dimensione di apertura (opening size) caratteristica
UNI EN ISO 12958	Geotessili e prodotti affini - Determinazione capacità drenante nel piano
UNI EN ISO 13438	Geotessili e prodotti affini - Metodo di prova per la determinazione della resistenza all'ossidazione
UNI EN ISO 9863	Geosynthetics - Determination of thickness at specified pressures – Part 1: Single layers
CAM 6-8-2022	Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di interventi edilizi - Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 6-8-2022 n. 183 pag.26

---

## 3 TERMINI E DEFINIZIONI

Ai fini del presente documento si applicano i termini e le definizioni seguenti.

- 3.1 areale fitoclimatico:** area omogenea per andamento climatico e per specie vegetali stabilmente insediate.
- 3.2 capacità agronomica:** attitudine di un sistema e/o di un suo componente a favorire e mantenere nel tempo le condizioni agronomiche necessarie al corretto sviluppo della vegetazione in funzione del contesto.
- 3.3 capacità di accumulo idrico:** attitudine di elementi o del sistema, nel suo complesso, ad assumere acqua e di trattenerla rendendola disponibile per la vegetazione.
- 3.4 capacità di ritenzione idrica dello strato colturale:** volume d'acqua trattenuto da uno strato colturale sottoposto a una forza di tensione pari a 5 cm di colonna d'acqua (pF 0,7). Esprime l'attitudine di uno strato colturale a trattenere una riserva idrica potenzialmente disponibile per la vegetazione.
- 3.5 compensazione ambientale:** azione che, in un contesto soggetto a decremento di valori ambientali (ecologici, paesaggistici, ornamentali, fruitivi), apporta una quota positiva di valori ambientali, a scopo ricostitutivo.
- 3.6 condizioni stazionali:** condizioni climatiche e pedologiche che caratterizzano un determinato sito o stazione.
- 3.7 parete inverdita con rampicanti:** tipologia che utilizza rampicanti messi a dimora alla base o alla sommità della parete, partendo da terrapieno, o copertura verde, o contenitori appositamente dimensionati in funzione della specie e delle esigenze di copertura. Le piante si sviluppano aderenti alla parete o distanziate, in quest'ultimo caso, su supporti predisposti secondo le caratteristiche della specie. Durante lo sviluppo la vegetazione deve creare sulla parete uno strato vegetativo più o meno coprente, che intercetti energia solare e ombreggi la superficie.
- 3.8 parete inverdita in vasche sovrapposte:** tipologia che utilizza vasche con substrato colturale, predisposte ai diversi livelli dell'edificio e dimensionate convenientemente per sostenere la vita di specie arboree, arbustive, rampicanti o ricadenti, distanziate dalla facciata dello stabile, con intercapedine non abitata, utilizzabile per la manutenzione. Durante lo sviluppo la vegetazione deve creare una barriera vegetale, che intercetti energia solare e ombreggi la superficie.

- 3.9 parete vegetata:** tipologia di verde verticale che prevede la posa di una stratigrafia continua di elementi tecnici, con vegetazione, aderente o meno alla parete. È caratterizzata da ridotta disponibilità o totale assenza di strato colturale. Sfrutta pertanto tecnologie tipiche della cultura idroponica e fuori suolo, con forte dipendenza dall'impiantistica di fertirrigazione, che deve essere particolarmente curata nel percorso di progettazione, realizzazione e gestione.
- 3.10 matrice colturale:** elemento caratterizzante la stratigrafia delle pareti vegetate, realizzato con materiali di origine naturale o artificiale, a contatto con le radici delle piante, che ha funzione di trattenere acqua e nutrienti, garantendo un sufficiente arieggiamento per la respirazione radicale. Tale elemento può inoltre svolgere la funzione di sostegno e ancoraggio dell'apparato radicale.
- 3.11 equilibrio dei fattori vitali:** nella parete vegetata, caratterizzata da risorse limitate per le piante, è necessario stabilire e mantenere nel tempo un'armonia tra i parametri di fattori naturali e artificiali, quali temperatura, umidità, irraggiamento luminoso, acqua e sali minerali, senza eccessi o carenze in nessuna zona della parete. Questo bilanciamento, calibrato sulle esigenze delle specie selezionate, viene determinato già in fase progettuale ed è mantenuto grazie alla strategia di controllo e gestione, che fa leva sulla correttezza del progetto tecnico e sulla qualità impiantistica.
- 3.12 resistenza agli attacchi biologici:** attitudine a non subire riduzione di prestazioni a seguito della presenza di organismi viventi.
- 3.13 resistenza dei componenti non vegetali alle basse temperature:** attitudine dei componenti non vegetali a non subire disgregazioni e/o mutamenti di dimensione e aspetto a causa della formazione del ghiaccio.
- 3.14 resistenza dei componenti non vegetali ai raggi UV:** attitudine dei componenti non vegetali a non subire disgregazioni e/o mutamenti a causa dei raggi UV.
- 3.15 resistenza dei componenti vegetali agli agenti micro e macroclimatici:** attitudine dei componenti vegetali a svolgere le funzioni vitali in definite condizioni di contesto climatico.
- 3.16 strato di vegetazione:** parte epigea dei vegetali (rami, foglie) che ricoprono la superficie dello strato colturale e parte ipogea dei vegetali (apparati radicali, bulbi, rizomi, tuberi, ecc.), situati all'interno dello strato colturale.

---

## 4 REQUISITI

La parete verde vegetata è un sistema complesso, che raggiunge il risultato ottimale bilanciando in modo coerente i suoi elementi, a partire dalle varietà di piante scelte, dai componenti tecnici e dall'impiantistica. Inoltre, dipende totalmente dall'irrigazione, perché può intercettare solo una frazione molto ridotta di acqua meteorica.

I principali requisiti che devono essere richiesti agli elementi del sistema sono:

- controllo della resistenza al gelo dello strato di rivestimento della parete perimetrale
- controllo della resistenza all'acqua dello strato di rivestimento della parete perimetrale
- controllo del livello di manutenzione richiesto dalla vegetazione
- attitudine alla biodiversità e valore ecologico
- resistenza agli attacchi biologici
- controllo della disponibilità idrica e dell'efficienza di utilizzo dell'acqua
- controllo dell'aerazione delle radici
- controllo della disponibilità delle sostanze nutritive per la vegetazione
- controllo del livello di irraggiamento luminoso disponibile sulla vegetazione
- controllo e modulazione dei fattori vitali, mediante adeguata impiantistica, secondo i seguenti criteri:
  - frugalità delle condizioni, con disponibilità razionata, tenendo conto dell'adattabilità specifica e dell'esigenza di crescita lenta per ridurre la manutenzione. Così facendo si sviluppano piante adattate a condizioni estreme e più resistenti agli attacchi parassitari.
  - coerenza tra i parametri, senza eccessi o carenze reciproche nelle diverse stagioni (es. eccesso di umidità, a fronte di basse temperature o di illuminazione limitante)
  - omogeneità di distribuzione dei fattori vitali sulla totalità della parete, o su zone non interessate da disformità (es. tagli di luce su pareti alloggiate od ombreggiate da palazzi)

Negli ambienti interni devono essere inoltre armonizzati anche i parametri dell'aria:

- temperatura, con variazioni graduali, senza correnti calde o fredde, compatibile con il tipo di vegetazione e le altre condizioni ambientali;
- umidità dell'aria compatibile con il tipo di vegetazione e le altre condizioni ambientali;
- nei periodi di assenza degli utenti degli spazi interni devono essere comunque garantite le condizioni ambientali, con illuminazione temporizzata e ricambio dell'aria per ripristinare le concentrazioni di anidride carbonica.

Altri requisiti possono essere richiesti in funzione di particolari condizioni climatiche, territoriali e di specifici obiettivi prioritari del progetto.

---

# 5 ISTRUZIONI PER LA PROGETTAZIONE

## 5.1 Generalità

Le prestazioni delle pareti vegetate non sono necessariamente affini tra loro, né costanti nel tempo. Le scelte progettuali e le variabili realizzative, possono indirizzare decisamente le caratteristiche e le performance. Ad esempio, il tipo di matrice di crescita, la tipologia degli impianti, la composizione botanica, determinano in modo rilevante la robustezza, la durata e la sostenibilità della parete, che è legata anche a specifici obiettivi di prestazione (cfr. Appendice B).

La scelta di utilizzare una parete vegetata in interno è legata a uno o più degli obiettivi seguenti:

- 1) fruibilità visiva sensoriale: realizzazione di un elemento avente valenza scenografica, con incremento del valore percepito;
- 2) aumento del benessere degli utenti;
- 3) miglioramento della qualità dell'aria, con dispersione degli inquinanti degli ambienti interni;
- 4) assorbimento acustico, per aumentare il comfort ambientale.

La scelta di utilizzare una parete a verde in esterno è legata a uno o più degli obiettivi seguenti:

- 1) fruibilità visiva sensoriale: realizzazione di un elemento avente valenza architettonica, con arricchimento dei luoghi di socializzazione e incremento del valore degli spazi.
- 2) variazione delle condizioni ambientali interne dell'edificio: deve essere data molta importanza al progetto termico, per consentire alla parete vegetale di contribuire all'incremento delle prestazioni correnti;
- 3) variazioni delle condizioni di contesto ambientale esterno all'edificio: in relazione alla capacità della parete a verde di assorbire polveri, di costituire un elemento di assorbimento acustico e di mitigazione della temperatura circostante;
- 4) compensazione ambientale e valore ecologico: capacità della parete a verde e del sistema architettonico, di restituire una parte delle valenze del sistema ambientale originario.

Per tutte le installazioni di verde innovativo, è di grande importanza integrare le nuove tecnologie e conoscenze, atte a migliorare le prestazioni e l'affidabilità del sistema. Allo stesso modo è altamente qualificante predisporre sistemi di misurazione, con storicizzazione dei dati, per controllare i servizi effettivamente generati e tarare futuri obiettivi progettuali.

## 5.2 Analisi del contesto

Mentre in interno i fattori ambientali sono determinati principalmente da aspetti architettonici e impiantistici, in esterno, le specie vegetali risentono in maniera sensibile dell'ambito climatico.

E quindi necessario distinguere le modalità di analisi tra la categoria in ambiente interno e in ambiente esterno.

## 5.2.1 Analisi del contesto in ambiente esterno

In ambiente urbano, una parete a verde in esterno può essere sottoposta a condizioni diverse a seconda di svariati fattori, come l'esposizione, le condizioni microclimatiche, l'eventuale contiguità con altri edifici o la presenza di elementi architettonici dello stabile stesso (cavedi, coperture) che possono fortemente influenzare le situazioni. Il contesto deve essere quindi analizzato, oltre che dal punto di vista territoriale e climatico, con periodo di ritorno di almeno 20 anni, anche per le condizioni particolari attese sulle diverse porzioni di parete, ad esempio, in funzione dell'altezza del sole rispetto agli edifici circostanti nelle diverse stagioni.

L'analisi del contesto permette di identificare, in maniera qualitativa, le variabili che possono influenzare, in particolare, la scelta della tipologia di vegetazione.

Si tenga in considerazione che, più ci si discosta dalle condizioni ottimali per la crescita di una specie vegetale, maggiore è la necessità di apportare energia al sistema, sia in fase costruttiva sia in fase manutentiva, con riduzione della sostenibilità nel tempo.

La scelta delle specie vegetali deve quindi tenere conto di tutte le caratteristiche specifiche del sito, quali ad esempio:

- collocazione geografica,
- radiazione solare per l'effetto luminoso e termico (temperatura media giornaliera dell'aria, escursione termica giornaliera, escursione termica annua, radiazione solare diretta e diffusa);
- idrometeore (umidità, precipitazioni), che pur non apportando acqua alla superficie verticale, influenzano le condizioni ambientali e riducono indirettamente il fabbisogno irriguo;
- composizione atmosferica e ventosità.

A titolo orientativo, può essere utile fare riferimento agli areali fitoclimatici.

Tra le svariate situazioni particolari, da valutare necessariamente caso per caso, possiamo elencare:

- eventuale presenza, in prossimità della parete a verde, di superfici riflettenti (pareti vetrate, superfici continue chiare), che provocano variazioni d'irraggiamento solare sulle specie vegetali.
- venti prevalenti che producono sollecitazioni notevoli sulla vegetazione; di conseguenza devono essere valutate le caratteristiche delle chiome e dell'altezza delle specie vegetali, la capacità di ancoraggio dell'apparato radicale nella stratigrafia utilizzata, l'elasticità del fusto e dei rami. I venti prevalenti devono essere valutati anche in relazione a edifici prossimi che possono potenziare o depotenziare l'intensità dell'azione. Deve essere anche considerata la possibilità di utilizzare ancoraggi temporanei o permanenti;
- emissioni di aria o di fumi da impianti tecnici che possono provocare un rapido degrado delle specie vegetali. Nel caso di utilizzo del verde verticale quale mascheramento di volumi tecnici di questo tipo, la distanza delle piante deve essere tale da evitare il decadimento estetico e funzionale degli apparati fogliari esposti ai flussi di aria;
- esposizione alla salsedine: deve essere valutata la possibilità d'uso di specie vegetali resistenti, sia al contatto con la superficie fogliare, sia alla concentrazione salina nello strato colturale;

- inquinamento da polveri che, soprattutto per installazioni non lavate dalle precipitazioni meteoriche, può provocare deperimento di molte specie vegetali. Deve essere valutata la possibilità di effettuare interventi manutentivi atti a ridurre gli effetti sull'apparato fogliare, o predisporre, ove possibile, un impianto di pioggia artificiale a bassa pressione (goccia grossa) per un periodico lavaggio del fogliame;
- condizioni ambientali sotto elementi di copertura (ad esempio, gronde), o in cavedi, provocano condizioni per lo sviluppo di parassitosi e attacchi fungini, difficili da contenere in fase di manutenzione. Ove non sia possibile ottimizzare la situazione ambientale in fase progettuale, è necessario tenerne conto selezionando le varietà botaniche meno suscettibili alle malattie;
- specie vegetali presenti nel contesto: ne deve essere valutata la compatibilità con le altre specie previste in progetto.

È importante tenere conto, per quanto possibile, anche dell'evoluzione temporale del contesto edilizio, urbano e vegetazionale (costruzioni di futuri edifici, infrastrutture, crescita alberi confinanti, ecc.).

### **5.2.2                    Analisi del contesto in ambiente interno**

Per le pareti vegetate da interno è necessario effettuare un'approfondita analisi del contesto artificiale esistente e dei correttivi attuabili in fase progettuale.

A prescindere da latitudine, altitudine e stagione, le pareti vegetate negli interni sono più o meno isolate dall'ambiente esterno, offrendo pertanto situazioni ambientali più stabili.

Tuttavia, le condizioni dell'ambiente e della posizione scelta per il progetto possono presentare differenze puntuali anche notevoli, secondo diversi fattori:

- caratteristiche architettoniche e di arredo;
- volume e altezza dell'ambiente;
- luminosità disponibile sulla superficie verde;
- problematiche di climatizzazione, specie per installazioni su più piani;
- stabilità delle condizioni nel corso dell'anno;
- destinazione d'uso e orari di frequentazione.

In fase progettuale si devono stimare le criticità, i vincoli progettuali e gli eventuali correttivi. Una volta stabilite le condizioni di progetto, è possibile determinare le specie adattabili alla situazione attesa.

Le tipologie vegetali solitamente utilizzate negli interni provengono in gran parte da habitat tropicali e non sono utilizzabili in esterno, al di fuori della fascia subtropicale. In misura minore sono rappresentate specie sciafile sempreverdi provenienti da latitudini diverse. Negli interni, le condizioni di luminosità sono quasi sempre limitanti. È quindi necessario intervenire in fase progettuale per raggiungere le condizioni minime di sopravvivenza. Nei contesti più difficili, ove sia complesso ottenere stabilità e omogeneità delle condizioni, è imprescindibile puntare su poche specie che hanno estreme capacità di adattamento.

## **5.3 Progettazione degli aspetti tecnici**

### **5.3.1 Capacità agronomica**

Per garantire la capacità di sostenere la vita delle piante si rende necessario verificare l'efficienza di alcuni fattori fondamentali per il regolare funzionamento nel tempo del sistema:

- adeguatezza della matrice colturale nel trattenere sali minerali e umidità, garantendo al contempo l'arieggiamento delle radici. Da evitare pertanto le riserve d'acqua invasate in forma libera nella stratigrafia,
- controllo di stabilità della porosità della matrice per limitare i fenomeni di compattamento o degrado, al fine di garantire prestazioni elevate per la durata prevista della parete,
- controllo dell'acqua o della soluzione di fertirrigazione immessa nel sistema, riguardo a temperatura, pH, salinità del substrato e composizione dei nutrienti.

### **5.3.2 Controllo della distribuzione idrica**

La progettazione del sistema distributivo dell'acqua irrigua, è essenziale per evitare una eccessiva percolazione verso la parte bassa della parete e mantenere le migliori condizioni per la vegetazione. Ciò serve a controllare la quantità immessa nel sistema, l'omogeneità in parete e l'efficienza d'uso della risorsa.

Per quanto attiene al quantitativo, l'apporto irriguo deve essere calibrato secondo la capacità di trattenimento da parte della matrice colturale e le condizioni stagionali che ne determinano la velocità di consumo. A questo scopo sono comunemente utilizzati sensori di umidità inseriti nella matrice e sensori per monitorare le condizioni ambientali.

Per quanto attiene la sua distribuzione temporale è consigliabile frazionare gli apporti idrici, aumentando le frequenze e riducendo le quantità, in modo da limitare le perdite per gravità.

Per ciò che concerne la sua omogeneità è necessario predisporre una rete idrica sufficientemente fitta, gestita in modo differenziato alle diverse quote, al fine di ridurre i tempi, le quantità irrigue, la percolazione e l'eccesso di umidità nella parte bassa della parete.

### **5.3.3 Controllo della fertilizzazione**

Il requisito ha come obiettivo quello di definire i criteri, (tipologia, composizione, quantitativi e programma temporale) per la distribuzione di elementi fertilizzanti che vengono immessi nel sistema.

In via generale, il dosaggio dei fertilizzanti deve essere mantenuto ai livelli minimi di sussistenza, per contenere lo sviluppo, ridurre le pullulazioni di parassiti e impedire la concentrazione dei sali minerali in seguito a evaporazione. La fertilizzazione viene solitamente veicolata dall'acqua d'irrigazione, con cadenze che dipendono dalla metodologia, dalla stagione e dallo stadio di sviluppo della vegetazione.

### **5.3.4 Controllo della qualità dell'acqua immessa nel sistema**

Le caratteristiche dell'acqua irrigua immessa nel sistema devono essere tali da evitare danneggiamenti delle piante e deterioramento della rete irrigua.

In particolare, devono essere definite:

- temperatura di immissione dell'acqua. Essa deve essere compatibile con la fisiologia delle radici;
- salinità dell'acqua, che, ancor prima della fertilizzazione, deve essere compatibile con la resistenza delle specie utilizzate. Il livello deve essere controllato in modo cautelativo tenendo conto del rischio di ulteriore concentrazione nella matrice del verde verticale;
- salinità aggiunta con i fertilizzanti; la concimazione di mantenimento di una parete vegetata aggiunge basse concentrazioni di sali fertilizzanti, di molto inferiori a quelle utilizzate nella produzione vegetale, per le minori necessità di sviluppo. Per calibrare correttamente la concentrazione della soluzione è necessario conoscere la salinità di partenza dell'acqua d'irrigazione, mediante un misuratore EC;
- il pH dell'acqua irrigua solitamente immessa nelle pareti vegetate può variare tra 5 e 8. Per livelli di alcalinità elevati, la necessità di correzione dipende dalle specie presenti e dal tipo di strato colturale;
- la durezza dell'acqua, con eccesso di bicarbonati di calcio e magnesio può danneggiare gli impianti. Nei casi più critici e per grandi installazioni, è necessaria l'acidificazione dell'acqua d'irrigazione per neutralizzare parte dei bicarbonati. L'eventuale presenza di un addolcitore che rimuove ioni Ca e Mg protegge l'impianto, ma può generare carenze di Ca e Mg che vanno reintegrate con la fertilizzazione.

### **5.3.5 Controllo del livello di illuminamento in ambienti interni ed esterni**

Per la progettazione del requisito è necessario disporre di un irraggiamento fotonico ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), adeguato alle specie in progetto, al di sopra del punto di compensazione e sotto il punto di saturazione della curva di fotosintesi netta, necessario per il mantenimento della vegetazione. Negli interni, l'illuminazione naturale è insufficiente a sostenere la vita delle piante. Il livello minimo richiesto sulla superficie fogliare per le piante da interno è normalmente superiore alle  $15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , tenendo conto delle capacità di adattamento delle specie meno esigenti. Al fine di armonizzare la risorsa luminosa con gli altri fattori di crescita presenti, è necessario evitare anche gli eccessi. Le intensità utilizzate per una composizione mista in ambienti interni, con specie non particolarmente esigenti, non superano di solito le  $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , con durata di irraggiamento di 10 -12 ore.

Anche negli ambienti esterni, pur scegliendo le piante che si adattano alla disponibilità di luce naturale, è in qualche caso necessaria l'integrazione con illuminazione artificiale su settori di parete svantaggiate. In questi casi gli irraggiamenti devono essere dimensionati in funzione delle reali necessità di integrazione per le specie utilizzate, rispetto alla base di luce naturale presente.

### **5.3.6 Controllo della temperatura e umidità degli ambienti interni**

Il requisito è particolarmente importante negli interni. La temperatura e l'umidità dell'aria devono essere regolate in modo continuo, entro un range che dipende dalle specie più esigenti presenti. Normalmente per le piante da interno possono bastare le condizioni di comfort definite per le persone, con elevata possibilità di adattamento se le variazioni sono graduali e controllate.

I maggiori rischi sono dovuti a flussi d'aria secca, calda o fredda, diretta sulla vegetazione, che provocano sbalzi termici sui tessuti fogliari, con formazione di necrosi che riducono le prestazioni estetiche e funzionali.

### **5.3.7 Mantenimento della concentrazione di anidride carbonica**

Il requisito è fondamentale negli ambienti interni e si soddisfa con il ricambio dell'aria.

In ambiente esterno la concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> è normalmente intorno a 400 ppm. Negli interni la concentrazione può salire significativamente in presenza di persone o animali, con un vantaggio per le piante che possono incrementare la velocità di fotosintesi.

Viceversa, in assenza di utenza durante i periodi di illuminazione, è necessario garantire il ricambio d'aria per evitare l'azzeramento della CO<sub>2</sub>, con interruzione della fotosintesi e potenziali danni alla vegetazione.

### **5.3.8 Livello di gestione della parete vegetata**

La manutenzione della parete vegetata deve essere definita ed esplicitata in fase di progettazione. Essa determina i costi di gestione ed è strettamente connessa alla sostenibilità economica e ambientale del sistema.

Il requisito si definisce individuando il livello di necessità manutentiva prevista, che è conseguenza degli obiettivi progettuali, oltre che degli accorgimenti predisposti.

La classificazione è riportata nella Tabella di "intensità gestionale" (pag. 18), che sintetizza i principali parametri descrittivi di 5 livelli gestionali, declinati secondo gli obiettivi prioritari del progetto, le conseguenti necessità di gestione e controllo attese, indicazioni di un numero di attività minime necessarie per una corretta gestione negli anni;

Si tratta di dati medi, che possono tuttavia variare secondo le peculiarità del contesto. I tempi, la complessità e la sicurezza, per la manutenzione dipendono infatti anche dall'altezza, dalla dimensione della parete e da possibili difficoltà operative (es. logistica, spazi e portate disponibili per piattaforme, lavoro su suolo pubblico), oltre che dalle predisposizioni previste in progetto per ottimizzare gli interventi (es. dispositivi fissi di ancoraggio per il lavoro in fune).

I livelli di gestione sono definiti nel modo seguente:

### **Intensità gestionale di livello 1 e 2 (bassa e medio-bassa)**

Il progetto ha l'obiettivo prioritario della sostenibilità, con strato vegetativo stabile e autonomo. Si tratta di installazioni ottimizzate per una lunga durata della copertura vegetale, con basso impegno manutentivo.

Le varietà vegetali sono scelte tra quelle più affidabili, ripetutamente sperimentate con successo negli anni, in realizzazioni di pareti vegetate, con svariate stratigrafie. Caratterizzate da elevata longevità nelle condizioni attese, resilienza, frugalità, aggressività, resistenza agli stress idrici e termici, sia invernali, sia estivi.

I costi di gestione risultano contenuti per il minore numero di interventi, ma soprattutto in quanto non sono necessarie sostituzioni di piante in manutenzione ordinaria.

L'impiantistica, di elevato livello, deve consentire un agevole controllo da remoto, con monitoraggio dei sensori di umidità, di temperatura e altri parametri ambientali, eventualmente mediante stazione meteo o PLC autocalibrante (in funzione delle soglie di umidità stagionali). Può essere anche implementato un sistema d'ispezione visiva da remoto con una o più telecamere in quota.

Gli interventi manutentivi si concentrano sull'efficienza degli impianti, sul controllo continuo dei dati dei sensori e del flussometro, trasmessi da remoto.

Sono previste alcune uscite di accertamento visivo in loco e una o due operazioni manutentive in quota, per contenere e pulire la vegetazione, nonché il controllo del posizionamento dei sensori in caso di anomalie dei dati.

In particolare, deve essere monitorato lo stato fisiologico e fitosanitario, per mantenere la funzionalità dello strato di vegetazione.

La fertilizzazione, con frequenze variabili secondo la stratigrafia utilizzata, viene effettuata automaticamente mediante dosatore proporzionale, che preleva la soluzione madre da una capiente cisterna, caricata durante le visite in loco.

### **Intensità gestionale di livello 3, 4 e 5 (media, medio-alta e alta):**

Il progetto privilegia una maggiore ampiezza varietale per raggiungere altri obiettivi specifici, di tipo ecologico e funzionale, quali ad esempio: biodiversità, sequestro di particolato sottile o effetti estetici (disegni, contrasti cromatici, tessitura del fogliame). Utilizza comunque una prevalenza di varietà vegetali in grado di durare nelle condizioni attese, ma prevede un incremento di carico manutentivo per preservare l'identità compositiva.

Oltre alla gestione degli impianti, sono quindi necessari interventi più numerosi, per potature di contenimento e per la sostituzione delle piante eventualmente morte o deperite, su porzioni continue visibili. I controlli degli elementi del sistema, includono tutte le attività agronomiche connesse alla maggior complessità di gestione della vegetazione.

Con l'aumento del livello gestionale da 3 a 5, si deve accettare l'esigenza crescente di sostituire piante in manutenzione ordinaria.

Il livello 3 prevede solo una eventuale sostituzione per ricostituire la copertura, in caso di fallanze visivamente significative nel corso dell'anno.

Pareti vegetate con ampio impiego di specie non sperimentate in precedenza, inserite in progetto per esigenze specifiche dal punto di vista estetico e funzionale, dovrebbero essere prudenzialmente classificate almeno al livello gestionale 4, con prospettiva di ricostituzione annua della copertura in manutenzione ordinaria entro il 10% della superficie.

Il livello gestionale 5, che prevede ad esempio fioriture stagionali, o comunque un elevato tasso di ricostituzione durante l'anno, andrebbe destinato solo a installazioni, con caratteristiche dimensionali adatte.

<b>TABELLA DI INTENSITÀ GESTIONALE</b>						
livelli medi di incidenza gestionale, secondo le scelte progettuali*						
INTENSITÀ GESTIONALE	OBIETTIVO PRIORITARIO e caratteristiche salienti	ATTIVITÀ ANNUA (numero)	INCIDENZA % GESTIONE VERSO IL COSTO INIZIALE DELL'OPERA			
			50-100 m <sup>2</sup>	100-200 m <sup>2</sup>	300-400 m <sup>2</sup>	da 400 m <sup>2</sup>
<b>1 BASSA</b>	AUTONOMIA SOSTENIBILITÀ poche specie aggressive di provata resistenza, copertura stabile autonoma, alta tecnologia da remoto, centralina autocalibrante sensori/stazione meteo video-ispezione da remoto	50 controllo da remoto (continuo su più parametri) 3 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 1 intervento in quota per contenimento	7%	6%	5%	4%
<b>2 MEDIO-BASSA</b>	FUNZIONALITÀ PRESTAZIONE AMBIENTALE rigida scelta botanica in stile naturale, senza reintegro previsto, tecnologia da remoto con sensori ambientali	40 controllo da remoto 4 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 2 interventi in quota	10%	8%	7%	6%
<b>3 MEDIA</b>	ESTETICA ED EQUILIBRIO aggiunta specie particolari in misura limitata, reintegro non obbligato, tecnologia da remoto con sensori ambientali	30 controllo da remoto 6 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 3 interventi in quota	15%	12%	9%	8%
<b>4 MEDIO-ALTA</b>	ESTETICA ampia scelta botanica, evoluzione libera, reintegro piante minore 10%, tecnologia da remoto	30 controllo da remoto 8 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 5 interventi in quota	18%	14%	12%	10%
<b>5 ALTA</b>	MASSIMO IMPATTO VISIVO disegni obbligati, fioriture stagionali, reintegro piante sostenuto, manutenzione intensa, tecnologia da remoto	30 controllo da remoto 12 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 8 interventi in quota	25%	20%	17%	15%
*I dati medi di incidenza dei costi di gestione secondo gli obiettivi e la dimensione della parete, possono variare anche in funzione di difficoltà operative, quali a esempio: altezza della parete, quota dal piano di calpestio, frazionamento della superficie in diversi terrazzi o facciate, lavoro su fune, orari straordinari obbligati.						

### **5.3.9 Resistenza agli attacchi biologici e ai microorganismi.**

Il requisito si attua attraverso la verifica della resistenza agli attacchi biologici e ai microorganismi, di tutti i materiali utilizzati nella stratigrafia.

### **5.3.10 Attitudine alla biodiversità**

Il verde verticale in esterno offre la possibilità di mitigare la perdita di biodiversità rimettendo parzialmente a disposizione della flora e della fauna superfici che, dal punto di vista dell'ecosistema, risulterebbero non essere attive.

Affinché la qualità del valore ecologico sia rilevante, è necessario che la progettazione e la realizzazione tengano in considerazione una serie di requisiti biologici ed ecologici essenziali. Gli elementi importanti per definire l'attitudine alla biodiversità e al valore ecologico sono:

- a) la capacità del sistema al contribuire al ciclo d'acqua naturale, senza dispendio di risorse idriche;
- b) conservazione di flora e fauna utile per gli ecosistemi naturali delle zone limitrofe.

## **5.4 Progettazione elementi della parete vegetata**

### **5.4.1 Generalità**

Sono di seguito date indicazioni per la progettazione del sistema e degli elementi maggiormente significativi per le parete vegetata e per la compatibilità fra gli strati.

Il sistema di parete a verde viene progettato a partire da uno degli obiettivi prevalenti indicati al punto 5.1.

Evidentemente il progetto può perseguire contemporaneamente più obiettivi, che siano coerenti tra loro, con diverso livello di priorità e integrazione.

### **5.4.2 Elementi, strati e impianti componenti il sistema**

Un sub-sistema edilizio è composto dall'aggregazione di elementi sempre presenti (elementi primari) e da strati secondari e impianti che possono essere introdotti a seconda di particolari condizioni di contesto d'uso, climatico e merceologico o al fine di raggiungere la necessaria durabilità.

Fatte salve le funzioni precedentemente citate, gli elementi solitamente presenti in una parete vegetata sono:

- elemento di protezione meccanica della parete perimetrale dell'edificio, con la funzione di evitare l'aggressione della parete perimetrale da parte dell'apparato radicale;
- elemento di protezione idrica della parete dell'edificio e degli infissi, con la funzione di evitare il deterioramento da parte dell'acqua irrigua;
- strato di ventilazione, avente la funzione di permettere una ventilazione naturale in corrispondenza dell'interfaccia con la parete perimetrale;
- elementi di supporto strutturale, con la funzione di sostenere la vegetazione, gli impianti e tutti componenti della parete verde;

- elementi di drenaggio, con la funzione di permettere lo scorrimento di acqua irrigua lungo la parete;
- elemento di ritenzione idrica, con la funzione di garantire un trattenimento, anche limitato, di acqua a supporto della vitalità della vegetazione;
- impianto di irrigazione;
- impianto di fertilizzazione;
- elementi di ancoraggio dell'apparato radicale, con la funzione di permettere l'alloggiamento e lo sviluppo dell'apparato radicale;
- strato di vegetazione, costituito dalle piante.

Alcuni di tali elementi e strati, a seconda della specifica soluzione tecnica, possono essere integrati fra di loro o integrati nella parete perimetrale.

#### **5.4.2.1 Progettazione dell'elemento di protezione meccanica della parete dell'edificio e dei serramenti**

Tale elemento ha la funzione di evitare eventuali danni di tipo meccanico e la sua progettazione consiste nel determinare:

- il livello di aggressività dell'apparato radicale anche mediante radici aeree e stoloni;
- il livello di sensibilità, in termini meccanici, della parete perimetrale, in particolare dello strato di finitura e dei serramenti.

È possibile quindi avere le seguenti tipologie:

- uno spazio vuoto, di larghezza tale da non potere essere superato dall'apparato radicale durante la sua vita utile;
- un elemento non oltrepassabile dall'apparato radicale, quali film o pannelli continui o gli stessi elementi di fondo dei moduli in diversi materiali, non superabili dalle radici.

In alcuni casi è possibile che lo strato di finitura stessa della parete perimetrale possa, intrinsecamente, resistere all'azione meccanica delle radici.

#### **5.4.2.2 Progettazione dell'elemento di protezione idrica della parete dell'edificio e dei serramenti**

Tale elemento ha la funzione di evitare danni connessi al percolamento e ristagno di acqua d'irrigazione o condensazione superficiale sulla parete perimetrale e sugli infissi; la sua progettazione consiste nel determinare:

- il livello di resistenza all'acqua della parete perimetrale e dei manufatti
- le condizioni climatiche in termini di cicli di gelo e disgelo;

Le tipologie possibili sono quindi le seguenti:

- uno spazio libero, di larghezza tale da permettere l'arieggiamento della parete;
- un elemento continuo, costituito da un sistema di controllo della tenuta all'acqua, tale da non permetterne il passaggio o la condensazione nella sua parte posteriore;

### **5.4.2.3 Elementi di supporto strutturale**

Essi hanno la funzione di supportare i componenti della parete vegetale.

Tali elementi devono essere progettati con le seguenti assunzioni:

- il peso proprio del sistema costituente la parete a verde (struttura, impianti e tutti gli elementi e strati costituenti la parete a verde).
- i pesi propri degli strati che, potenzialmente, possono assorbire acqua e, quindi, devono essere considerati a completa saturazione;
- il peso proprio della vegetazione deve essere considerato nelle condizioni del massimo sviluppo di progetto;
- l'azione del vento, calcolata secondo le leggi vigenti (tenendo conto anche degli effetti locali, come meglio specificato nella UNI EN 1191-1- 4);
- se presente, un sistema di supporto differente rispetto alla parete perimetrale stessa, è necessario effettuare la progettazione del sistema di ancoraggio rispetto alla parete perimetrale o di altri elementi, tenendo conto della tipologia della parete e/o della struttura dell'edificio;

Devono essere verificati tutti gli elementi componenti il sistema della parete a verde al fine di evitare una loro dislocazione, anche puntuale.

Si deve anche considerare che la deformazione limite di progetto del sistema di supporto strutturale sia tale da non inficiare il funzionamento degli altri componenti la parete verde, in particolare gli impianti.

### **5.4.2.4 Elemento di drenaggio**

Il progetto consiste nel definire il percorso dell'acqua all'interno della stratigrafia, per regimare verso il basso l'eccesso idrico, e nel definire le dimensioni minime di eventuali forometrie al fine di evitare la loro occlusione; tra queste troviamo le tubazioni di regimazione delle acque in quota (ove presenti) o gli scarichi finali dalle canaline di recupero in fondo alla parete. Possono otturarsi sia per la sezione ridotta, sia per la scarsa pendenza, non sufficiente a rimuovere i detriti e le foglie accumulate.

### **5.4.2.5 Elementi di ancoraggio dell'apparato radicale**

Il progetto consiste nel definire una sede di inserimento delle piante, consentendo saldo ancoraggio anche nelle fasi iniziali e un sufficiente benessere per le radici, con scambi gassosi e condizioni termiche adeguate.

### **5.4.2.6 Elemento di accumulo idrico**

Il progetto consiste nel definire gli elementi di trattenimento dell'acqua in forma assimilabile dalle piante. Sono allo scopo utilizzate svariate tipologie di matrici naturali (es. sfagno, terriccio) o artificiali (es. geo tessuti, strati sintetici idrofili), che trattengono acqua, mediante forze di adesione (capillarità e adsorbimento) e la rendono disponibile per le piante. È invece da evitare l'invaso d'acqua in forma libera (a potenziale 0).

Le caratteristiche e le prestazioni delle matrici di accumulo idrico devono essere determinate con accuratezza. La loro struttura deve consentire una capacità di ritenzione di acqua effettivamente disponibile per le piante (sopra il punto di appassimento), con rapporto bilanciato tra acqua e aria, necessaria per la respirazione radicale. La porosità deve rimanere stabile anche dopo compattamento meccanico, ad esempio durante la piantagione, dopo ripetuti cicli di gelo e disgelo e in seguito a degradazione della sostanza organica in essa eventualmente contenuta, al fine di mantenere la prestazione nel tempo.

Nel caso che l'elemento di accumulo sia costituito da terriccio, è preferibile utilizzare substrati minerali, che risultano particolarmente stabili negli anni. Questi tipi di substrati hanno un contenuto di sostanza organica non superiore a 60 g/L, e mantengono una porosità elevata, tra 68 e 74%. La quantità d'acqua disponibile per le piante non deve essere inferiore al 38% v/v. Come riferimento è disponibile la norma UNI 11235:2015 sulle coperture verdi e i decreti ministeriali specifici.

### **5.4.3 Strato di vegetazione**

Il progetto, sia in ambiente esterno sia interno, consiste nella scelta delle specie atte a formare uno strato vegetale che soddisfi uno o più degli obiettivi riportati al punto 5.1. Le varietà scelte, oltre a essere adattabili alle condizioni ambientali, devono essere resistenti alle particolari situazioni che si verificano in una parete vegetata nel corso degli anni. La composizione botanica dello strato vegetale deve prevedere le dinamiche di sviluppo e competizione durante il ciclo di vita dell'installazione. La scelta delle varietà e della loro proporzione di utilizzo è decisiva per determinare il livello gestionale di ogni parete vegetata (punto 5.3.8)

#### **5.4.3.1 Generalità**

La progettazione dello strato di vegetazione di pareti vegetate deve indicare il tipo, la collocazione sulla superficie e la densità d'impianto delle specie vegetali. Quest'ultima può variare secondo la conformazione della stratigrafia, il vigore di sviluppo atteso e la dimensione del vaso di partenza al momento dell'impianto. Essenziale è che vi sia coerenza fra la progettazione dello strato di vegetazione e gli altri elementi del sistema per garantire le condizioni vitali su tutta la parete. Inoltre, al fine di ottimizzare la scelta del tipo di specie, è importante che la stessa sia definita in base a:

- contesto climatico e territoriale, come indicato nel punto 5.2;
- contesto particolare, determinato dal costruito circostante esistente o futuro.

Per le pareti in esterno, è utile analizzare le specie vegetali presenti nell'immediato contesto in quanto indice di capacità di sopravvivenza nelle condizioni locali.

È inoltre di grande importanza inserire in progetto una preponderanza di specie performanti, lungamente sperimentate nelle pareti vegetate, in stratigrafie analoghe e in contesti simili a quelli del progetto, oppure riportate come tali in pubblicazioni tecnico-scientifiche. È da evitare al contempo l'inserimento di piante aliene altamente invasive.

#### **5.4.3.2 Contesto climatico**

Le condizioni climatiche sulla vegetazione di una parete vegetata hanno un'influenza radicalmente differente rispetto a quella della vegetazione al suolo.

In particolare, lo spessore ridotto della stratigrafia, l'accumulo di calore, l'effetto del vento, l'elevata densità di piante al metro quadrato, l'incremento di evapotraspirazione, la diminuzione della resistenza al freddo, impongono scelte di specie vegetali con maggiori caratteristiche di resistenza alle condizioni critiche.

#### **5.4.3.3 Contesto territoriale**

Le condizioni più importanti da considerare sono:

- presenza di emissioni di aria calda, fredda e/o carica di componenti chimici: previa analisi dei flussi aggressivi e della loro distribuzione spaziale e temporale, è richiesto l'inserimento di specie vegetali con spiccate caratteristiche di resistenza a questo tipo di inquinamento;
- la presenza di zone d'ombra da parte di edifici: essa comporta una eterogeneità d'irraggiamento solare e di temperatura sulla parete vegetata.

#### 5.4.4 Impianto d'irrigazione

Il progetto determina gli elementi della stazione di controllo e della rete di distribuzione idrica in parete. Deve essere dettagliato e prevedere accorgimenti che semplifichino al massimo il mantenimento in efficienza durante la sua gestione.

Dato che il verde verticale sfrutta in minima parte l'acqua meteorica, l'irrigazione è da considerare l'unica fonte di rifornimento idrico per le piante.

Nel caso di pareti vegetate, l'assenza o la ridotta dotazione di strato colturale, non consente di accumulare significative riserve idriche. Inoltre, la competizione di un numero elevato di piante al metro quadro e lo strato sottile della stratigrafia provoca un considerevole incremento dell'evapotraspirazione. L'acqua fornita in eccesso, cioè oltre la capacità di ritenzione da parte della matrice di accumulo, scorre verso il basso e viene convogliata nei sistemi di raccolta delle acque. Ne consegue una riduzione dell'efficienza nell'uso dell'acqua e una minore omogeneità di umidità in parete.

Il tentativo di accumulare riserve di acqua libera (a potenziale zero) all'interno dei moduli non è risolutivo e può risultare dannoso nelle stagioni con scarsa attività vegetativa, con graduale degrado delle radici nel corso degli anni.

Per questi motivi è necessario prevedere in fase di progetto:

- una rete idrica più o meno estesa secondo la metodologia usata, che porti in tutti i punti della parete la quantità d'acqua richiesta, con adeguata frequenza,
- un sistema di automazione che consenta precisione e flessibilità di erogazione, secondo le necessità stagionali,
- tecnologia di controllo da remoto con flussometro, per verificare la partenza dell'irrigazione ed evitare danneggiamenti da interruzione o riduzione del flusso (ostruzione sull'impianto o chiusura accidentale dell'alimentazione),
- sensori di umidità, che consentano di definire le reali necessità idriche, commisurate alla capacità di ritenzione della matrice. Questi requisiti sono da adottare quando l'estensione della parete e le condizioni specifiche di progetto rendono complicato il controllo e la gestione del sistema. In ogni caso quando sia richiesto un contenimento dei consumi idrici.

In questo modo sarà possibile calibrare i tempi e la frequenza di bagnatura in funzione della:

- capacità di accumulo da parte della stratigrafia, per aumentare la percentuale trattenuta,
- distanza tra le ali gocciolanti in parete, che determinano l'omogeneità distributiva,
- struttura delle piante, superficie fogliare e spessore dello strato di vegetazione, che determinano le dinamiche di evapotraspirazione nel corso dell'anno,
- condizione ambientale, con dati rilevati in loco e trasmessi dalla centralina riguardanti l'umidità della matrice, la temperatura dell'aria, la ventosità etc.

### **5.4.5 Impianto di fertilizzazione**

Il progetto consiste nel definire una strategia di fertilizzazione per la nutrizione delle piante, in funzione delle esigenze che cambiano nelle stagioni e negli anni, secondo il ciclo di vita delle specie previste.

Per un controllo ottimale è necessario prevedere una fertilizzazione automatica mediante dosatore proporzionale. Il calcolo delle concentrazioni di sali minerali, della composizione e delle frequenze di fertilizzazione devono tenere conto di:

- capacità di accumulo da parte nella stratigrafia, per evitare dilavamento o concentrazione eccessiva;
- aspetti agronomici, per bilanciare la composizione dei sali minerali senza eccessi o carenze secondo le esigenze medie delle specie presenti;
- condizioni ambientali, per adeguare i fattori di crescita alle esigenze stagionali;
- obiettivi di mantenimento, per evitare accrescimento eccessivo aumentando la fragilità delle piante e le esigenze manutentive.

Normalmente, per le pareti vegetate si prediligono soluzioni fertirriganti poco concentrate, ben al di sotto dei livelli minimi utilizzati per le produzioni agricole o floreali.

Per pareti di piccole dimensioni e altezze contenute è possibile aggiungere manualmente fertilizzanti a lento rilascio secondo cadenze riportate nelle schede di manutenzione, integrando, se necessario, con trattamenti fogliari.

### **5.4.6 Predisposizioni per lavori di manutenzione in quota**

Il progetto consiste nell'effettuare tutte le valutazioni e prevedere tutti gli accorgimenti per rendere agevole ed economico l'esercizio dei lavori, garantendo la sicurezza secondo le norme vigenti. Deve essere valutata la possibilità di accesso in prossimità della parete, per autoscale di adeguata dimensione. È altresì opportuno prevedere, ove possibile, linee vita o sistemi per lavoro su fune.

### **5.4.7 Progettazione della Resistenza al fuoco**

I singoli elementi devono essere verificati per la rispondenza alle normative vigenti riguardo alle caratteristiche di reazione al fuoco.

In condizioni normali, il materiale costituente il verde verticale non risulta facilmente infiammabile, in quanto la stratigrafia è mantenuta umida e lo strato di vegetazione è vivo. In caso di disseccamento della vegetazione e della stratigrafia, soprattutto in presenza di una elevata massa vegetale, si possono evidenziare rischi di propagazione di incendio in facciata. In quest'ottica è necessario progettare accorgimenti (es. rompitratta o sistemi antincendio) che rendano sicure le installazioni nel rispetto delle normative in tema antincendio.

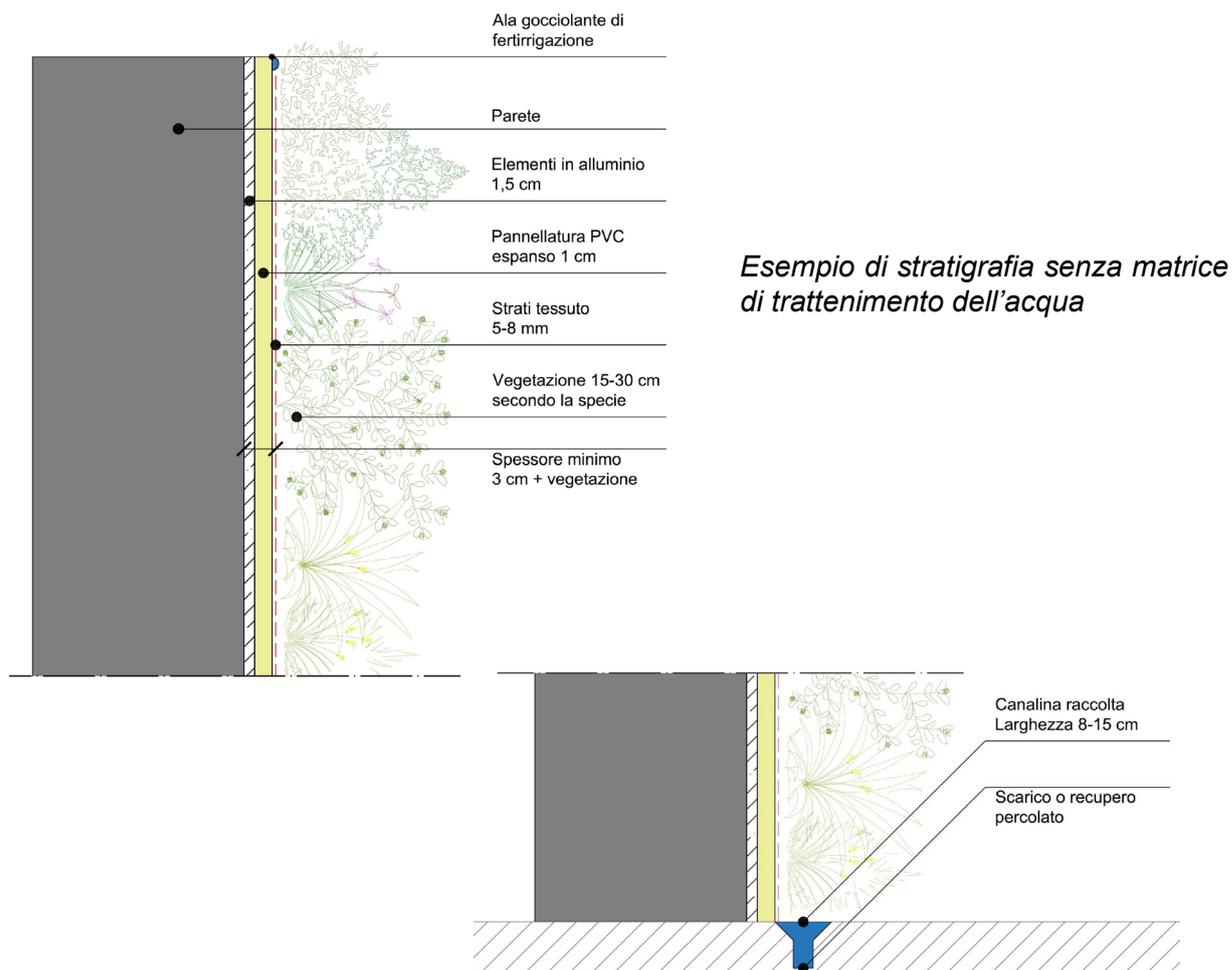
## 6 SCHEMI FUNZIONALI E CLASSIFICAZIONE DEL SISTEMA

### 6.1 Schemi funzionali

È possibile identificare due macro categorie, diverse per caratteristiche, requisiti e strategie di gestione.

#### 6.1.1 Pareti verdi senza elemento di accumulo idrico

Metodologia realizzata mediante sovrapposizione di alcuni strati (per esempio in geosintetici non tessuti) vincolati con graffe o viti, a supporti rigidi, resistenti all'acqua, alle escursioni termiche e agli aggressivi chimici. All'interno degli strati vengono ricavate tasche, di dimensioni variabili, per l'alloggiamento degli apparati radicali, senza aggiunta di alcuno strato colturale. L'acqua d'irrigazione, precedentemente arricchita di sali minerali, viene erogata dall'alto e scorre lungo la parete, fino a raggiungere il sistema di raccolta alla base. Durante il percorso l'acqua lambisce le radici umettando quanto basta per idratare la vegetazione. Il sistema permette una bagnatura uniforme su tutta la superficie, proprio per l'assenza di una matrice dedicata all'accumulo idrico. L'utilizzo di sonde per misurare l'umidità a livello delle radici risulta meno efficace rispetto a un sistema con matrici, anche se può fornire indicazioni utili. È invece consigliato l'impiego di sensori ambientali per la stima del livello di evapotraspirazione, al fine di aumentare l'efficienza di utilizzo dell'acqua irrigua, che può essere monitorata anche mediante un contatore d'acqua in uscita dal sistema.



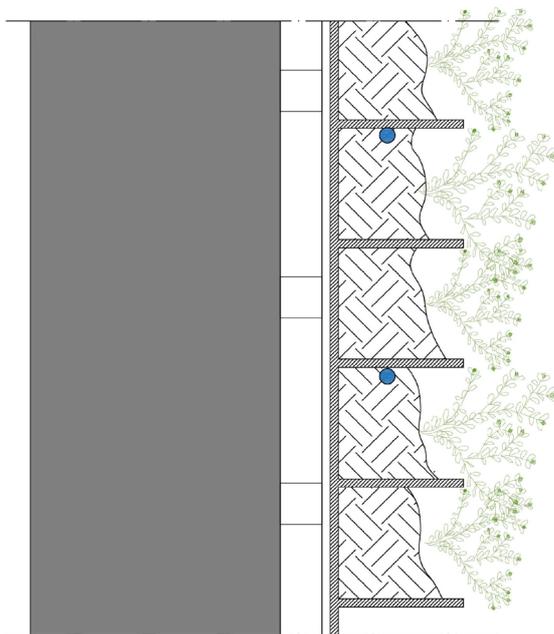
## 6.1.2 Pareti verdi con elemento di accumulo idrico

Metodologia che prevede il trattenimento dell'acqua d'irrigazione da parte di una matrice composta da materia naturale o artificiale, distribuita in modo uniforme nella stratigrafia.

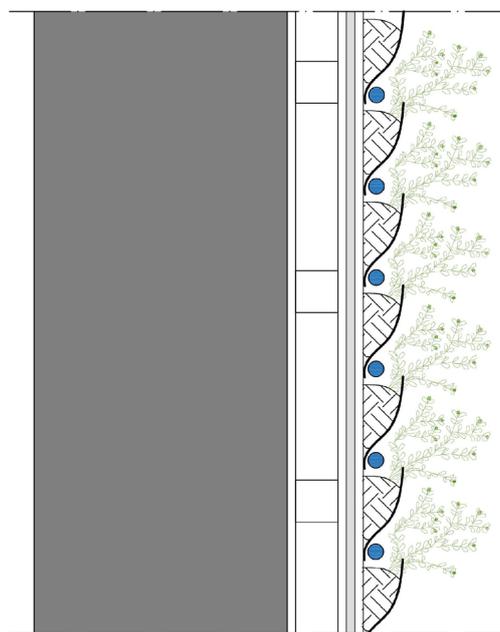
Si tratta di pareti vegetate realizzate con moduli in svariati materiali, forme e dimensioni, con strati, celle, o tasche di dimensioni identiche e con stessa quantità e qualità di matrice su tutta la superficie.

Tra questi elenchiamo, a titolo di esempio, le seguenti alternative tecniche:

- gabbie di rete metallica contenenti materiale organico o meno, sovrapposti in superficie continua;
- moduli realizzati con materiali geotessili non tessuti con tasche preformate uniformi contenenti substrato minerale;
- pannelli realizzati con materiali geotessili non tessuti preformati contenenti strati idrofili per accumulo idrico in materiale sintetico;
- moduli stampati in materiale plastico (ad esempio, polivinilcloruro) con cellette interconnesse a formare uno strato continuo;
- vaschette di diverse dimensioni e materiali, quali polivinilcloruro, polietilene, polistirene, metallo o altro, contenenti substrato;
- reti stirate con alvei per inserimento degli apparati radicali in strato di matrice continua.



Schema di matrice a strato continuo, con fitta rete irrigua per controllare umidità e ridurre la deriva di acqua negli scarichi



Schema di matrice in tasche, celle o vaschette con distribuzione capillare pianta per pianta.

*Esempi di stratigrafie con matrice omogenea, per il trattenimento dell'acqua*

In tutte le soluzioni sopra elencate, l'acqua d'irrigazione non viene mai accumulata nei moduli come riserva d'acqua libera a potenziale zero, ma come umidità trattenuta, con potenziale che dipende dalle caratteristiche del materiale e dal grado di saturazione.

In una stratigrafia con matrice, l'obiettivo principale è la distribuzione localizzata della corretta quantità d'acqua, in modo da massimizzare il trattenimento in loco limitando la perdita di acqua gravitazionale.

In questo modo si ottengono i seguenti vantaggi:

- alta efficienza di impiego della risorsa, con risparmio idrico;
- omogeneità dell'umidità in parete, perché l'acqua viene ritenuta senza dover bagnare più volte le parti sottostanti;
- ottimizzazione per le necessità fisiologiche delle piante secondo la stagione.

Inoltre, il maggiore livello di controllo della risorsa idrica consente di raccogliere i dati di consumo e monitorare le prestazioni della parete.

Il dosaggio viene calibrato tramite centralina collegata a sensori di umidità, eventualmente coadiuvati da sensori ambientali o da centralina meteorologica.

Il numero e la posizione dei sensori in parete devono essere tali da ottenere un valore rappresentativo dell'umidità media dello strato di matrice. I sensori sono quindi da utilizzare con supporti modulari che garantiscano una omogeneità qualitativa e quantitativa dello strato di matrice. A titolo esemplificativo, per una parete verticale complanare, con insolazione uniforme, è possibile distribuire i sensori in colonna, distanziandoli di 4-5 m, secondo l'altezza della parete, le caratteristiche della stratigrafia e il frazionamento delle zone di irrigazione.

## 6.2 Schemi impiantistici

L'impiantistica d'irrigazione ha un'importanza centrale nel funzionamento di un sistema di verde verticale. La scelta della modalità di utilizzo dell'acqua dipende dalla possibilità di effettuare le predisposizioni (adduzione e scarichi) e dalla facilità di approvvigionamento dalle fonti, con implicazioni sul risparmio idrico e sulla semplicità di gestione.

### 6.2.1 Irrigazione a ciclo aperto

Modalità più utilizzata e di più semplice gestione per l'irrigazione di pareti vegetali. Consiste nell'immissione nella rete idrica di acqua prelevata da fonte illimitata e disponibile, di qualità costante. Dopo il filtraggio viene dosato il fertilizzante per ottenere una soluzione calibrata secondo la stagione. L'eccesso idrico non trattenuto viene smaltito mediante un sistema di raccolta posto alla base della parete. In stratigrafie con matrice di accumulo dell'umidità si perseguono strategie di risparmio idrico, riducendo la deriva lungo la parete.

In alternativa al ciclo aperto è possibile recuperare l'acqua in eccesso, per reimmetterla nel sistema dopo opportuni trattamenti di filtraggio e sanificazione. Dato che l'acqua in uscita contiene residui di sali fertilizzanti non utilizzati dalle piante, è comunque opportuno diluirla significativamente per non influire sul bilanciamento della fertirrigazione.

## 6.2.2 Irrigazione a ciclo chiuso

Utilizzabile per pareti di piccole dimensioni, quando non è possibile collegarsi all'acquedotto o ad altra fonte illimitata. In questo caso è necessario dimensionare un serbatoio di acqua da caricare manualmente con frequenza che dipende dalla capacità della cisterna e dal consumo della parete. Il rischio consiste nella mancanza di rifornimento, la cui necessità può essere richiamata mediante segnalazione visiva, sonora o con allarme da remoto. Il residuo idrico in uscita dalla parete viene riportato in cisterna per chiudere il ciclo. All'esterno è preferibile evitare il circuito chiuso in quanto una evapotraspirazione elevata riduce fortemente l'autonomia del sistema e richiede serbatoi di grandi dimensioni.

L'acqua circolante in un sistema chiuso, per quanto diluita dalle nuove immissioni, può andare incontro a una riduzione qualitativa della soluzione circolante, per accumulo di sedimenti e mancanza di controllo su aspetti fitosanitari e di fertilizzazione. Anche in questo caso è possibile applicare sistemi di filtraggio e sanificazione (raggi UV), prima del ritorno in cisterna.

In alternativa al recupero è possibile riutilizzare l'eccesso idrico per altre installazioni (es. giardino o fioriere), realizzando un ciclo misto.

---

## 7 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

La documentazione minima necessaria che deve essere contenuta nel progetto è, per i lavori pubblici, quella indicata nella legislazione vigente.

In genere, in ogni caso, la documentazione deve contenere,

- una relazione di progetto agronomico e tecnologico,
- la stratigrafia tipo e i dettagli tipici,
- la descrizione delle caratteristiche di tutti i materiali da utilizzare,
- la scheda tecnica delle specie vegetali, con relazione agronomica, come indicato nell'Appendice A.5,
- lo schema di posa delle diverse varietà, e il loro peso percentuale sulla composizione,
- lo schema dell'impianto di irrigazione, la sua tipologia, la sua portata,
- le modalità di installazione (piante posate in opera o preinserite dei moduli),
- l'aspetto iniziale previsto e tempi di chiusura dello strato vegetale, secondo la stagione di impianto.

Oltre a quanto ivi indicato, deve essere identificato il livello di gestione del sistema e della tipologia di vegetazione secondo quanto indicato nel punto 5.3.8 della presente norma.

## 8 MATERIALI E COMPONENTI

Sono di seguito elencati, per ogni singolo elemento o strato, i materiali attualmente e prevalentemente utilizzati.

### 8.1 Elementi strutturali o di aggancio delle pareti vegetate

I materiali più comunemente utilizzati per le strutture sono l'acciaio zincato a caldo, l'alluminio e l'acciaio inox con diversi gradi di resistenza alla corrosione secondo le condizioni ambientali e la durata prevista per l'installazione.

### 8.2 Elemento di protezione idrica della parete

Le pareti vegetate prevedono lo scorrimento dell'acqua nella stratigrafia verticale, il quale non deve mai interessare la superficie muraria, eventuali elementi strutturali, infissi e altri manufatti non resistenti all'azione idrica.

Secondo il grado di protezione richiesto, sono utilizzati diverse tipologie di strati. Tra i più comuni per le soluzioni modulari si trovano schermi e membrane traspiranti, o altamente traspiranti, sintetiche, secondo quanto definito dalla UNI 11470. In ogni caso deve essere posizionato un sistema di controllo del flusso idrico in corrispondenza degli infissi e al sistema di raccolta dell'acqua.



Tabella da UNI 11470

### 8.3 Strato di drenaggio idrico

I materiali normalmente utilizzati sono:

- polivinilcloruro. In questo caso è necessario verificare che la parete perimetrale non presenti, inserendo tale materiale, fenomeni di condensazione interstiziale;
- altri materiali, normalmente preformati e anche realizzati in elementi giustapposti e interconnessi fra di loro al fine di permettere uno scorrimento dell'acqua senza interruzioni, sempre verificando il funzionamento igrometrico della parete perimetrale.

### 8.4 Matrice di accumulo idrico

I materiali utilizzati, che possono essere contenuti in elementi di vario tipo (griglie, materassini cuciti, celle o vaschette), differiscono notevolmente per il loro peso a saturazione d'acqua o meno, con implicazioni sulla portata della struttura e sulla tenuta del sistema. Possono differenziarsi anche per altre importanti

caratteristiche tecniche, quali la capacità di mantenere l'aria per le radici a piena saturazione e la stabilità nel tempo.

Si distinguono due macrocategorie:

- strati di origine naturale (minerale, torba, fibra di cocco, sfagno etc.), a volte assemblati anche in substrati misti, con prestazioni e durata attesa diversa,
- materiali sintetici quali lana di roccia, polimeri plastici, etc.

## **8.5 Rete di distribuzione idrica**

Può essere costituita da:

- un sistema di tubazioni con ali gocciolanti a punti goccia integrati, autocompensanti;
- un sistema di gocciolatori inseriti su tubi di adduzione, direttamente o tramite capillare, maggiormente suscettibili a otturazioni da calcare. Per questo tale alternativa viene utilizzata più raramente.

La rete irrigua è un importante elemento del sistema, che può variare sensibilmente secondo:

- tipo di stratigrafia, senza o con matrice;
- tipo e dimensione del modulo;
- capacità di controllo dell'erogazione.

Maggiore è l'estensione della rete, più è possibile effettuare micro-irrigazioni localizzate per puntare a un risparmio idrico.

## **8.6 Gruppo di partenza dell'impianto**

La stazione di controllo comprende i seguenti elementi:

- centralina dotata di controllo da remoto, per ricevere allarmi e gestire in tempo reale eventuali situazioni di rischio,
- contatore a impulsi, per rilevare tempestivamente diminuzioni del flusso o chiusura dell'alimentazione idrica,
- filtro di protezione dell'impianto, da pulire secondo piano di gestione,
- elettrovalvole, in numero variabile secondo progetto,
- dosatore proporzionale del fertilizzante, con possibilità di fertirrigazione intermittente,
- punti di prelievo prima e dopo il dosatore per l'analisi dell'acqua,
- sensori di umidità in parete e di rilevamento dei parametri ambientali, mediante campionatura significativa nei punti rappresentativi della parete,
- eventuale contatore dell'acqua in uscita dal sistema, per monitorare l'efficienza di utilizzo della risorsa idrica.

## **8.7 Canaline e cornici deviatrici**

Possono essere realizzati mediante materiali polimerici o metallici resistenti a ossidazione e corrosione.

## **8.8 Vegetazione delle pareti vegetate**

Strato che deve essere continuo, solitamente realizzato con un elevato numero di piante al metro quadrato (da 10 a 50 o più) in competizione per lo spazio.

---

# 9 ISTRUZIONI PER L'ESECUZIONE E L'INSTALLAZIONE

## 9.1 Premessa

Al fine di un corretto funzionamento nel tempo della parete vegetata, è necessario che tutto il processo di esecuzione sia accuratamente controllato.

Ci sono due diverse modalità esecutive delle pareti vegetate, che vengono utilizzate secondo la situazione, di cantiere e le caratteristiche dei moduli:

- piantagione in opera. Consiste nell'inserimento delle piante direttamente in cantiere, dopo avere predisposto la stratigrafia. La sua convenienza dipende dalla dimensione e altezza della parete, dalle situazioni logistiche e di cantiere, dalle condizioni ambientali al momento dell'installazione, dai tempi a disposizione e, non ultimo, dalla semplicità di inserimento delle piante nella tipologia di parete vegetale;
- preallestimento in vivaio dei moduli, con o senza pre-coltivazione, praticato soprattutto per velocizzare l'installazione delle pareti di grandi dimensioni.

## 9.2 Stazione di automazione e controllo dell'impianto di irrigazione

Per salvaguardare la parete vegetata è importante tenere conto delle seguenti indicazioni:

- ricoverare il gruppo di partenza dell'impianto in cavedio tecnico, o mobile con chiave, destinato a uso esclusivo della parete vegetata e accessibile ai soli tecnici abilitati. Deve essere evitata la commistione con deposito di altri materiali o quadri elettrici di altri impianti, per impedire manomissioni da parte di terzi. Nel caso i relè di controllo della centralina e dell'illuminazione per le piante risiedano in un quadro generale, è necessario disporre di relè dedicati, protetti da interruzioni accidentali e identificati con etichette di segnalazione e avvertimento;
- Il pavimento della zona tecnica deve essere resistente o protetto da eventuale versamento di acqua, acidi o fertilizzante; da prevedere il ricambio d'aria nel locale, per la tutela degli operatori e delle apparecchiature elettroniche;
- il gruppo di partenza deve essere dotato di contatore a impulsi (flussometro) che consenta alla centralina di inviare allarmi di interruzione del flusso, per accidentale chiusura dell'acqua o dell'alimentazione elettrica. La riattivazione tempestiva evita una delle maggiori cause di danneggiamento delle pareti vegetate, per morte parziale o totale delle piante;
- l'impianto deve essere realizzato con bocchettoni di smontaggio rapido e rubinetti di chiusura parziale, per rendere semplice e veloce lo smontaggio in ogni sua parte, in caso d'ispezione, pulizia e sostituzione di qualsiasi elemento;
- la fertirrigazione deve prevedere punti di prelievo per l'analisi delle acque prima e dopo il dosatore proporzionale e una presa d'acqua per il carico della cisterna della soluzione madre. Inoltre, deve essere previsto un by-pass per consentire l'irrigazione senza fertilizzazione secondo le necessità di mantenimento della vegetazione.

## 9.3 Illuminazione funzionale

Il quadro per l'illuminazione può essere integrato nel gruppo di partenza della parete vegetale e deve essere gestito da orologio per funzionare tutto l'anno con tempi adeguati secondo l'intensità d'irraggiamento e le esigenze delle specie presenti.

La luce è il principale fattore limitante negli interni. Di conseguenza l'illuminazione naturale, normalmente integrata con quella artificiale, è uno degli aspetti chiave per il corretto funzionamento di pareti vegetate in interno. Anche in esterno, potrebbe essere necessaria l'integrazione con luce artificiale in condizioni sfavorevoli come la presenza di una schermatura da parte di edifici o coperture limitrofe.

Per la realizzazione di un impianto d'illuminazione per le piante è utile tenere presente le seguenti indicazioni:

- l'irraggiamento luminoso deve essere significativo, ma non eccessivo.

Nel verde verticale i migliori risultati si ottengono con intensità luminose che operano nell'intervallo di massima resa quantica della fotosintesi, in modo da mantenere un irraggiamento medio basso, con riduzione dei tassi di sviluppo della vegetazione. Tale intervallo dipende dalla varietà considerata e dalla sua flessibilità di adattamento.

Le schede tecniche delle lampade e dei corpi illuminanti forniscono, normalmente, dati dei flussi luminosi espressi in Lumen, che consentono di ricavare valori di irraggiamento espressi in LUX. L'inevitabile utilizzo del LUX (misura per progetti illuminotecnici) anziché del PAR (photosynthetically active radiation) può generare due ordini di problemi:

- le ricerche scientifiche sulle esigenze delle diverse specie sono disponibili con dati espressi in PAR e non in LUX;
- il rapporto tra LUX e PAR varia sensibilmente secondo la composizione spettrale della luce. Ad esempio, nel caso di lampade con rafforzamento delle bande nel rosso e nel blu, la misura del LUX può rilevare solo una piccola parte della componente fotosinteticamente attiva, che viene quindi fortemente sottostimata. Pertanto, è vantaggioso progettare con materiale di cui sono disponibili gli spettri di emissione o sul quale sono state fatte misurazioni di confronto tra luxmetro e sonda fotometrica. Ove possibile si possono utilizzare lampade che riportino i dati del PAR nella scheda tecnica;

- la luce utilizzata deve sempre essere proiettata e non diffusa.

Il flusso luminoso diffuso da un corpo illuminante (es. lampada nuda o schermo luminescente) perde efficacia già a breve distanza dal punto di emissione. Per irraggiare efficacemente la superficie fogliare, la luce deve essere proiettata dalla parabola o dalla lente dei corpi illuminanti. Gli angoli di emissione sono scelti in funzione della posizione del corpo illuminante e della distanza della superficie da raggiungere, secondo progetto illuminotecnico.

- posizione dei corpi illuminanti.

La posizione ideale per massimizzare resa e omogeneità è quella frontale, quasi mai percorribile per problemi di abbagliamento delle persone.

Al contrario, la situazione più svantaggiosa è quella con illuminazione dall'alto in posizione ravvicinata. In questo caso si verificano infatti due inconvenienti:

- la luce angolata perde intensità e irraggia in modo eterogeneo, con marcate differenze tra la parte alta e quella bassa della parete;
- le piante della zona alta crescono maggiormente, ombreggiando quelle sottostanti e aggravando il differenziale verso la zona bassa. Nei casi più eclatanti (impianti wallwasher) le piante sommitali si estendono a coprire i corpi illuminanti, intercettando la quasi totalità della luce.

## 9.4 Impianto di climatizzazione

Negli ambienti interni è fondamentale realizzare o modificare l'impianto di climatizzazione per il mantenimento delle condizioni ambientali nel corso dell'anno, senza pause. In assenza di climatizzazione estiva le temperature eccessive combinate con l'illuminazione artificiale possono, ad esempio, aumentare i tassi di respirazione a scapito della fotosintesi netta, portandone il livello sotto al punto di compensazione, con graduale deperimento delle piante.

La riduzione del riscaldamento in inverno può essere praticata entro certi limiti, mantenendo la temperatura sopra il minimo termico delle specie presenti e bilanciando altri fattori, quali irrigazione e fertilizzazione.

In ogni caso deve essere evitato il posizionamento di bocchette dell'aria calda o fredda diretta verso la vegetazione per evitare sbalzi termici e flussi di aria secca.

Anche il ricambio d'aria deve essere garantito per mantenere una concentrazione corretta di anidride carbonica, che può esaurirsi in piccoli ambienti chiusi, portando al blocco della fotosintesi.

## 9.5 Adattamento delle piante

Le piante, provenienti da lotti con diverse condizioni di allevamento, possono entrare in situazione di stress da adattamento e la nuova collocazione in parete le costringerà a mettere in atto nuove risposte morfogenetiche.

Uno dei maggiori rischi per l'attecchimento delle pareti indoor è l'installazione della parete vegetata prima di ottimizzare le condizioni del nuovo ambiente. L'arrivo e la permanenza prolungata in condizioni di buio, o senza climatizzazione attiva, o in condizioni di polverosità di cantiere, può provocare una crisi di attecchimento diffusa. Le piante devono quindi arrivare a cantiere concluso, con impianti di climatizzazione, ricambio d'aria e illuminazione collaudati e a regime.

## 9.6 Dettagli esecutivi

Nel caso siano presenti finestre o manufatti da proteggere mediante canaline deviatrici, è necessario curare le sovrapposizioni degli elementi di scorrimento dell'acqua all'interno di tali elementi. Sono da evitare le soluzioni di siliconatura, che sottoposte a stress termici e sollecitazioni meccaniche, risultano inaffidabili con perdita di tenuta all'acqua in pochi anni.

---

## **10                    CONTROLLI**

### **10.1                Generalità**

I collaudi previsti devono assicurare che gli interventi edili ed agronomici rispondano alle prescrizioni di progetto. I controlli elencati di seguito devono essere sempre garantiti e previsti:

- controllo delle stratigrafie e degli impianti accessori,
- controllo impiantistico,
- controllo dell'andamento della vegetazione, particolarmente critico in ambiente esterno.

### **10.2                Controllo delle stratigrafie e impianti accessori**

Il controllo deve essere effettuato al termine della posa delle stratigrafie e degli impianti accessori per verificare la rispondenza qualitativa, prestazionale e dimensionale di quanto previsto in progetto.

### **10.3                Controllo impiantistico**

È un controllo determinante per il corretto avviamento, che comprende:

- partenza del sistema di irrigazione per un periodo di alcuni minuti per verificare la tenuta e funzionalità degli elementi impiantistici;
- verifica del segnale di rete per la gestione da remoto;
- taratura delle soglie di minima e di massima del flussometro in funzione della programmazione;
- taratura delle sonde di umidità e impostazione delle soglie minima e massima. La taratura delle sonde può essere inizialmente basata sui dati della curva di potenziale e su prove di laboratorio per il substrato utilizzato. Da controllare dopo l'installazione per verificare l'affidabilità della posizione nella matrice;
- verifica degli altri strumenti di lettura dei parametri ambientali (es temperatura, anemometro, stazione meteo);
- verifica del funzionamento del dosatore proporzionale, con il flusso delle diverse zone;
- impostazione provvisoria dell'irrigazione con aggiustamento nei giorni successivi;
- taratura dell'eventuale illuminazione artificiale per tempi e inclinazione dei corpi illuminanti, mediante misurazione puntuale con sonda fotometrica.

### **10.4                Controllo della vegetazione**

Verifica dello stato della vegetazione nel primo mese dall'impianto con visite per verificarne l'attecchimento e lo sviluppo.

Il controllo delle opere a verde deve essere effettuato anche nei cambi di stagione del primo anno e a 12 mesi dal termine della posa delle specie vegetali.

Questi controlli per la loro importanza possono far parte del piano di gestione del primo anno.

---

# 11 GESTIONE DELLE PARETI VEGETATE

Il piano di gestione, che include il monitoraggio e la manutenzione, deve essere stabilito già in fase progettuale, dato che la determinazione della sua intensità è un requisito di progetto.

L'attività di controllo costituisce un elemento fondamentale per il mantenimento in equilibrio del sistema e varia secondo le soluzioni e le tipologie impiantistiche.

Il piano di gestione è il documento che prevede, pianifica e programma l'attività di manutenzione di un'opera al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico.

Assume contenuto differenziato in relazione all'importanza e alla specificità dell'intervento, ed è costituito dai seguenti documenti operativi:

- a) il manuale d'uso;
- b) il manuale di manutenzione;
- c) il programma di monitoraggio e manutenzione.

## 11.1 Generalità

Le tipologie di gestione possono essere le seguenti:

- manutenzione del manto vegetale;
- monitoraggio e modulazione dei fattori di crescita;
- gestione del gruppo di partenza e del dosatore del fertilizzante;
- monitoraggio dell'efficienza della rete irrigua;
- manutenzione del sistema di raccolta e smaltimento delle acque irrigue.

## 11.2 Fasi della gestione delle pareti vegetate

Sono da considerare le seguenti sotto-tipologie di manutenzione:

- impostazioni e controlli iniziali;
- monitoraggio per avviamento a regime;
- manutenzione ordinaria;
- manutenzione straordinaria.

### 11.2.1 Impostazioni e controlli iniziali

Questo importante periodo gestionale, dietro incarico da parte della committenza, deve essere sempre sotto la responsabilità dell'azienda realizzatrice, direttamente o tramite delega a tecnici competenti di sua fiducia.

In ambiente esterno può richiedere alcune settimane, durante le quali si verifica l'adattamento della vegetazione nella nuova situazione d'impianto.

Le attività iniziali comprendono:

- taratura dell'impianto d'irrigazione secondo le condizioni ambientali contingenti. Si parte solitamente da impostazioni cautelative, con leggero eccesso rispetto alla stima. Si procede a riequilibrare nei giorni successivi, mediante controlli in parete;
- la compilazione della "scheda di programmazione idrica". Quest'ultima dovrà essere lasciata a disposizione dei tecnici che gestiranno di volta in volta le impostazioni, durante le modifiche stagionali;

La scheda cartacea o digitale deve essere aggiornata anche in caso di registrazione automatica dei dati storici sulla centralina. Deve riportare i dati salienti della rete distributiva, per consentire di effettuare un calcolo della portata e valutare l'erogazione alle diverse quote. Deve essere corredata dallo schema della rete distributiva con divisione delle zone controllate dalle elettrovalvole alle diverse quote, modello dell'ala gocciolante, con portata e passo dei punti goccia;

- verifica delle sonde di umidità in parete, quando previste, e controllo della coerenza dei dati trasmessi;
- alla scheda di programmazione idrica dovrà essere allegata anche la “scheda di fertilizzazione”, che indichi la modalità e la cadenza prevista. La fertilizzazione mediante dosatore proporzionale può essere attivata o meno in funzione del piano di gestione del sistema. In ogni caso nella scheda devono essere indicati i criteri da seguire per una corretta strategia di fertirrigazione nelle diverse stagioni, con indicazioni di parametri medi di salinità, etichetta del fertilizzante, dosaggi nella soluzione madre in relazione all'impostazione del dosatore;
- programmazione dei tempi d'illuminazione e delle condizioni ambientali indoor. La durata dell'illuminamento mediante orologio, deve essere tarata in funzione dell'intensità luminosa e delle impostazioni di climatizzazione, riscaldamento e ricambio d'aria, soprattutto in piccoli ambienti chiusi.

### **11.2.2 monitoraggio per avviamento a regime**

Questa fase serve per verificare il cambiamento delle esigenze stagionali nel corso del primo anno e raccogliere informazioni circa le condizioni reali nel corso dell'anno. Può essere svolta direttamente dall'azienda realizzatrice o delegata a tecnici e manutentori esperti. In questo periodo, l'azienda realizzatrice deve comunque supervisionare i lavori e, se necessario, attivare un training al personale che gestisce la parete.

È opportuno prevedere e contrattualizzare almeno il primo anno di manutenzione al momento dell'incarico di realizzazione.

La scheda della programmazione idrica deve essere aggiornata ad ogni cambiamento di programmazione con la data, i giorni settimanali di bagnatura, il numero e la durata delle partenze ed eventuali cambi del budget stagionale, per le centraline che lo prevedono. In questo modo si registreranno dati storici di riferimento per programmazioni definitive o per informare eventuali tecnici subentranti. Anche i dati delle sonde di umidità seguiti durante questo periodo vengono verificati ed affinati per il futuro controllo da remoto. Si tratta di informazioni fondamentali per la taratura delle soglie di umidità stagionali, visualizzate da remoto o gestite da eventuali centraline auto-calibranti.

La fertirrigazione, solitamente concentrata nel periodo primaverile ed autunnale, deve essere seguita con accuratezza nei tempi e nel dosaggio.

La concentrazione, la composizione e la frequenza della soluzione fertilizzante deve essere determinata secondo le caratteristiche della matrice colturale, il tipo di vegetazione, ed il bilanciamento con gli altri fattori di crescita.

Per pareti di piccole dimensioni (altezza inferiore a 3 m, e superficie minore di 30 m<sup>2</sup>), progettate con matrici adeguate si può provvedere all'inserimento manuale di fertilizzanti a lento rilascio secondo cadenze da riportare nelle schede di manutenzione, integrando se necessario con trattamenti fogliari.

È importante registrare anche il dosaggio di altre sostanze, quali acidificanti, per la manutenzione delle ali gocciolanti, o principi curativi, inseriti tramite la rete di distribuzione idrica, mediante dosatore proporzionale.

Se l'attività di controllo e gestione degli impianti è condotta correttamente, nel primo anno, la manutenzione del verde si può ridurre all'estirpazione di qualche infestante proveniente dai vivai di origine.

In ogni caso è necessario effettuare la manutenzione del gruppo di partenza, con pulizia del filtro di protezione dell'impianto e controlli del dosatore proporzionale, secondo le indicazioni del produttore.

### **11.2.3 manutenzione ordinaria**

Dopo il primo anno di gestione, si conosce la situazione media stagionale sulle diverse porzioni di parete e si può disporre di informazioni che semplificano notevolmente la gestione.

Nello stadio giovanile dell'installazione dei primi 3 o 4 anni, si mantiene facilmente un ottimo stato vegetativo, mediante una rigorosa gestione degli impianti. Il controllo e la manutenzione di routine dei filtri e degli elementi impiantistici consentono di limitare i guasti improvvisi.

Anche le parassitosi sono generalmente poco frequenti, se si modera l'umidità e la concimazione azotata.

Il passaggio alla maturità si può manifestare con la senescenza e morte di alcune specie, accompagnato dal sopravvento di quelle più aggressive. Si può verificare un cambio radicale nell'aspetto della parete e in qualche caso si rendono necessarie manutenzioni straordinarie con frequenti integrazioni di piante. La sua comparsa dipende dal cambio di equilibrio tra le variabili del sistema, quali la stabilità delle matrici, l'eccessiva massa radicale che limita i movimenti dell'acqua, una maggior esigenza di qualità nella fertilizzazione, un calo di prestazione nell'impianto (es. sedimenti nelle elettrovalvole e nella rete di distribuzione idrica). In rari casi si può verificare l'ingresso delle radici nei punti goccia, con interruzione dell'irrigazione di tutta una linea e morte di una intera zona.

Tuttavia, il cambio di equilibrio nel sistema è prevedibile e va anticipato con i giusti correttivi. Ad esempio, la lettura dei dati del flussometro consente di verificare la riduzione di prestazione idrica e trovarne in tempo la causa per evitare danni progressivi.

Nella fase di maturità, la manutenzione di un giardino verticale rustico, risulta semplificata perché la copertura è affidata al sopravvento delle specie più adattabili e longeve. In quest'ottica gli interventi manutentivi possono diventare occasionali e quelli straordinari limitati a danni imprevisi, per mancata sorveglianza della parete.

## **11.2.4 Manutenzione straordinaria**

La manutenzione straordinaria riguarda la sostituzione o l'aggiornamento degli elementi del sistema:

- la sostituzione dei componenti, quali elettrovalvole, ali gocciolanti, dosatore proporzionale, che possono andare incontro a usura, a prescindere dalla corretta manutenzione ordinaria;
- aggiornamenti tecnologici significativi possono essere vantaggiosi per semplificare il controllo e la gestione della parete;
- la sostituzione delle piante sofferenti o morte, non compensate dall'espansione di altre specie. Entro certi limiti le fallanze non incidono sulle prestazioni estetiche e funzionali di un giardino verticale. Diventa invece necessario intervenire con manutenzioni straordinarie quando le fallanze scoprono aree significative, particolarmente visibili nei periodi di vegetazione attiva. La sostituzione delle piante costituisce uno dei maggiori costi manutentivi per pareti vegetate che non sono in equilibrio o per installazioni spiccatamente decorative che devono mantenere una precisa identità compositiva;
- la pullulazione di parassiti non è frequente in esterno a meno di condizioni di ristagno d'aria, elevata umidità, eccesso idrico in parete, o per attacchi secondari su piante già sofferenti. Più frequente l'attacco di cocciniglia in interno dove sono problematici gli interventi fitosanitari;
- marciumi radicali si possono verificare in primavera e in autunno, nel caso di substrati poco arieggiati in seguito a riduzione della porosità o con stratigrafie che trattengono acqua libera (riserva d'acqua);
- la necessità di riposizionare i sensori di umidità è una eventualità sporadica, ma necessaria quando i dati trasmessi sembrano variare eccessivamente rispetto alle soglie usuali, e non danno indicazioni plausibili. Questo può essere dovuto ad uno spostamento del sensore, ad un alleggerimento o impaccamento della matrice o all'avvolgimento nel pane radicale della pianta.

## **11.3 Manutenzione del sistema di drenaggio**

È necessario, annualmente e prima dell'inverno, effettuare un'ispezione del sistema di drenaggio (ove possibile) procedendo all'eliminazione di elementi o parti (anche di tipo vegetale) che possano ridurne l'efficienza.

## **11.4 Manutenzione del sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche**

È necessario, mantenere pulite canaline e scarichi da intasamenti possibili in presenza di piante spoglianti all'interno o in prossimità della parete.

## **11.5 Manutenzione degli impianti**

Per gli impianti d'irrigazione, fertilizzazione automatica e illuminazione dovranno essere seguite le modalità di manutenzione, come riportato delle rispettive norme di riferimento.

### **11.5.1 Interventi su impianto d'irrigazione e fertilizzazione**

In particolare, per gli impianti d'irrigazione e fertilizzazione, la manutenzione sarà effettuata affinché gli stessi siano sempre efficienti e perfettamente funzionanti, con le seguenti operazioni:

- pulizia periodica del filtro di protezione dell'impianto secondo il suo dimensionamento (minimo 140 mesh), tenendo conto della qualità dell'acqua e del tipo di fertilizzanti impiegati;
- verifica dell'efficienza delle elettrovalvole, che potrebbero necessitare di sostituzione dopo un certo numero di anni, secondo l'usura. I sedimenti organici o minerali non trattenuti dal filtro ne possono provocare il grippaggio. Sono premonitori i dati del flussometro, con variazioni di flusso ingiustificate, in aumento o diminuzione;
- verifica (ove possibile) dell'efficienza delle ali gocciolanti, che possono anch'esse subire ostruzioni parziali o complete in seguito al superamento del filtro da parte di sedimenti organici o minerali. Al fine di evitare che le inevitabili impurità ostruiscano gli ugelli di irrigazione, si può provvedere allo svuotamento ed allo spurgo delle reti idriche di innaffiamento automatico e manuale da effettuare zona per zona. È anche possibile prevenire o diminuire i sedimenti calcarei mediante acidificazione dell'acqua d'irrigazione;
- l'ostruzione può essere occasionalmente causata anche dall'intrusione delle radici nel punto goccia. Ad esempio per reazione da parte di alcune specie in caso di prolungata carenza idrica;
- in caso di deterioramento avanzato delle ali gocciolanti è necessario provvedere alla loro sostituzione, secondo gli accorgimenti previsti in fase progettuale;
- verifica dell'efficienza di funzionamento del dosatore proporzionale, con sostituzione o lubrificazione delle guarnizioni, secondo il piano di manutenzione del produttore e comunque almeno una volta all'anno.
- rimozione di eventuali sedimenti dal fondo della cisterna di soluzione madre del fertilizzante, per evitare che vengano aspirati nel dosatore proporzionale.

### **11.5.2 Ulteriori indicazioni**

L'impianto d'irrigazione di una parete vegetata non viene mai fermato, neppure durante il periodo invernale. In zone soggette al gelo l'impianto di irrigazione potrebbe essere danneggiato dalle temperature rigide nel caso i tubi di adduzione non siano sufficientemente isolate e gli elementi dell'impianto non siano riparati in locale interno.

Per evitare i danni da gelo, tutti gli elementi dell'impianto posizionati all'esterno (filtro, valvole, raccordi e dosatore) vanno protetti in contenitori isolati termicamente, eventualmente scaldati da termoresistenza con termostato, o coperte con materiale termoisolante (ad esempio schiuma isolante e busta di plastica). Qualsiasi tubazione fuori dal terreno deve essere isolata con schiume termoisolanti.

Riguardo invece alla rete di ali gocciolanti è possibile prevedere lo svuotamento parziale o completo in modo prevenire i danni. Esistono diverse modalità di svuotamento, dal semplice gocciolatore di drenaggio in fondo alla parete, alla valvola motorizzata per lo svuotamento attivata da sensore gelo.

### **A.1 Erbacee**

Le specie erbacee perenni rivestono notevole interesse nelle sistemazioni di verde verticale. Quest'ultime sono particolarmente indicate grazie al fatto che presentano dimensioni piuttosto contenute sia dell'apparato aereo che, soprattutto, di quello radicale (adatte ad una radicazione superficiale), hanno una buona capacità di propagazione e, non ultimo, una spiccata resistenza a stress termici, idrici e salini.

---

### **A.2 Bulbose, tuberose e rizomatose**

Anche le piante geofite possono rivestire un importante ruolo nella realizzazione del verde verticale. Si tratta di piante dotate di apparato radicale superficiale; la loro poliennialità, invece, non sempre può essere proficuamente utilizzata perché le forti escursioni termiche possono avere conseguenze sulle prestazioni di alcune bulbose.

---

### **A.3 Arbusti**

Le piante arbustive grazie alla loro plasticità e alla loro notevole varietà di forme e portamento si prestano a molteplici tipologie di uso. Oltre al valore ornamentale, presentano rusticità ed elevata capacità di adattamento alle condizioni ambientali estreme, proprie del verde verticale. Questa capacità è supportata dalla lignificazione più o meno rapida dei tessuti e dall'alternanza tra periodi di vegetazione e di riposo, modulata sulla base dell'andamento termo-udometrico.

Gli intrinseci caratteri estetici, la resistenza a fattori avversi, quali la marginalità delle condizioni pedologiche, gli eccessi termici, le basse temperature, i venti salini sono tutti fattori che depongono a favore della scelta delle piante arbustive.

Un ulteriore elemento che ne favorisce l'uso è l'ampia variabilità non solo specifica ma anche intraspecifica conseguente al lavoro di miglioramento genetico. Tale variabilità si manifesta attraverso il colore dei fiori, la forma, il portamento della pianta e le esigenze della stessa nei confronti delle condizioni ambientali.

---

### **A.4 Rampicanti e ricadenti**

Le piante rampicanti e ricadenti hanno una minore possibilità di impiego nelle pareti vegetate a causa del notevole accrescimento dei fusti e delle foglie, che possono competere in modo eccessivo con le piante contigue. Tale rapidità di accrescimento è invece utile per le tipologie di pareti verticali in contenitori con rampicanti, utilizzate per ombreggiare le pareti degli stabili.

NOME SCIENTIFICO
VARIETA':
FAMIGLIA
SINONIMI
NOME COMUNE
ORIGINE E DISTRIBUZIONE
<b>CARATTERISTICHE ESTETICO-FORMALI</b>
PORTAMENTO
CARATTERISTICHE DIMENSIONALI IN PIENA TERRA Altezza massima: Altezza media: Diametro chioma: Sviluppo radici:
ACCRESIMENTO ATTESO IN CONDIZIONI IMPIANTO
LONGEVITÀ
CHIOMA Tipologia: Densità:
FOGLIE Tipologia: Colore:
FIORI Periodo di fioritura: Colore:
FRUTTI
<b>ESIGENZE ECOLOGICHE</b>
LIMITI ALTITUDINALI: Limite inferiore: Limite superiore:
SUBSTRATO - ESIGENZE AGRONOMICHE pH:                      umidità terreno:                      fertilità: esigenze specifiche:
ESIGENZE CLIMATICHE zona climatica: temperatura media annua: luce:
<b>CARATTERISTICHE FUNZIONALI</b>
Resistenza a fitopatologie e parassitosi:  Eventuali funzioni specifiche nel progetto:
<b>EVENTUALI ESPERIENZE PRECEDENTI NEL VERDE VERTICALE</b>
N° di installazioni in cui è stata sperimentata:  Tipologia di stratigrafia in cui è stata utilizzata:  Adattabilità e durata negli anni:

---

## APPENDICE B - OBIETTIVI PRESTAZIONALI DELLE PARETI

### B.1 Assorbimento acustico

L'applicabilità del controllo dell'assorbimento acustico dei sistemi di verde verticale è valida per quei sistemi che saranno adottati all'esterno degli edifici.

Nel caso ci si trovi in situazioni caratterizzati da un volume determinato, la norma di riferimento è la UNI EN ISO 354 "Acoustic Measurement of sound absorption in a reverberation room".

La Norma ISO 9613-1 "Acoustic Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere" è il riferimento per il verde pensile in esterno.

---

### B.2 Biodiversità

Il requisito si attua utilizzando piante autoctone che lo studio naturalistico indica come specie chiave per aumentare la biodiversità vegetale e animale in sinergia con l'ambiente naturale o semi-naturale circostante.

Il processo di progettazione si attua:

- definendo lo studio naturalistico in funzione delle condizioni locali;
- scegliendo le specie vegetali autoctone da inserire in progetto;
- armonizzando la composizione con specie compatibili con quelle autoctone;
- evitando specie invasive presenti nelle black list nazionali e locali;
- approntando gli accorgimenti per tutelare le specie chiave, vegetali e animali;
- programmando un piano di manutenzione per il mantenimento dell'equilibrio;
- monitorando negli anni il livello di biodiversità nella parete.

---

### B.3 Controllo delle polveri e dispersione degli inquinanti

L'obiettivo (per quanto riguarda l'azione verso l'esterno dell'edificio) si raggiunge attraverso la definizione dell'assorbimento minimo di specifiche polveri in relazione al miglioramento della dispersione degli inquinanti.

Il processo di progettazione si attua:

- definendo il tipo di inquinante/i da assorbire;
- definendo la quantità di polveri da assorbire;
- definendo la tipologia di vegetazione da impiegare, utilizzando anche i dati delle ricerche e pubblicazioni tecnico-scientifiche.

---

#### **B.4 Riduzione della temperatura superficiale su parete esterna**

Il requisito si attua (per quanto riguarda l'azione verso l'esterno dell'edificio) attraverso la definizione della riduzione di temperatura esterna attesa in funzione delle caratteristiche della parete perimetrale originaria, dell'esposizione, delle variazioni dei parametri ambientali durante l'anno e delle caratteristiche dello strato attivo di vegetazione.

Il processo di progettazione si attua:

- definendo gli obiettivi di riduzione della temperatura superficiale della parete nel periodo di vegetazione attiva;
- definendo il tipo di vegetazione, la densità a pieno sviluppo, l'intensità di azione nelle diverse stagioni, anche in funzione di dati provenienti da ricerche pregresse;
- confrontando i dati della temperatura superficiale, su adeguate porzioni di parete perimetrale originaria e di parete vegetata, effettuate durante l'anno con strumentazione fissa o mobile.

---

#### **B.5 Riduzione dei consumi energetici**

L'obiettivo (per quanto riguarda l'azione verso l'interno dell'edificio) va perseguito attraverso la definizione della riduzione attesa data l'esposizione della parete, le caratteristiche degli elementi della stratigrafia, le caratteristiche dello strato attivo di vegetazione, e le variazioni dei parametri ambientali durante l'anno.

Il processo di progettazione si attua:

- definendo gli obiettivi di riduzione dei consumi energetici in regime estivo e invernale;
- definendo il comportamento in regime estivo e invernale della parete perimetrale nello stato di fatto e nello stato di progetto, sulla base di dati sperimentali, modellazioni o altro metodo di comprovata validità;
- definendo il tipo di vegetazione, la densità a pieno sviluppo, l'intensità di azione nelle diverse stagioni, anche in funzione di dati scientifici provenienti da ricerche pregresse.

---

#### **B.6 Sostenibilità**

Il requisito va programmato in funzione degli altri obiettivi prioritari del progetto e dei costi di gestione che si intendono sostenere nel corso del ciclo di vita dell'installazione.

Il processo di progettazione si attua:

- definendo gli obiettivi prioritari del progetto;
- definendo i mezzi e le risorse necessarie per il raggiungimento delle prestazioni;
- definendo il livello di intensità gestionale necessario al mantenimento in efficienza;
- verificando le prestazioni effettive e l'uso di risorse per il loro raggiungimento.

---

#### **B.7 Aspetti sociali**

Il requisito va programmato in funzione delle caratteristiche delle aree abitative e delle esigenze dei frequentatori.

Il processo di progettazione si attua:

- definendo gli effetti che si perseguono per lo sviluppo dell'area;
- definendo i servizi che si intendono fornire agli abitanti;
- valutando le attese mediante intervista agli utenti e alle associazioni di quartiere;
- verificando le impressioni e i comportamenti degli utenti dopo la realizzazione e durante il ciclo di vita dell'installazione.

# BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Mo L., Ma Z., Xu Y., Sun F., Lun X., Liu X. et al., 2015. Assessing the capacity of plant species to accumulate particulate matter in Beijing, China. Plos One 10(10): e0140664.

Perini K., Ottele' M., Giulini S., Magliocco A., Raccotiello E., 2017. Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system. Ecol. Eng. 100, 268-276.

Perini Katia, Raccotiello Enrica, 2018. Vertical greening systems for pollutants reduction. Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability, 131-140, Elsevier.

Viecco M, Vera S, Jorquera H, Bustamante W, Gironás J, Dobbs C, Leiva E., . 2018.

Potential of particle matter dry deposition on green roofs and living walls vegetation for mitigating urban atmospheric pollution in semiarid climates. Sustainability, 10 (7): 2431.

Weerakkody U., Dover J. W, Mitchell P., Reiling K., 2017. Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. Urban Forestry & Urban Greening, 27: 173-186.

Marta Chàfer, Gabriel Pérez, Julià Coma, Luisa F. Cabeza, A comparative life cycle assessment between green walls and green facades in the Mediterranean continental climate, Energy and Buildings. 249, 15 October 2021, 111236

Maria Agualeles, Marc Calvo-Schwarzwalder, Francesc Font, Timothy G. Myers, A mathematical model for the energy stored in green roofs, Applied Mathematical Modelling. 115 (2023) 513–540

Emmanuel Attal, Bertrand Dubus, Th´er`ese Leblois, Bernard Cretin, An optimal dimensioning method of a green wall structure for noise pollution reduction, Building and Environment. 187 (2021) 107362

Ileana Blanco, Giuliano Vox, Evelia Schettini, Giovanni Russo, Assessment of the environmental loads of green façades in buildings: a comparison with un-vegetated exterior walls, Journal of Environmental Management. 294 (2021) 112927

George Thomas, Jobin Thomas, Gianny Mariya Mathews, Sachin P. Alexander, Jan Jose, Assessment of the potential of green wall on modification of local urban microclimate in humid tropical climate using ENVI-met model, Ecological Engineering. 187 (2023) 106868

V. Oquendo-Di Cosola, F. Olivieri, L. Ruiz-García, A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 162 (2022) 112463

Yehuda Yungstein. David Helman, Cooling, CO2 reduction, and energy-saving benefits of a green-living wall in an actual workplace, Building and Environment. 236 (2023) 110220

T. Susca, F. Zanghirella, L. Colasuonno, V. Del Fatto, Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 159 (2022) 112100

Ashley N.J. Douglas, Angela L. Morgan, Erin I.E. Rogers, Peter J. Irga, Fraser R. Torpy, Evaluating and comparing the green wall retrofit suitability across major Australian cities, *Journal of Environmental Management*. 298 (2021) 113417

Kimia Karimi, Mohammad Farrokhzad, Gholamreza Roshan, Mahnaz Aghdasi, Evaluation of effects of a green wall as a sustainable approach on reducing energy use in temperate and humid areas, *Energy & Buildings*. 262 (2022) 112014

Domenico Mazzeo, Nicoletta Matera, Giorgia Peri, Gianluca Scaccianoce, Forecasting green roofs' potential in improving building thermal performance and mitigating urban heat island in the Mediterranean area: An artificial intelligence-based approach, *Applied Thermal Engineering*. 222 (2023) 119879

Tiago Liberalessoa, Carlos Oliveira Cruzb, Cristina Matos Silvab, Maria Manso, Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. *Land Use Policy*. 96 (2020) 104693

E. Jamei, H.W. Chau, M. Seyedmahmoudian, Saad Mekhilef, Fatma S. Hafez, Green roof and energy – role of climate and design elements in hot and temperate climates. *Heliyon*. 9 (2023) e15917

Maria Manso, Inês Teotónio, Cristina Matos Silva, Carlos Oliveira Cruz, Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 135 (2021) 110111

Margareth Viecco, Héctor Jorquera, Ashish Sharma, Waldo Bustamante, Harindra J. S. Fernando, Sergio Vera, Green roofs and green walls layouts for improved urban air quality by mitigating particulate matter. *Building and Environment*. 204 (2021) 108120

Giouli Mihalakakou, Manolis Souliotis, Maria Papadaki, Penelope Menounou, Panayotis Dimopoulos, Dionysia Kolokotsa, John A. Paravantis, Aris Tsangrassoulis, Giorgos Panaras, Evangelos Giannakopoulos, Spiros Papaefthimiou, Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 180 (2023) 113306

Olivia Addo-Bankas, Yaqian Zhao, Jan Vymazal, Yujie Yuan, Jingmiao Fu, Ting Wei, Green walls: A form of constructed wetland in green buildings. *Ecological Engineering*. 169 (2021) 106321

Marcel Cardinali, Alvaro Balderrama, Daniel Arztmann, Uta Pottgiesser, Green walls and health: An umbrella review. *Nature-Based Solutions*. 3 (2023) 100070

Tess Ysebaert, Kyra Koch, Roeland Samson, Siegfried Denys, Green walls for mitigating urban particulate matter pollution—A review. *Urban Forestry & Urban Greening*. 59 (2021) 127014

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra, Iskandar Muda, Celene B. Milanes, Narukullapati Bharath Kumar, Ali S. Abosinnee, Ravil Akhmadeev, How do green roofs affect per capita energy consumption in residential buildings under various climate conditions? *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 56 (2023) 103127

Mohamed-Amine Kenai a, Laurent Libessart, Stéphane Lassue, Didier Defer, Impact of green walls occultation on energy balance: Development of a TRNSYS model on a brick masonry house. *Journal of Building Engineering*. 44 (2021) 102634

Nadia Balvedi, Thalita Giglio, Influence of green roof systems on the energy performance of buildings and their surroundings. *Journal of Building Engineering*. 70 (2023) 106430

Salem Algarni, Khalid Almutairi, Talal Alqahtani, Investigating the performance of energy management in office buildings by using a suitable green roof design to reduce the building's energy consumption. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 54 (2022) 102825

Abdollah Baghaei Daemei, Elham Shafiee, Amir Arash Chitgar, Somayeh Asadi, Investigating the thermal performance of green wall: Experimental analysis, deep learning model, and simulation studies in a humid climate. *Building and Environment*. 205 (2021) 108201

Danka Kostadinovi', Marina Jovanovi', Vukman Baki', Nenad Stepani', Mitigation of urban particulate pollution using lightweight green roof system. *Energy & Buildings*. 293 (2023) 113203

Fida Hussain Lakho, Asif Qureshi, Laura De Donno Novelli, Veerle Depuydt, Teun Depreeuw,

Stijn W.H. Van Hulle, Diederik P.L. Rousseau, Performance of a green wall (Total Value Wall™) at high greywater loading rates and Life Cycle Impact Assessment. *Science of the Total Environment*. 821 (2022) 153470

Petra Thorpert, Jan-Eric Englund, Åsa Ode Sang, Shades of green for living walls – experiences of color contrast and its implication for aesthetic and psychological benefits. *Nature-Based Solutions*. 3 (2023) 100067

Majed Abuseif, Elmira Jamei, Hing-Wah Chau, Simulation-based study on the role of green roof settings on energy demand reduction in seven Australian climate zones. *Energy & Buildings*. 286 (2023) 112938

Marek Hekrlé, Tiago Liberalesso, Jan Macháček, Cristina Matos Silva, The economic value of green roofs: A case study using different cost–benefit analysis approaches. *Journal of Cleaner Production*. 413 (2023) 137531

Rahim Zahedi, Sareh Daneshgar, Omid Noudeh Farahani, Alireza Aslani, Thermal analysis model of a building equipped with green roof and its energy optimization. *Nature-Based Solutions*. 3 (2023) 100053

Omer Hulusi Dede, Nihan Mercan, Hasan Ozer, Gulgun Dede, Oksana Pekarchuk, Bulent Mercan, Thermal insulation characteristics of green wall systems using different growing media. *Energy & Buildings*. 240 (2021) 110872

Kyra Koch, Tess Ysebaert, Siegfried Denys, Roeland Samson, Urban heat stress mitigation potential of green walls: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*. 55 (2020) 126843