



Con il contributo della
Regione Siciliana
Assessorato dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana
Dipartimento dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana

IL VERDE PENSILE IN AMBITO MEDITERRANEO: DALLA PROGETTAZIONE ALLA GESTIONE

A cura di

Annibale SICURELLA; Salvatore BARBAGALLO; Giuseppe Luigi CIRELLI;
Feliciano LICCIARDELLO; Liviana SCIUTO

Con il contributo di Stefano CASCONI e Daniela ROMANO



QUADERNI CSEI Catania III serie vol. 36

**IL VERDE PENSILE IN AMBITO
MEDITERRANEO: DALLA
PROGETTAZIONE ALLA GESTIONE**

A cura di

Annibale SICURELLA; Salvatore BARBAGALLO; Giuseppe Luigi CIRELLI; Feliciano LICCIARDELLO;

Liviana SCIUTO

Con il contributo di Stefano CASCONI e Daniela ROMANO

Catania, Dicembre 2024

95123 Catania, Via S. Sofia 100
c/o Dipartimento di Agricoltura
Alimentazione e Ambiente (Di3A)
Università degli studi di Catania

QUADERNI CSEI Catania III serie vol.36

"IL VERDE PENSILE IN AMBITO MEDITERRANEO: DALLA PROGETTAZIONE

ALLA GESTIONE"

ISSN 2038-5854

CD-ROM: ISSN 2239-0596

Realizzazione editoriale CSEI Catania www.cseicatania.com

Il presente manuale è stato redatto dal CSEI Catania nell'ambito di un'attività di ricerca finanziata dalla Regione Siciliana - Assessorato dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana - Dipartimento dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana

Il presente lavoro è stata redatto con uguale contributo di tutti gli Autori:

Annibale SICURELLA; Salvatore BARBAGALLO; Giuseppe Luigi CIRELLI; Feliciano LICCIARDELLO;
Liviana SCIUTO

Con il contributo di Stefano CASCONI (capitolo 10) e Daniela ROMANO (capitolo 8). Inoltre, alla stesura del capitolo 4 e del capitolo 9 hanno collaborato Vincenzo SCAVERA e Salvatore BARRESI



Attività di ricerca finanziata dalla
Regione Siciliana

Assessorato dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana
Dipartimento dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana



Il tetto verde, rappresentato in copertina, è stato realizzato presso il Di3A-Dipartimento di Agricoltura Alimentazione e Ambiente dell'Università di Catania nell'ambito del progetto \GIFLUID - Green Infrastructures to mitigate flood risks in Urban and sub-urban areas and to improve the quality of rainwater discharges" (programma INTERREG V A Italia-Malta 2014-2020).

Il verde pensile in ambito mediterraneo: dalla progettazione alla gestione / Annibale Sicurella... [et al.]; con il contributo di Stefano Cascone, Daniela Romano - Catania: CSEI 2023.

(Quaderni CSEI Catania. 3. serie; 36)

1. Giardini pensili – Progettazione.

I. Sicurella, Annibale <1963->.

II. Cascone, Stefano.

III. Romano, Daniela

712.6 CDD-23 SBNPal0370045

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

INDICE

INTRODUZIONE	8
1. Funzioni del verde pensile	11
1.4. Cenni sull'ambiente.....	15
2. VERDE PENSILE	18
2.1. Tipo estensivo.....	19
2.2. Tipo intensivo.....	20
3. STRATIFICAZIONE DEL VERDE PENSILE	23
3.1. La guaina antiradice.....	29
3.2. Il sistema drenante.....	32
3.3. Lo strato filtrante.....	37
3.4. Il terriccio alleggerito.....	40
3.4.1. La pomice.....	43
3.4.2. Il lapillo vulcanico.....	44
3.4.3. Il laterizio riciclato	47
3.4.4. L'argilla espansa.....	48
4. REALIZZAZIONE DEL VERDE PENSILE ESTENSIVO E INTENSIVO	51
4.1. Il sopralluogo	52
4.2. Definizione dei cordoli di contenimento	59
4.3. Posa in opera della guaina antiradice.....	63

4.4. Posa in opera del sistema drenante	65
4.5. Posa in opera del telo di separazione e del terriccio alleggerito	68
4.6. Sistemi di irrigazione.....	70
5. PROGETTAZIONE PAESAGGISTICA.....	76
5.1. Il progetto tipo	78
5.1.1. Descrizione	79
5.1.2. Quantificazione e scelta del materiale e dimensionamento delle piante 87	
5.1.3. Specie vegetali che possono essere inserite in un giardino pensile intensivo	92
5.1.3.1. Cespugli a grande portamento.....	93
6. MANUTENZIONE DEL VERDE PENSILE	164
6.1. Manutenzione ordinaria	165
6.1.1. Manutenzione degli alberi e dei cespugli	165
6.1.2. Manutenzione dei cespugli a medio portamento.....	167
6.1.3. Manutenzione delle piante tappezzanti	167
6.1.4. Manutenzione dei prati.....	168
6.2. Manutenzione straordinaria.....	172
7. ILLUMINAZIONE PAESAGGISTICA.....	174
7.1. Punto luce	175
7.2. Corpi illuminati e lampade	176

7.3. Puntamento	179
8. LA SCELTA DELLA SPECIE PER IL VERDE PENSILE IN AMBIENTE MEDITERRANEO	180
8.1. La scelta della specie	182
8.2. Le condizioni ambientali del verde pensile in ambiente mediterraneo ..	185
8.3. Obiettivi per la scelta della specie	188
8.3.1. Sopravvivenza e riduzione dei costi di manutenzione	189
8.3.2. Caratteri estetici del verde pensile.....	192
8.3.3. Servizi ecosistemici.....	194
8.4. Criteri di scelta.....	201
8.4.1. L'idiotipo di specie	212
8.4.2. Scegliere la specie o l'associazione vegetale?	221
8.5. Le specie per l'ambiente mediterraneo	228
8.6. Conclusioni.....	236
9. L'INVARIANZA IDRAULICA-IDROLOGICA.....	238
9.1. Il concetto di invarianza idraulica-idrologica	238
9.2. Principali direttive per la gestione delle acque di precipitazione.....	240
9.3. Processi e metodologie per l'applicazione dell'invarianza idraulica-idrologica	255
10. VERDE PENSILE ED EFFICIENZA ENERGETICA.....	266

10.1. Il verde pensile nell'architettura sostenibile	266
10.2. Isolamento ed efficienza energetica.....	270
10.3. Contributo del verde pensile al microclima urbano.....	275
10.4. Sinergie del verde pensile con le energie rinnovabili.....	277
10.5. Sostenibilità e analisi del ciclo di vita	279
10.6. Esempi di verde pensile nel mondo	282
10.7. Conclusioni e prospettive future.....	285
BIBLIOGRAFIA.....	288

INTRODUZIONE

Il giardino o verde pensile, o ancora tetto verde, è uno spazio verde che non ha un diretto contatto con il suolo naturale.

Le specie vegetali inserite sono piantumate all'interno di una tecnologia interamente ricostruita dall'uomo.

Giardini pensili e verde verticale costituiscono uno straordinario sistema di naturalizzazione degli involucri architettonici.

Nel presente volume, verranno descritte le tecnologie più idonee per la realizzazione di un giardino pensile, ponendo anche l'accento su come oggi il verde pensile viene interpretato e quali sono le sue funzioni dal punto di vista bioarchitettonico, urbano, ambientale e paesaggistico, nonché idraulico e di efficientamento energetico.

Per quanto riguarda l'aspetto paesaggistico, queste tecnologie permettono ai progettisti di approcciare nuovi spazi da destinare alle piante, che vengono generalmente già previsti all'interno del progetto architettonico complessivo.

Il rapporto tra le architetture degli edifici e le masse vegetali è, all'interno dell'ambiente urbano, estremamente sbilanciato, in quanto le aree verdi generalmente non compensano i volumi edificati.

L'unico modo per restituire, almeno in parte, il terreno sottratto dall'edificato è quindi quello di aumentare la diffusione di queste tecnologie.

Oggi il mercato mette a disposizione materiali che rendono il giardino pensile più accessibile sotto il profilo economico, dando la possibilità di installare del verde anche su terrazze e solai non pensati progettualmente allo scopo.

Esiste, inoltre, una serie di atti legislativi che si propone di favorire queste forme di agricoltura e gestione del verde nei contesti urbani, anche se occorrerebbe fare di più per promuovere sistemi sostenibili atti a migliorare il benessere all'interno delle città, e non solo (come vedremo in seguito nel capitolo relativo alle funzioni del verde pensile).

Il verde pensile diventa anche essenziale nella progettazione del *Green Belt* (cintura verde), per consentire alla fascia di verde naturale esistente intorno al centro urbano di infiltrarsi al suo interno componendo dei veri e propri corridoi ecologici che consentono alla fauna urbanizzata di attraversare le nostre città, aumentando, così, la quota di naturalità delle stesse.

I giardini pensili sono la base tecnologica per la diffusione degli orti pensili urbani, così da favorire coltivazioni individuali a chilometro zero, meno impattanti e più sostenibili.

Inoltre, l'azione mitigante del verde nelle strutture architettoniche riduce le isole di calore urbano all'interno della città, sempre più rilevanti e persistenti in virtù dei cambiamenti climatici in atto.

1. Funzioni del verde pensile

Il giardino pensile è, di fatto, una operazione di architettura ecologica che apporta alla struttura architettonica ed all'ambiente numerosi vantaggi.

Questi vantaggi sono particolarmente accentuati nei seguenti campi:

- Efficienza energetica;
- Regimazione idrica;
- Inquinamento;
- Ambiente;
- Clima.

1.1. Cenni sul risparmio energetico

Il giardino pensile, come meglio approfondito nel capitolo 10, è un ottimo isolante termico per gli ambienti sottostanti, con un notevole vantaggio economico sul consumo energetico dei sistemi di riscaldamento invernale e condizionamento estivo delle abitazioni.

Le funzioni riconosciute dal punto di vista termodinamico sono:

- miglioramento della resistenza termica del solaio;
- aumento dello sfasamento dell'onda termica;
- raffrescamento passivo;
- mitigazione delle temperature esterne;

- riduzione delle oscillazioni termiche all'estradosso e all'intradosso della struttura.

Si stanno effettuando molti studi sulle procedure di calcolo delle prestazioni energetiche affinché queste possano essere condivisibili a livello nazionale per tutte le tipologie di copertura.

Il giardino pensile contribuisce inoltre all'isolamento acustico della struttura.

1.2. Cenni sulla regimazione idrica

Nel verde pensile la capacità della stratificazione applicata di trattenere le acque si rivela una risorsa per la captazione delle acque meteoriche, rendendo una tradizionale superficie impermeabile, come una terrazza, in una superficie permeabile, in grado di trattenere e cedere molto più lentamente l'acqua di pioggia.

Viene, così, espletata un'azione regimante sull'acqua di scorrimento superficiale meteorica, oggi sempre più indispensabile in virtù degli andamenti climatici.

La riduzione complessiva delle aree impermeabili all'interno dei centri urbani è la sfida che il futuro ci riserva, insieme alla messa in sicurezza, sotto il profilo idrogeologico, del nostro territorio.

Un sistema a verde pensile realizzato a norma costituisce un elemento migliorativo, in quanto esso è capace di ridurre il picco

di deflusso dalle coperture, alleggerendo la rete idrica urbana adibita allo smaltimento delle acque bianche.

Durante la stagione estiva, in clima mediterraneo si determina un deficit nel bilancio idrico poiché le precipitazioni non sono sufficienti per compensare l'evapotraspirazione del complesso pianta-terreno.

L'evapotraspirazione è, di fatto, una perdita d'acqua del substrato che può essere mitigata con una opportuna copertura vegetale; la traspirazione è l'acqua naturalmente traspirata dalla pianta e questa varia in base alla vegetazione scelta.

Occorre tenere presente che alcune piante traspirano meno di altre. Le ultime tendenze nell'architettura del paesaggio prevedono una sempre più accurata selezione di specie vegetali sempre più resistenti alla siccità ed all'aumento della salinità dell'acqua irrigua.

Le specie vegetali a bassa traspirazione sono alcune piante mediterranee, quelle con ridotta superficie fogliare, le dicotiledoni erbacee e le piante grasse e succulente.

Le piante con traspirazione elevata sono generalmente quelle con lamina fogliare espansa, alcune graminacee e molte erbacee perenni e stagionali.

Nella pratica comune relativa alla progettazione del giardino pensile occorre prevedere sempre un impianto di irrigazione, indispensabile per la sopravvivenza delle piante installate.

L'apporto di acqua nel substrato comporta un sensibile aumento di peso di quest'ultimo, per cui si rivela molto importante un attento calcolo dell'accumulo idrico previsto nelle varie tipologie di stratificazioni applicabili, rapportando questi dati alla capacità strutturale del solaio.

1.3. Cenni sull'inquinamento

La presenza delle piante all'interno delle città riduce l'inquinamento urbano in virtù della loro capacità di abbattere alcune sostanze inquinanti e le polveri sospese.

Inquinanti, come gli ossidi di azoto, e le polveri sottili vengono intercettati, per cui l'aumento di superfici a verde, attraverso la realizzazione di tetti verdi, può apportare notevoli vantaggi.

Risultano favoriti per questo scopo alberi e arbusti inseriti nei giardini pensili intensivi, in virtù della loro più elevata superficie fogliare.

Nei giardini pensili estensivi, ai sedum, ampiamente utilizzati in nord Italia e in Europa, sono da preferire specie erbacee perenni e specie arbustive prostrate, poiché esse possiedono una maggiore superficie fogliare complessiva.

In merito all'assorbimento della CO₂, esiste un bilancio positivo fra carbonio sottratto e carbonio prodotto sia nelle coperture estensive, che in quelle intensive.

I tetti verdi, inoltre, filtrano l'acqua piovana inquinata dai centri urbani ed industriali.

L'azione di filtraggio dell'acqua piovana effettuato dalla stratificazione, specie se resa attiva con l'inserimento di Biochar, materiale carbonioso ottenuto per degradazione termica, può rivelarsi molto utile nell'auspicabile riuso della stessa (una volta convogliata in apposite cisterne).

1.4. Cenni sull'ambiente

Il giardino pensile, come accennato in precedenza, favorisce l'inurbamento delle specie selvatiche, in particolar modo uccelli ed insetti, riducendo l'impatto ambientale delle strutture architettoniche e creando delle zone di naturalità, vere e proprie oasi all'interno dell'edificato.

Apprezzabile è anche la fono assorbenza delle superfici inverdite, per la loro capacità di ridurre la trasmissione dei rumori, migliorando la qualità della vita.

Anche l'intensità luminosa riflessa dalle opere murarie viene ridotta, aumentando il confort di chi fruisce lo spazio nelle ore più assolate.

Non ultimo, viene favorito il sostanziale aumento della quota di verde complessivo dell'ambiente urbano, a tutto vantaggio di chi fruisce direttamente del giardino pensile e della città in cui esso è inserito.

1.5. Cenni sul clima

L'apporto del verde pensile sulle temperature massime può essere vantaggioso. La temperatura dell'aria percepita può ridursi di qualche grado, rispetto ad un'analogia area rivestita con le pavimentazioni tradizionali, rendendo più vivibile lo spazio esterno.

La diffusione del giardino pensile potrebbe contribuire, nel suo complesso, alla riduzione delle "isole di calore urbane", come brevemente accennato in precedenza, contribuendo ad abbassare le temperature nei mesi più caldi.

L'EPA (Environmental Protection Agency), l'ente statunitense per la protezione dell'ambiente, ha da tempo lanciato una campagna per la riduzione dell'*Heat Island Effect* (fenomeno dell'innalzamento della temperatura delle aree urbane rispetto alle aree rurali); questo anche per scongiurare picchi di assorbimento elettrico e rischi black out, con sostanziale aumento della CO₂ nell'ambiente, provocato dai dispositivi di condizionamento.

Il giardino pensile non è, quindi, solamente un'operazione di architettura dettata dalle esigenze della committenza o dalle scelte

progettuali, ma possiede molte qualità ed una flessibilità che lo porta ad intercettare molte espressioni dell'attuale modo di intendere il giardino ornamentale (che include giardini pensili commestibili, dei giardini pensili ecosistemici, orti pensili, giardini terapeutici e giardini didattici, con funzione educativa e culturale).

2. Verde pensile

Estensivo o intensivo sono i due termini che definiscono il verde pensile. E questo dipende dalle piante che possono essere inserite e, soprattutto, dalla manutenzione che richiedono le aree a verde realizzate.

Si definisce estensivo quando si realizza un basso spessore della stratificazione con un carico minore sulla struttura, utilizzando prevalentemente piante tappezzanti o cespugli perenni di piccolo portamento e dallo sviluppo contenuto e prostrato.

Si definisce intensivo quando si realizza un intervento con alti spessori della stratificazione, maggior peso caricato sulla struttura e con vegetazione che può comprendere l'utilizzo di specie vegetali arboree e arbustive.

In merito alla manutenzione, il verde pensile estensivo è una realizzazione a bassa manutenzione (due, al massimo tre interventi manutentivi l'anno devono essere sufficienti a garantire il buono stato del verde pensile); al contrario, il giardino pensile intensivo è, di fatto, un vero e proprio giardino ornamentale posto in quota, per cui esige dei programmi di manutenzione più costanti, in base alle scelte paesaggistiche effettuate.

2.1. Tipo estensivo

Un verde pensile estensivo possiede, come già accennato, una stratificazione più ridotta (Figura 2.1), in quanto le specie vegetali inserite richiedono uno spessore di terriccio compreso tra 8 e 15 cm (franco di coltivazione) per il normale sviluppo della pianta.

Queste installazioni sono pensate per assolvere alle funzioni bioarchitettiche tipiche del verde pensile.

È un sistema naturale di copertura del tetto che migliora notevolmente la resa energetica dell'edificio mitigandone al contempo l'impatto ambientale.

Non è un tipo di verde che viene realizzato per essere fruito, l'accesso in genere è riservato solamente ai giardinieri che si occupano della manutenzione.

La diffusione di questa tecnologia è ancora limitata, soprattutto in meridione; in queste zone, infatti, si preferisce investire sul verde pensile intensivo che possa rappresentare un'alternativa al giardino in città.

Oggi, fortunatamente, si sta sviluppando una nuova coscienza ed esiste una maggiore attenzione verso le problematiche relative all'ambiente e al risparmio energetico; questo spinge molti progettisti a valutare con maggiore cura le potenzialità che questo tipo di realizzazioni possiedono.

Anche sotto il profilo idrico, la riduzione dell'acqua di scorrimento superficiale durante le piogge effettuata da questa tecnologia è senz'altro un ulteriore vantaggio del verde pensile estensivo.

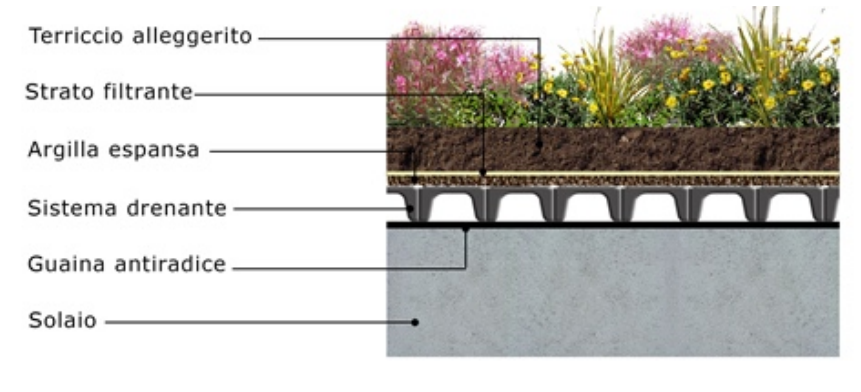


Figura 2.1 – Esempio tipo di stratificazione di un giardino pensile estensivo

2.2. Tipo intensivo

È più idoneo definire il verde pensile “intensivo” con il semplice termine di “giardino pensile”, in quanto consiste nella realizzazione di un vero e proprio giardino posto non a diretto contatto con il suolo.

La composizione paesaggistica di un giardino pensile dipende dalla progettazione, dalle caratteristiche climatiche e ambientali del luogo in cui esso è ubicato, e varia con i gusti e la sensibilità del progettista e della committenza.

Ovviamente, la libertà nell'interpretare il giardino è vincolata a tutta una serie di considerazioni tecniche che la realizzazione di

questo tipo di verde comporta.

Il carico massimo del solaio su cui si opera e l'esatta disposizione di travi e pilastri su cui esso poggia sono strumenti essenziali per la corretta distribuzione dei pesi (che sono maggiori rispetto al verde pensile estensivo).

Questo aspetto riduce il ventaglio di scelte che il progettista ha, soprattutto in merito alla scelta di specie vegetali arbustive, arboree e palme.

Il giardino pensile è da sempre ritenuto uno status e un'esternazione di lusso. Realizzare un giardino al posto di una semplice terrazza è il più delle volte considerato come un atto esibizionistico e questo spesso svia l'attenzione su quelli che sono i vantaggi per il risparmio energetico e l'ambiente descritti in precedenza.

La maggiore stratificazione dell'intensivo consente alla tecnologia di intercettare più acqua meteorica, anche in virtù del maggior spessore del sistema drenante e del terriccio alleggerito (Figura 2.2).

Consente, inoltre, la costruzione di un ambiente con una maggiore biodiversità, dovuta principalmente alla possibilità di inserimento di un più vasto ventaglio di specie vegetali.

Anche la sua azione attrattiva nei confronti dei selvatici urbanizzati è maggiore, soprattutto se il progetto paesaggistico è

mirato alla realizzazione di un'area a verde ecosistemica (progettato in maniera specifica per consentire la sosta e la permanenza di uccelli, farfalle e insetti impollinatori).

Concettualmente, il giardino pensile intensivo viene realizzato in un contesto completamente diverso rispetto a quello del verde pensile estensivo; il primo costituisce, di fatto, l'area a verde dell'abitazione, mentre il secondo è una copertura a verde del solaio.

Non a caso, il giardino pensile intensivo si sviluppa prevalentemente nelle terrazze poste allo stesso livello dell'abitazione, così da poter essere fruito come un tradizionale giardino ornamentale.

Al suo interno si possono esprimere, carico del solaio permettendo, tutte le strutture architettoniche tipiche dell'arredo da esterno (es. pergole, gazebi, percorsi, zona cucina e, persino, con le opportune verifiche strutturali, laghetti, giochi d'acqua e piscine).

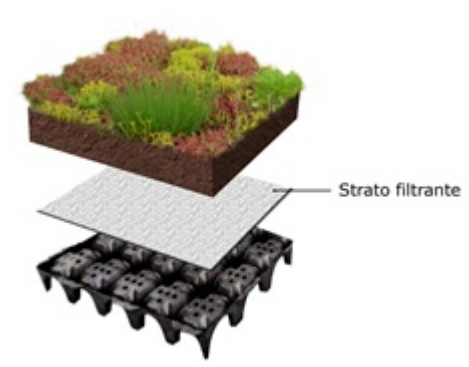


Figura 2.2 - Esempio tipo di stratificazione di un giardino pensile intensivo

3. Stratificazione del verde pensile

Lo spessore della stratificazione nel verde pensile estensivo varia dagli 8 ai 15 cm, il peso è compreso tra 90 kg/m² a 220 kg/m² (a saturazione idrica completa) e le piante generalmente utilizzate sono i sedum, le tappezzanti e le erbacee perenni a piccolo portamento (Figura 3.1).

Sotto il profilo paesaggistico si sta diffondendo, nei giardini pensili estensivi, l'utilizzo del prato naturale da fiore "wildflowers".

Con questo termine si intendono delle miscele di semi di tutte quelle specie, erbacee perenni e annuali da fiore, che restituiscono l'immagine di un vero e proprio prato fiorito di origine naturale.

Questi prati fioriti, rispetto ai tradizionali tappeti erbosi mono varietali, aggiungono una policromia stagionale molto interessante nella realizzazione del verde pensile estensivo.

Le specie vegetali inserite nel miscuglio sono diverse in base al clima della zona dove vengono inserite. Anche il substrato deve possedere particolari caratteristiche, in quanto questi prati si sviluppano spontaneamente in aree residuali ed in suoli degradati.

Il prato da fiore ha una elevata capacità di auto propagazione (fino al 95%) e una buona resistenza agli sbalzi termici ed idrici; ha, inoltre, necessità nutritive minime ed una buona velocità di sviluppo.

L'inverdimento estensivo è particolarmente utilizzato su coperture piane, potendo anche essere inserito su tetti inclinati con limitate possibilità di carico (Figura 3.2).

I suoi campi ideali di applicazione sono i solai delle strutture pubbliche e dei capannoni commerciali o industriali, in sostituzione delle pavimentazioni tradizionali o delle superfici realizzate in ghiaia.

La realizzazione del verde pensile estensivo è semplice, la superficie (piana o inclinata) viene sottoposta ad un sopralluogo per acquisire i dati relativi al sovraccarico per m² del solaio, determinare lo stato di fatto, acquisire il materiale planimetrico con relative misure, verificare le pendenze del solaio e l'esatta ubicazione dei pluviali e controllare con accuratezza l'accessibilità del materiale di cantiere in quota.

L'area destinata al verde in mancanza di muretti perimetrali deve essere circoscritta da un cordolo di contenimento della tecnologia di altezza minima pari a 15 cm.

Deve essere successivamente verificato il corretto smaltimento dell'acqua piovana, per cui la pendenza e l'adeguata presenza e dimensionamento dei pluviali.

Il tetto verde deve poter smaltire l'acqua gravitazionale in eccesso velocemente, allo scopo di evitare un aumento di peso sul solaio e la corretta sopravvivenza delle piante.

La guaina strutturale, generalmente già presente all'interno del solaio, deve essere in buone condizioni. Se, prima di iniziare il lavoro, vi sono perdite visibili nell'appartamento sottostante, la guaina deve essere tempestivamente riparata o sostituita.

Tutti i giardini pensili lavorano su una propria guaina antiradice (come vedremo meglio in seguito), ma questo non significa che non debba essere riparata la guaina strutturale, se danneggiata.

L'acqua, infatti, si muove spesso in maniera inaspettata all'interno delle opere murarie, per cui conviene sempre operare in un tetto perfetto sotto ogni profilo.

Questo tipo di stratificazione non prevede in nord Europa impianto di irrigazione, ma, come precedentemente accennato, l'impianto irriguo è indispensabile nelle nostre aree climatiche.

L'impianto vegetale prevalente nei giardini pensili estensivi prevede l'inserimento di talee, piantine o stuoie precoltivate.

Le stuoie precoltivate sono generalmente composte da sedum coltivati all'interno di un supporto geotessile e l'assenza di impianto di irrigazione rende molto semplice l'installazione.

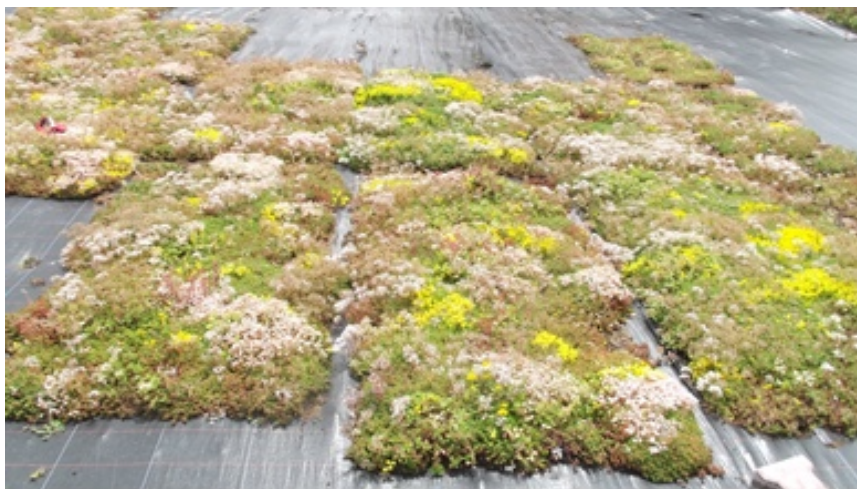


Figura 3.1 - Sedum precoltivato

Il sedum è anche indicato per coperture con pendenza fino a 50°; in questi casi si procede posando direttamente la stuoia su un esiguo substrato di coltivazione, adeguatamente trattenuto da strutture alveolari che evitano lo scivolamento dello stesso.

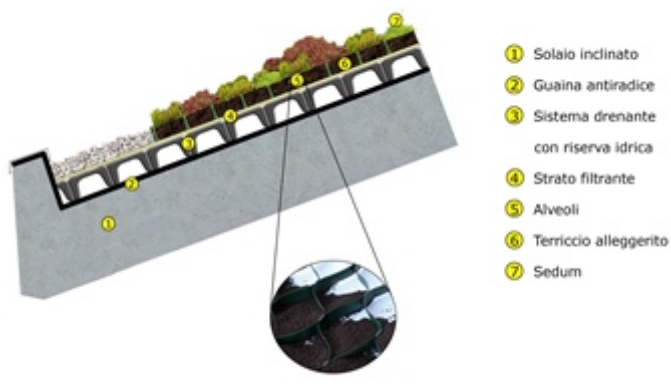


Figura 3.2 – Esempio tipo di stratificazione di un tetto verde su superficie inclinata

Bisogna prevedere alcune irrigazioni iniziali atte a garantire l'attecchimento della stuoia o delle piantine, considerando circa 30 l/m² fino alla completa radicazione, dopo di che, se il clima del luogo lo consente, il pensile non necessita di altre irrigazioni.

Nelle nostre aree climatiche difficilmente troveremo tetti inclinati da realizzare, soprattutto con sistemi che non prevedono l'impianto di irrigazione.

È impossibile, infatti, prevedere, in clima mediterraneo, un giardino pensile di qualunque tipo senza un adeguato impianto irriguo.

Le nostre architetture ci mettono a disposizione prevalentemente tetti piani su cui operare, per cui verrà approfondita la realizzazione dei giardini pensili su tetto piano, dotati di impianto irriguo.

Lo spessore della stratificazione del giardino pensile intensivo varia dai 25 ai 40 cm e il peso a saturazione idrica completa può arrivare a 700-800 kg/m², in base alle tecnologie utilizzate.

La realizzazione di questi giardini deve essere affrontata in maniera integrale, considerando i pesi, l'aspetto tecnologico e quello paesaggistico.

In queste realizzazioni torna utile l'acquisizione della disposizione delle travi e dei pilastri sottostanti, così da poter collocare i carichi maggiori degli alberi e delle palme in corrispondenza di questi,

abbassando, con dei leggeri movimenti del profilo del terreno, la stratificazione nelle zone centrali dove generalmente è posto il prato e le piante tappezzanti.

Arbusti e specie arboree o palmizi, infatti, esigono spessori di terriccio maggiori per il loro inserimento, che si sommano al peso proprio della pianta, per cui questo sistema permette di caricare maggiormente nei punti di forza del solaio, alleggerendo le zone centrali.

Questo modo di operare non solo comporta un miglioramento dell'aspetto paesaggistico, dovuto ai leggeri cambi di livello, ma si rivela anche un ottimo sistema per risparmiare sulla quantità di terriccio da utilizzare.

Il percorso che conduce alla realizzazione di un giardino pensile intensivo prevede le seguenti fasi:

- sopralluogo ed acquisizione del materiale tecnico;
- controllo delle aree di accesso in quota con l'ausilio di elevatori meccanici o gru;
- progettazione paesaggistica e tecnologica;
- progettazione dell'impianto di irrigazione;
- definizione dell'impianto di illuminazione;
- quantificazione del materiale necessario per la realizzazione;

- scelta, quantificazione e dimensionamento delle piante da inserire;
- realizzazione in cantiere dell'opera.

3.1. La guaina antiradice

Uno degli elementi più importanti del verde pensile estensivo e intensivo è la guaina antiradice.

Gli organi ipogei delle piante (radici) possono rappresentare un serio pericolo in quanto essi sono in grado di provocare danni alle tradizionali guaine bituminose impermeabilizzanti, aprendo la strada ad infiltrazioni d'acqua e relativo indebolimento del solaio.

Da qui la corretta prassi di apporre un ulteriore strato di guaina antiradice.

Se si interviene in fase costruttiva dell'edificio, la guaina antiradice non viene generalmente mai posta a diretto contatto con la guaina strutturale, ma è buona norma separare le due guaine con un sottile massetto con le opportune pendenze. Quanto detto, allo scopo di evitare pericolose incompatibilità chimiche che possono svilupparsi tra le guaine.

L'effetto antiradice di queste guaine è dovuto alla presenza di speciali additivi che impediscono alla parte apicale delle radici di penetrare.

Possono essere composte da bitume incrementato con additivi chimici, maglie di fili di rame o polimeri lunghi (guaine in caucciù o sintetiche in PVC).

Sono disponibili in commercio anche guaine antiradice molto sottili che vengono saldate a freddo (Figura 3.3) con adesivi nei punti di giuntura e collegate ai cordoli mediante profili appositamente studiati (Figura 3.4).

Esistono anche guaine costituite da membrane impermeabilizzanti autoadesive che si posano a freddo, evitando di impiegare la fiamma.

Sono costituite da un foglio di polietilene laminato ad alta densità, la cui faccia inferiore è cosparsa con una mescola di bitume distillato polimero ad altissima adesività (incolla anche a temperatura ambiente), che a sua volta è additivato con uno specifico agente antiradice (Preventol, clorotolilossipropionato di poliglicole ecc.) (Figura 3.5).

Nella pratica comune, vengono generalmente installate delle doppie guaine bituminose armate da 4 mm che si posano seguendo lo stesso verso, evitando la sovrapposizione dei margini di saldatura.

Lo strato superiore, a contatto con il sistema drenante, possiede uno o più elementi con caratteristiche antiradice.

Il mercato offre diversi tipi di guaine e quasi tutte con caratteristiche idonee allo scopo per cui sono state studiate.

Visionare attentamente la scheda tecnica e fare installare la guaina da personale qualificato è la strada più semplice per evitare errori e poter usufruire della garanzia rilasciata dalla ditta produttrice.

È anche opportuno fotografare tutte le fasi di posa della tecnologia, così da poter disporre di un'accurata documentazione fotografica degli interventi effettuati durante la realizzazione.



Figura 3.3 - Guaina antiradice saldata a freddo



Figura 3.4 - Profili di connessione al cordolo



Figura 3.5 - Collante per guaine

3.2. Il sistema drenante

I sistemi drenanti modulari e lo sviluppo tecnologico hanno subito una notevole trasformazione nel corso del tempo e, in questo campo, la ricerca hanno fatto passi da gigante.

I primi sistemi erano più ingombranti e difficili da trasportare ed installare. Si trattava prevalentemente di drenaggi realizzati utilizzando materiale inerte sfuso (pomici di media granulometria, ardesia o argilla espansa).

Lo strato drenante occupava spessori di almeno 10 cm nel verde pensile estensivo che potevano raggiungere anche i 20 cm nel giardino pensile intensivo (sottraendo spazio al terriccio alleggerito e, quindi, al franco di coltivazione delle piante).

Questi sistemi, inoltre, erano poco utilizzabili nei tetti anche leggermente inclinati, se non supportati da elementi alveolari che evitavano lo scorrimento verso il basso dei materiali.

Oggi il mercato mette a disposizione dei progettisti, elementi realizzati in materiale plastico, soprattutto polietilene o polipropilene rigenerato atossico (PP) (Figura 3.6).

Esistono, inoltre, aziende specializzate nella progettazione, fornitura e posa in opera di pacchetti tecnologici estremamente diversi tra loro, frutto di ricerche e sperimentazioni sviluppate nel corso del tempo.

La presenza sul mercato è così vasta e variegata che risulta difficile scegliere a quale sistema affidarsi, considerando che ogni azienda pubblicizza il proprio prodotto come il più efficiente.

Rimane, comunque, di fondamentale importanza capire l'esatta funzione del sistema drenante, per poter effettuare una scelta che sia adatta alle svariate esigenze.

Il sistema drenante, di fatto, ha il compito di veicolare il più velocemente possibile l'acqua gravitazionale non trattenuta dal terriccio verso il pluviale, allo scopo di alleggerire in breve tempo il carico sul solaio ed evitare eccessi idrici con conseguenti danni alle specie vegetali inserite.

Molti sistemi drenanti, inoltre, possiedono anche la funzione di raccolta dell'acqua in eccesso allo scopo di fornire una riserva che verrà utilizzata dalle piante in caso di emergenza.

Esistono, infine, sistemi drenanti che si comportano anche da falda, consentendo l'irrigazione delle piante attraverso uno strato costante di acqua (che viene mantenuto tale con appositi sistemi di adduzione).

In questo caso, la pianta si approvvigiona utilizzando l'acqua che per capillarità raggiunge le radici, procedendo dal basso verso l'alto.

Ovviamente, ogni sistema drenante ha i suoi pro e i suoi contro.

Nello specifico, le tecnologie che prevedono l'utilizzo di sistemi drenanti con riserva idrica sono più pesanti (quanta più acqua possono incamerare) e, in ogni caso, questa riserva non si dimostra sufficiente alle nostre latitudini dove, come già detto, vanno sempre previsti impianti di irrigazione automatizzati che possano garantire un costante apporto di acqua.

L'acqua trattenuta in falda ha un suo peso, che va aggiunto nel calcolo complessivo dei pesi del sistema.

Il vantaggio dei sistemi a falda, per contro, si manifesta nel minor dilavamento degli elementi nutritivi presenti nel substrato generalmente prodotto dai tradizionali impianti di irrigazione localizzata.

Sicuramente il sistema più semplice ed economico per realizzare lo strato drenante è quello di utilizzare moduli opportunamente sagomati, che hanno generalmente le dimensioni di 50x50 cm e uno spessore che varia dai 2,5 cm, nei verdi pensili estensivi (Tabella 3.1), ai 6 cm, per quelli utilizzati nei giardini pensili intensivi (Tabella 3.2).

Tabella 3.1 Moduli drenanti per verdi pensili estensivi

CARATTERISTICHE TECNICHE DIMENSIONI CM 50X50 H2,5	
PESO	2,39 kg/m ²
SUPERFICIE DRENANTE	cm 2/m ² 547
VOLUME DI DEFLUSSO	17,21/m ²
RSISTENZA A COMPRESSIONE	3,2 t/m ²
RISERVA IDRICA (A RASO)	61/m ²
MATERIALE	PP 100% rigenerato chimicamente inerte
COLORE	Nero
CERTIFICAZIONE PRODUZIONE	ISO 9001
TIPO DI AGGANCIO	A sovrapposizione

Tabella 3.2 Moduli drenanti per giardini pensili intensivi

CARATTERISTICHE TECNICHE DIMENSIONI CM 50X50 H6	
PESO	4 kg/m ²
SUPERFICIE DRENANTE	318 cm ² /m ²
VOLUME DI DEFLUSSO	40 l/m ²
RSISTENZA A COMPRESSIONE	t/m ² 6
RISERVA IDRICA (A RASO)	12 l/m ²
MATERIALE	PP 100% rigenerato chimicamente inerte
COLORE	Nero
CERTIFICAZIONE PRODUZIONE	ISO 9001
TIPO DI AGGANCIO	A sovrapposizione

Questi pannelli hanno il vantaggio della leggerezza, della facilità di posa e di una buona resistenza alla compressione.

Possono essere facilmente trasportati e garantiscono un saldo appoggio per le eventuali pavimentazioni (se previste).

Sono, inoltre, impilabili, occupano meno spessore e presentano una buona capacità drenante, nettamente superiore a quelle dei materiali sfusi, oltre ad avere pesi più contenuti.



Figura 3.6 – Sistema drenante modulare

3.3. Lo strato filtrante

La funzione principale dello strato filtrante è quella di impedire la discesa delle particelle fini del substrato nel sistema drenante, limitandone la funzionalità nel tempo. Si utilizzano materiali con opportune caratteristiche di resistenza alla trazione, al taglio e al punzonamento, e devono possedere un'adeguata permeabilità idrica. La permeabilità idrica è uno degli elementi principali; nel corso degli anni questa funzione potrebbe ridursi a causa dell'intasamento dello strato filtrante, per questo motivo il materiale scelto deve essere efficiente, così come il terriccio deve possedere caratteristiche che impediscono il più possibile che questo fenomeno si concretizzi (presenza di argille e complessi humo-argillosi trascinati dall'andamento centripeto dell'acqua di irrigazione possono provocare questo fenomeno). S'instaura in questi casi un rallentato deflusso dell'acqua che va a svantaggio della crescita delle piante, compromettendo, nel tempo, tutto il sistema. Generalmente, si utilizza come strato filtrante il tessuto non tessuto (TNT), termine generico che indica un prodotto industriale molto simile a un tessuto, ma ottenuto con procedimenti diversi. Si tratta di geotessili non tessuto (Figura 3.7) con funzioni filtranti in fibre di poliestere tenute insieme meccanicamente per agugliatura. Si trova facilmente in commercio

e si presta a molteplici utilizzi, ma principalmente viene utilizzato come elemento di separazione e filtrazione.

Geotessile non tessuto

TENAX TSP è un geotessile non tessuto in fibre di poliestere coesionate meccanicamente per aguglia tura.

Applicazioni tipiche:

- strati di separazione
- giardini pensili
- terrazzi carabili
- vialetti in ghiaia
- trincee drenanti

CARATTERISTICHE FISICHE	METODO DI PROVA	UNITA'		NOTE
POLIMERO			PET	-
COLORE			VERDE	-
IMBALLO			FILM DI POLIETILENE	-

CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	METODO DI PROVA	UNITA'			NOTE
PESO UNITARIO	ISO 9864	g/m ²	200		a
SPESSORE	ISO 9863-1	mm	1,00		b
ALTEZZA ROTOLO		m	2,0	2,0	-
LUNGHEZZA ROTOLO		m	50,0	100,0	-
SUPERFICIE COPERTA		m ²	100,0	200,0	-
DIAMETRO ROTOLO		m	-	-	-
VOLUME ROTOLO		m ³	-	-	-
PESO NETTO		kg	20,0	40,0	-

CARATTERISTICHE TECNICHE	METODO DI PROVA	UNITA'			NOTE
RESISTENZA AL FUNZIONAMENTO STATICO	ISO 12236	N	250		-
POROMETRIA	ISO 12956	µm	100,0		-
PERMEABILITA' NORMALE SUL PIANO	ISO 11058	µm/s	0,098		-
RESISTENZA MASSIMA MD	ISO 10319	kN/m	1,0		-
RESISTENZA MASSIMA TD	ISO 10319	kN/m	1,0		-
ALLUNGAMENTO AL PICCO MD	ISO 10319	%	90,0		c
ALLUNGAMENTI AL PICCO TD	ISO 10319	%	90,0		c

NOTE:

- a) Tolleranza ± 10%
- b) Tolleranza ± 20%
- c) MD: direzione longitudinale
TD: direzione trasversale

Figura 3.7 – Caratteristiche del geotessile non tessuto

Si utilizza generalmente la grammatura di 200 gr allo scopo di rendere più veloce il passaggio dell'acqua. L'azione filtrante di questo elemento è senza dubbio un vantaggio, in quanto restituisce al pluviale un'acqua con meno particelle in sospensione. Ma questo è anche un limite. Quando le precipitazioni sono molto abbondanti e concentrate in un breve periodo, il tessuto non tessuto potrebbe filtrare troppo lentamente l'acqua in eccesso, portando alla momentanea saturazione del substrato e all'aumento di peso della tecnologia.

Un'alternativa, in alcuni casi, è rappresentata dall'utilizzo di un telo anti alga microforato. Questo telo è realizzato in 100% polipropilene stabilizzato agli UV ed è estremamente resistente. Il suo utilizzo principale è nei vivai, nelle serre o sulle aiuole per evitare la crescita di vegetazioni indesiderate (pacciamature). Possiede una buona permeabilità all'acqua e si intasa meno rispetto al tessuto non tessuto, ma, per contro, non ha alcuna funzione filtrante, per cui le particelle più fini in sospensione si ritrovano nell'acqua smaltita dal pluviale che si presenta torbida; Questo può diventare un problema nel caso in cui l'acqua in eccesso viene conservata in apposite cisterne per essere poi riutilizzata.

In Figura 3.8 è riportata, come esempio, la stratigrafia utilizzata nel tetto verde realizzato presso il Dipartimento di Agricoltura,

Alimentazione e Ambiente a Catania, nell'ambito del progetto GIFLUID.



Figura 3.8 - Esempio della stratificazione di un giardino pensile –progetto GIFLUID, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente - Catania

3.4. Il terriccio alleggerito

All'interno della stratificazione, il terriccio alleggerito costituisce il “franco di coltivazione” utile per lo sviluppo delle piante.

Nel verde pensile estensivo questo strato ha un'altezza piuttosto contenuta (10/15 cm), dovendo prevalentemente ospitare piante a portamento strisciante o sedum; nel giardino pensile semi-intensivo, o intensivo pesante, lo strato è più spesso (anche 40/50

cm e oltre), ma sempre in linea con i carichi che può sostenere il solaio.

La garanzia di sviluppo delle piante dipende dalla tenuta, nel tempo, del terriccio alleggerito.

Parliamo di terriccio alleggerito perché nel verde pensile e nei giardini pensili non si inserisce terreno vegetale, a meno che non sia stato strutturato un solaio in grado di reggerne il peso.

Un terreno vegetale di medio impasto può pesare fino a 1.700/1.800 kg/m³ mentre un terriccio specifico per giardini pensili non dovrebbe superare i 600-700 kg/m³, e questo fa la differenza nel carico complessivo della tecnologia.

Un buon terriccio alleggerito per giardini pensili deve, inoltre, possedere altre caratteristiche:

- deve poter mantenere la sua struttura nel tempo, nonostante il calpestio e l'azione battente della pioggia;
- deve essere studiato per agevolare la trasmissione dell'acqua per capillarità, specialmente nelle tecnologie che prevedono l'irrigazione per falda;
- al suo interno deve poter mantenere una buona capacità di fissaggio e successivo rilascio delle sostanze nutritive, in

genere integrate periodicamente attraverso sistemi di fertirrigazione;

- deve essere, ovviamente, il più leggero possibile.

Esistono in commercio diversi formulati forniti dalle aziende specializzate nel settore, ma si può anche procedere, se in possesso delle necessarie competenze, alla creazione di formulati specifici in virtù delle specie vegetali inserite in progetto. In questo caso, la presenza e la disponibilità di pomice nel territorio in cui si effettua il lavoro possono aiutare, essendo la pomice uno dei principali componenti utili all'alleggerimento del substrato.

Nelle aree vulcaniche non è difficile reperire il lapillo vulcanico in cave che estraggono la pomice vulcanica e la lavorano, commercializzandola sotto forma di materiale sfuso.

Anche il garden fornito confezionato in sacchi può essere usato come terriccio alleggerito per giardini pensili, ma è senz'altro più costoso in quanto lavorato, confezionato e commercializzato al dettaglio.

Il lapillo vulcanico, quando disponibile, oltre ad essere particolarmente leggero, possiede interessanti caratteristiche utili alla struttura e alla capacità di aggregare colonie batteriche utili per la creazione della fertilità del suolo.

3.4.1. La pomice

La pomice è il risultato dell'espansione di minerale magmatico effusivo, che genera un prodotto alveolare di notevole leggerezza, con elevata porosità e grande ritenzione idrica (Figura 3.9). L'acqua che viene trattenuta è restituita in maniera graduale all'apparato radicale delle piante. In quanto prodotto naturale, è assolutamente ecologico, quindi ideale nella realizzazione di una tecnologia che si pone come elitaria per l'incremento della naturalità.

La pomice ha un peso che principalmente dipende dalla sua composizione e dalle dimensioni del granulo, relativo alla graniglia di dimensioni che variano dai 4 ai 40 mm, il peso è pari a circa 350-450 kg/m³, con una capacità di assorbimento dei liquidi di 100 gr di acqua /100 gr di pomice.

Il suo pH si attesta generalmente sui valori di 6,5 – 7,0, ha una buona capacità di formare colonie batteriche utili alle piante e rilascia elementi ferrosi indispensabili per l'accrescimento delle specie vegetali.



Figura 3.9 – Pomice

3.4.2. Il lapillo vulcanico

Il lapillo vulcanico (Figura 3.10) è costituito da minerale magmatico effusivo; la sua struttura alveolare interna è dovuta al processo di accumulo d'aria durante l'evento e questo gli conferisce particolari qualità, tra cui:

- leggerezza;
- grande capacità di ritenzione idrica (dal 6 al 10 % in volume);

- capacità di trattenere ossigeno gassoso, anche in ambienti asfittici;
- capacità di mantenere porosa la struttura del substrato, evitando pericolose compattazioni nel corso del tempo;
- la sua struttura permette l'insediamento e lo sviluppo della parte microbica;
- può in alcuni casi rilasciare gli elementi di cui è composto, ad esempio il ferro indispensabile nella formazione della clorofilla, mettendolo a disposizione delle piante.

Il suo peso varia da 800 – 950 kg/m³ (in funzione della granulometria) e il pH ha un valore generalmente pari a 7.

È importante sottolineare che si tratta di un materiale esente da calcare attivo; quindi svolge un'importante funzione tampone all'interno del substrato (la funzione tampone è la capacità che un materiale ha di contenere eventuali scompensi del pH, dovuti ad eccessi di salinità della soluzione nutritiva o acidità delle torbe).

Pomice vulcanica e lapillo possono essere utilizzati per tamponare i pannelli drenanti (sistema tamponato), allo scopo di ridurre la capacità di accumulo d'acqua del sistema; entrambi vengono molto utilizzati nella composizione dei terricci specifici, generalmente miscelati a torbe bionde stabilizzate e correttivi in grado di ridurre l'acidità apportata dalle torbe.

L'inserimento nella miscela di concime organico a lenta cessione garantirà il nutrimento alle piante per i primi anni di vita del tetto giardino.

Nell'arco del tempo, un adeguato apporto di elementi nutritivi, forniti da un attento programma di concimazioni o fertirrigazioni, mantiene la fertilità del substrato a tutto vantaggio delle piante.

Oltre alle pomici ed al lapillo, sono stati utilizzati, nella formulazione dei terricci, molti altri inerti; tra i più comuni sono da elencare il laterizio e l'argilla espansa.



Figura 3.10 – Il lapillo vulcanico

3.4.3. Il laterizio riciclato

Il laterizio riciclato (Figura 3.11) è il risultato della frantumazione dei laterizi ed è costituito da materiale granulare parzialmente arrotondato nel processo di frantumazione (e vagliato).

Il prodotto ottenuto ha delle buone caratteristiche fisiche e chimiche e presenta innegabili vantaggi per la salvaguardia dell'ambiente (evita, ad esempio, l'approvvigionamento di materiale in cava).

Per contro, è un materiale pesante che può incidere sul peso complessivo della stratificazione.



Figura 3.11 - Laterizio riciclato

3.4.4. L'argilla espansa

L'argilla espansa (Figura 3.12) si trova comunemente in commercio presso i fornitori di materiale edile, possiede diverse pezzature e nasce dalle cotture di varie argille che vengono successivamente macinate in mole, per poi essere ridotte in materiale granuloso.

Quest'ultimo viene successivamente infornato ad altissime temperature, dando così origine a delle sfere con porosità idonea a trattenere l'umidità.

Il substrato per giardini pensili non va confuso con il terriccio tradizionale per floricoltura sempre a disposizione nei vivai.

I terricci tradizionali per floricoltura sono quasi completamente costituiti da elementi organici, come torba e compost.

I substrati per il verde pensile possiedono una struttura che può includere elementi minerali opportunamente lavorati, che variano in base alle scelte tecniche delle aziende che li producono (scelte che sono il prodotto delle ricerche svolte dalle ditte specializzate in questo settore).

Ovviamente, un progettista deve avere contezza delle caratteristiche più idonee che il substrato deve possedere per la corretta crescita e per lo sviluppo delle specie vegetali scelte, in base anche alle condizioni climatiche in cui opera e alle caratteristiche dell'acqua utilizzata per l'irrigazione.

Quanto detto allo scopo di evitare substrati che sono performanti in alcuni contesti ma, in altre condizioni, possono compattarsi nel tempo, pregiudicando la sopravvivenza delle piante.

Il substrato per tetti verdi deve possedere determinate caratteristiche durevoli nel tempo, tra queste:

- peso ridotto, valutato sempre in condizioni di massima saturazione idrica;
- porosità totale costante nel tempo, così da mantenere una elevata capacità drenante;
- conducibilità elettrica idonea;
- buona capacità di ritenzione idrica;
- struttura fisica e chimica stabile;
- capacità di scambio cationico;
- velocità di infiltrazione;
- ottima resistenza al gelo;
- ridotto compattamento nel tempo dovuto all'azione del calpestamento e della pioggia battente;
- assenza di semi di infestanti.

Particolare importanza si deve riservare, nella preparazione di questi substrati, alle caratteristiche chimiche quali salinità, pH, capacità di adsorbimento degli elementi nutritivi e potere tampone.

I fenomeni di degrado devono essere estremamente contenuti, per poter mantenere le caratteristiche del substrato costanti nel tempo. Nel calcolo della quantità di terriccio alleggerito, il progettista deve anche tener conto del fattore d'assestamento o di compattazione, per cui occorre calcolare 10/15% circa di terriccio in più per ripristinare le quote dopo la compattazione.



Figura 3.12 – Argilla espansa

4. Realizzazione del verde pensile estensivo e intensivo

La realizzazione del verde pensile estensivo, intensivo e i tipi intermedi definiti intensivo leggero o semi intensivo, prevede ovviamente un'accurata progettazione. Il progettista incaricato deve basarsi non soltanto sulle caratteristiche tecniche della stratificazione e sulla scelta delle specie vegetali, le richieste della committenza, pubblica o privata, il contesto ambientale e climatico e il modo di interpretare il verde pensile sotto il profilo paesaggistico, sono infatti altri elementi che contribuiscono a tracciare il percorso progettuale.

L'inverdimento estensivo, come accennato in precedenza, viene principalmente adottato nella naturalizzazione di ampie superfici pubbliche o industriali, oppure nell'inverdimento dei solai di moduli abitativi che vogliono sfruttare le sue caratteristiche bioarchitettoniche.

Nelle aree mediterranee la richiesta è prevalentemente orientata verso l'inverdimento di superfici piane, con una ridotta incidenza di lavorazioni su tetto inclinato.

4.1. Il sopralluogo

Il sopralluogo presso la struttura è il primo passo da effettuare allo scopo di acquisire tutte le informazioni necessarie allo sviluppo del progetto.

Nel giardino pensile intensivo diventa ancora più importante, in merito alla maggiore stratificazione tecnologica e alla più complessa progettazione paesaggistica.

Dal sopralluogo si ricavano tutti i dati utili allo sviluppo del progetto e alle procedure di cantiere che si dovranno sostenere durante la fase di realizzazione.

Il sopralluogo inizia ancor prima di raggiungere la terrazza, valutando le strade che consentono l'accesso alla struttura in cui si opera.

L'ampiezza delle strade, la possibilità di sosta dei mezzi pesanti che trasportano la tecnologia, l'altezza del solaio rispetto al piano stradale, lo stazionamento del camion-gru che porterà in quota il materiale, sono tutti aspetti che vanno accuratamente attenzionati perché incidono in maniera consistente sui costi complessivi del lavoro, compromettendo in alcuni casi la fattibilità stessa del progetto.

È preferibile accedere per vie esterne alla terrazza, così da evitare problemi dovuti alla movimentazione del materiale e delle piante all'interno dell'edificio.

Tutti i movimenti e gli interventi che portano alla realizzazione devono essere perfettamente pianificati. Si passa quindi al sopralluogo effettivo nell'area d'impianto.

La terrazza destinata a verde pensile si presenta generalmente in due modi:

- con superficie già pavimentata, per cui adibita alla fruizione;
- con superficie non rifinita (con massetto di posa in cemento a vista o, in qualche caso, con la guaina impermeabilizzante strutturale scoperta).

Il primo caso è molto comune negli edifici cittadini; si tratta di terrazzi già realizzati di cui si prospetta la conversione a giardini pensili (Figura 4.1).

In questi casi ci troviamo di fronte ad una serie di valutazioni, una su tutte la possibilità di prevedere la rimozione della pavimentazione preesistente.

Questa possibilità ci consente di effettuare un recupero di peso statico per m² spendibile ai fini di valutare il carico della realizzazione.



Figura 4.1 Esempio di terrazza pavimentata - Progetto GIFLUID, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente – Catania. Stato di fatto

Quando, invece, si interviene su solai in fase di costruzione, il massetto di posa e la pavimentazione non sono stati ancora definiti, per cui il progetto del giardino pensile può andare di pari passo con la progettazione architettonica.

Questa è la situazione ideale, che si traduce, il più delle volte, in un risparmio per la committenza.

Quando si opera su una terrazza degradata che presenta la guaina impermeabilizzante a vista, occorre prevedere la sostituzione della stessa (in quanto le guaine bituminose si degradano nel tempo, se

esposte al sole ed alle intemperie) e il successivo ripristino della guaina strutturale e delle relative pendenze della terrazza.

Occorre anche individuare e fotografare tutti gli scarichi delle acque piovane presenti sul solaio (Figura 4.2), allo scopo di individuare planimetricamente la loro esatta ubicazione e il tipo di scarico (a pavimento o laterale sul muro parapetto).



Figura 4.2 – Foro di scarico acqua piovana.

Il foro di scarico al pluviale deve essere correttamente dimensionato in rapporto alla superficie complessiva della terrazza; deve, inoltre, essere libero da qualsiasi ostruzione (anche parziale) e deve essere efficiente.

Può essere verificata la capacità di smaltimento dell'acqua bagnando abbondantemente la terrazza così da verificare contemporaneamente pendenze e capacità di deflusso.

Anche il parapetto di confine del terrazzo deve essere attentamente valutato. Se ci troviamo di fronte una ringhiera, dobbiamo predisporci alla realizzazione di un cordolo posteriore di contenimento della stratificazione. In presenza di un muro si potrà, invece, prevedere di agganciare i cordoli di contenimento del verde a questo, con un risparmio costruttivo in sede di realizzazione.

Tutti questi dati appena descritti vanno ovviamente acquisiti insieme ad una planimetria complessiva della terrazza che mette in evidenza anche i profili della casa con relative bucaure (finestre e porta-finestre di accesso all'esterno).

È importante anche l'acquisizione planimetrica dell'esatta disposizione delle travi e dei pilastri che sorreggono la terrazza; questi sono, infatti, dei "punti di forza" del solaio e possono darci importanti indicazioni per la distribuzione dei pesi e per l'ubicazione delle specie vegetali più grandi.

Per finire, si dovrà accertare, con le opportune verifiche, il sovraccarico per metro quadro del solaio su cui si intende operare. Questo dato, fondamentale nella progettazione del giardino pensile, può essere richiesto al progettista che ha progettato l'edificio o all'impresa edile che lo ha realizzato. In assenza di dati certi e documentati, occorre prevedere una prova di carico sulla terrazza.

Una delle principali prestazioni che si richiedono ai solai è quella di avere resistenza ai carichi; particolare rilevanza ha in questo caso la selezione, il tipo di solaio, le misure dei suoi elementi e la luce.

Per luce del solaio si intende lo spazio che separa gli elementi d'appoggio (travi e pilastri).

La normativa vigente stabilisce che sui solai costruiti in calcestruzzo armato e in acciaio si debba effettuare un collaudo statico per verificarne l'idoneità strutturale e la conformità alle disposizioni di legge.

Il collaudo statico dei solai comporta una serie di verifiche tecniche (esame generale delle opere, controllo dei certificati di prova dei materiali ecc.), tra cui anche l'esecuzione delle prove di carico su alcune componenti del solaio, come, ad esempio, le travi che presentano maggiore luce, o su quelle parti soggette sopportare dei carichi elevati.

La prova di carico del solaio si effettua applicando dei pesi per un tempo variabile in rapporto al tipo di struttura, in modo da provocare le massime sollecitazioni sopportabili.

Ogni elemento in prova (solaio, travi, pilastri) può essere sollecitato da più condizioni di carico in modo che si possano determinare, con gli appositi strumenti di misura, le deformazioni, vale a dire le cosiddette frecce d'inflexione della struttura.

La stima delle condizioni di carico deve tenere conto dei sovraccarichi permanenti e dei carichi d'esercizio dovuti ai pesi delle persone, degli arredi, ecc.

Per effettuare un carico sul solaio si utilizzano, generalmente, dei contenitori impermeabili riempiti di acqua; per misurare le deformazioni si utilizza uno strumento appropriato: il flessimetro.

Durante il sopralluogo devono essere acquisite informazioni anche sulla fascia climatica della zona, l'orientamento della terrazza, eventuali proiezioni d'ombra da parte di strutture sovrastanti, la disponibilità idrica (acqua diretta o proveniente da vasche di raccolta, dimensione delle vasche, punti acqua presenti negli spazi esterni ecc.).

Quanto detto allo scopo di effettuare una consapevole scelta botanica delle specie da inserire, evitando, così, l'utilizzo di piante con esigenze diverse rispetto al contesto in cui andranno a vivere e svilupparsi.

4.2. Definizione dei cordoli di contenimento

Il perimetro della terrazza, come già accennato, deve essere attenzionato.

Normalmente i solai piani industriali sono forniti di cordoli bassi (se non fruibili), o parapetti (se fruibili).

Nel verde pensile estensivo i cordoli di contenimento della tecnologia devono avere un'altezza minima di circa 15/20 cm, in considerazione del fatto che nelle nostre zone anche il verde pensile estensivo va irrigato con un impianto di irrigazione (vanno quindi escluse le stuoie precoltivate di Sedum che occupano stratificazioni inferiori e non necessitano di irrigazione in climi meno aridi). Nel giardino pensile intensivo la stratificazione è più alta e può arrivare anche a 40/50 cm complessivi, per cui i cordoli devono essere dimensionati in maniera opportuna.

Per la loro costruzione si utilizzando *mattoni alleggeriti* o *profili* di materiali diversi. I **mattoni alleggeriti** (Figura 4.3) tipo “Siporex”, “Gasbeton”, “Durox” o “Thermalite” sono realizzati con un calcestruzzo cellulare aerato autoclavato, assai leggero, resistente al fuoco, isolante, lavorabile come il legno, composto essenzialmente da sabbia silicea e cemento.

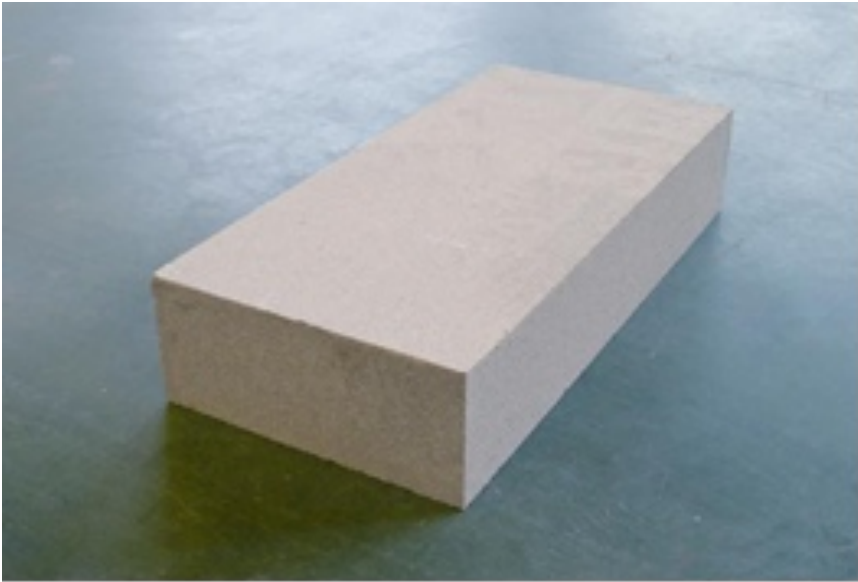


Figura 4.3 – Esempio di mattone alleggerito per la realizzazione di cordoli di contenimento.

Questi prodotti hanno delle interessanti caratteristiche:

- basso peso specifico;
- buona resistenza alla compressione;
- elevato potere d'isolamento termico;
- elevata inerzia termica;
- eccezionale resistenza al fuoco;
- elevata permeabilità al vapore;
- eccellente lavorabilità;
- illimitata durata nel tempo.

Sebbene siano composti dalle stesse materie prime del calcestruzzo, il *Siporex* e il *Gasbeton* sono dei materiali completamente diversi, poiché la sabbia prende parte attiva al processo di “idratazione”.

Sono, inoltre, dei materiali da costruzione ecologici perché composti da elementi presenti in natura in quantità quasi illimitata e la loro produzione non intacca le riserve naturali di materie prime esauribili; per di più, sono esenti da emissioni nocive radioattive o gassose.

Non producono immissione di vapori o gas tossici nell’ambiente e i cascami delle lavorazioni vengono reimpiegati, così come gli scarti, per essere utilizzati come inerti.

Il mattone può essere tagliato con una sega manuale e adattato ad ogni situazione (perfezionando il taglio con una grossa lima).

L’estrema facilità di lavorazione, la possibilità di realizzare cordoli resistenti e leggeri e la facilità di trasporto rendono questo materiale ideale per la realizzazione del giardino pensile. In Figura 4.4 si riporta la posa in opera dei cordoli di contenimento del tetto verde del Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente.



Figura 4.4 - Progetto GFLUID, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente, – Catania. Costruzione cordolo.

Esiste anche la possibilità di realizzare i cordoli di contenimento, specie nel verde pensile estensivo, con l'utilizzo di **profili di contenimento** che assolvono alla stessa funzione dei cordoli in opera muraria.

I cordoli possono essere realizzati in materiali diversi (alluminio, legno trattato per esterni, acciaio ecc.) e in tutti i casi devono poter permettere l'applicazione della guaina antiradice che risale dal solaio per tutta la loro altezza.

4.3. Posa in opera della guaina antiradice

La realizzazione della stratificazione di un verde pensile estensivo o di un giardino pensile intensivo, ivi comprese le forme intermedie, parte dall'applicazione della guaina antiradice.

Se il terrazzo è già pavimentato e il peso per metro quadro dello stesso lo consente, si procede direttamente con la posa della guaina sul pavimento esistente, saldata a caldo, che risale sui cordoli di contenimento per tutta la loro altezza, svoltando sul margine superiore.

Se la terrazza non è pavimentata, ma presenta la guaina strutturale esposta, occorre verificare che questa sia in buone condizioni e coprirla con la realizzazione di un piccolo massetto con cui definire le corrette pendenze verso i pluviali.

Il massetto serve anche ad evitare di porre la guaina antiradice a stretto contatto con quella strutturale. Alcune guaine, infatti, potrebbero avere dei componenti incompatibili se poste a diretto contatto; bisogna quindi documentarsi sempre con la ditta produttrice della guaina allo scopo di realizzare una posa in opera conforme.

Un'alternativa può essere l'utilizzo di guaine antiradice molto sottili, da saldare a freddo, separate dalla guaina strutturale ponendo uno strato di tessuto non tessuto tra il solaio e la guaina.

Queste guaine non si saldano alla struttura e sono fissate ai cordoli attraverso dei profili di connessione generalmente in alluminio.

Si forma così un “catino” impermeabile e la guaina, non adesa al solaio che può scorrere sul tessuto non tessuto durante l’assestamento.

Quando si utilizzano guaine sottili saldate a freddo è sempre consigliato procedere ad una prova di tenuta delle stesse mediante l’allagamento, dopo aver chiuso provvisoriamente i pluviali di convogliamento delle acque.

Con questa prova si può verificare la tenuta della guaina al passaggio dell’acqua e contemporaneamente si agevola l’assestamento della guaina sul solaio e sui cordoli. In Figura 4.5 si riporta la posa in opera della guaina antiradice del tetto verde del Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente.



Figura 4.5 - Progetto GFLUID, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente - Catania. Posa in opera guaina antiradice.

4.4. Posa in opera del sistema drenante

La scelta dei sistemi drenanti è molto vasta in virtù dei tanti prodotti presenti sul mercato. Ogni sistema drenante ha le sue caratteristiche, il suo peso e il suo sistema di posa. È fondamentale attenersi alle metodiche segnalate dalla ditta costruttrice allo scopo di ottenere una corretta messa in opera. Il sistema drenante può essere poggiato direttamente sulla guaina antiradice, come nel caso dei moduli drenanti che posseggono una sagoma delle parti in appoggio studiata per non produrre danni o perforazioni, oppure occorre separare il sistema drenante dalla guaina con la posa in opera di uno strato in tessuto non tessuto. Esistono, infine, sistemi drenanti a vassoio o a sacco che già presentano il tessuto non tessuto nell'involucro di contenimento del materiale drenante (perlite o altri elementi minerali granulari); se si utilizza questa tipologia di sistema, la posa avviene direttamente sulla guaina. In tutti i casi, in questa fase va previsto l'inserimento del pozzetto di ispezione in corrispondenza degli scarichi del solaio (Figura 4.6).



Figura 4.6 - Pozzetto di ispezione

Può essere utilizzato un normale pozzetto in plastica (PVC) come quelli usati per gli impianti elettrici.

Ne esistono di diverse misure; in genere risulta essere adeguata una misura pari a cm 30x30, tuttavia la scelta dipende dal diametro e dalla collocazione dei fori dei pluviali di convogliamento delle acque presenti nella terrazza, che sono generalmente incassati sul solaio, oppure posti alla base del muro parapetto.

Se il foro è a pavimento, un pozzetto 30x30 cm è sufficiente. Basterà eliminare il fondo dello stesso, tagliandolo in modo tale da formare delle fessure laterali pari all'altezza del sistema drenante utilizzato. L'altezza complessiva del pozzetto deve, ovviamente, essere equivalente allo spessore previsto dalla tecnologia, per cui non di rado si sovrappongono due pozzetti tagliati a misura.

Il sistema drenante modulare viene tagliato in corrispondenza del pozzetto e le fessure laterali lo mettono in continuità con il sistema drenante.

Quando il foro è laterale, il pozzetto viene privato del fondo ed accostato alla parete che deve essere tagliata per poter liberare il foro.

Non conviene eliminare completamente il laterale adeso al muro per non rischiare di indebolire la struttura del pozzetto.

Se lo strato drenante è realizzato in moduli in polipropilene (tipo *Drainroof*) si può procedere al riempimento dei bicchieri posti

nella parte a vista del pannello tamponando il modulo drenante con argilla espansa. In Figura 4.7 si riporta il riempimento dei moduli drenanti con argilla espansa del tetto verde del Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente

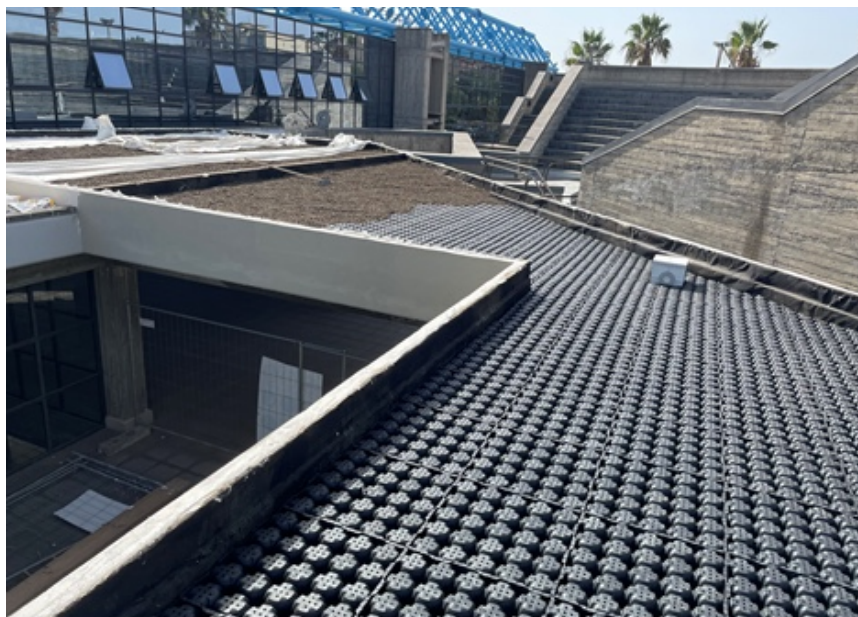


Figura 4.7 - Progetto GFLUID, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente - Catania. Tamponatura moduli drenanti con argilla espansa

Questa operazione permette, come già accennato, la riduzione della riserva idrica per m² della tecnologia e si effettua quando occorre ridurre il peso complessivo della stessa.

Il tamponamento si effettua solamente in giardini pensili muniti di impianto d'irrigazione.



Figura 4.8 - Progetto GFLUID, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente - Catania. Posa in opera telo di separazione.

Solo a questo punto, se optiamo per la sub irrigazione, si possono inserire i tubi dell'impianto irriguo che andranno poi coperti dal terriccio alleggerito.

Se si utilizza un sistema di irrigazione superficiale che prevede l'utilizzo dei pop-up, i tubi verranno posti sul tessuto di separazione per poi far emergere il pop-up scelto con altezza adeguata allo spessore del terriccio.

Per ciò che concerne le ali gocciolanti, i gocciolatoi o i micro spruzzi, il sistema lavorerà in modo diverso e dovrà essere

poggiato direttamente sulla superficie del substrato, contestualmente all'inserimento delle piante.

Il terriccio alleggerito viene confezionato dalle ditte produttrici in Big-Bag (BB) con capienze che variano dai 2 ai 4 mc.

I BB sono appositamente pensati per facilitare il carico sui camion e rendere agevole il trasferimento in quota con l'ausilio di una gru. Fondamentale è la procedura di svuotamento del BB che deve essere mantenuto sempre sospeso e mai poggiato, anche per brevi periodi, sul solaio per non gravare con il suo peso.

Lo svuotamento avviene dal basso attraverso il taglio del BB o apposte aperture già previste nello stesso.

Man mano che il BB si svuota, bisogna spostarlo con la gru per garantire la distribuzione del substrato, agevolata dagli operai presenti in cantiere.

Occorre procedere con velocità e precisione, evitando di mantenere in cumuli il terriccio che inevitabilmente sovraccaricano il solaio. In Figura 4.9 si riporta la posa in opera del terriccio alleggerito mediante BB del tetto verde del Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente.



Figura 4.9 - Progetto GFLUID, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente - Catania. Posa in opera terriccio alleggerito

4.6. Sistemi di irrigazione

L'irrigazione dei tetti verdi è fondamentale per garantire la sopravvivenza e la vitalità delle piante, specialmente durante i periodi caldi o secchi caratteristici delle zone a clima mediterraneo come la Sicilia. Nelle regioni caratterizzate da estati fresche e piovose come quelle nord-europee, i tetti verdi sono generalmente privi di un sistema di irrigazione, tale condizione presenta vantaggi come il risparmio economico derivante dal costo del sistema di irrigazione e dal consumo d'acqua. Al contrario nelle regioni a clima mediterraneo come la Sicilia, l'irrigazione dei tetti verdi è

fondamentale per garantire la sopravvivenza e la vitalità delle piante, specialmente durante il periodo primavera-estate.

In località con scarse precipitazioni e lunghi periodi di siccità, l'installazione di un sistema di irrigazione sul tetto verde aumenta la disponibilità di acqua, le perdite di calore dovute all'evapotraspirazione e la conseguente riduzione della temperatura delle superfici esterne e interne del tetto, soprattutto in climi come quello mediterraneo (alta radiazione solare, temperatura esterna moderata/alta e basse precipitazioni) (Yazdani H., Gomes et al., 2019; Zinzi e Agnoli, 2021) Questi benefici possono comportare una riduzione del consumo energetico, oltre a migliorare altri aspetti come la mitigazione dell'effetto "isola di calore urbana" (UHI) (Yang, et al., 2018).

L'ottimizzazione del design dei tetti verdi, includendo la scelta della vegetazione e l'irrigazione, può migliorare significativamente l'efficienza energetica, soprattutto nelle stagioni calde. Numerosi studi hanno evidenziato che i maggiori costi dell'irrigazione sono compensati dai notevoli risparmi energetici sulla climatizzazione degli edifici durante il periodo estivo (Borràs et al., 2022; Borràs et al., 2023; Pirouz et al., 2020; Pirouz et al., 2023, Zheng et al., 2021). Tuttavia, è fondamentale bilanciare i benefici energetici con i costi di manutenzione e uso dell'acqua. La scelta tra un tetto verde estensivo o intensivo deve tenere conto della capacità

strutturale dell'edificio e delle risorse idriche disponibili, qualora entrambe le condizioni siano favorevoli sarebbe opportuno realizzare tetti verdi di tipo intensivo o semintensivo nelle regioni a clima mediterraneo con irrigazione di tipo stagionale. (Borras et al., 2023)

I sistemi di irrigazione utilizzati per i tetti verdi sono simili a quelli normalmente utilizzati per l'irrigazione del verde ornamentale (Panayiotis, 2018):

- irrigazione a goccia superficiale: generalmente si utilizzano ali gocciolanti integrali (i gocciolatori sono co-estrusi con la tubazione) con diametro pari a 16-20 mm. Tali ali sono commercialmente disponibili con un'ampia gamma di portate dei gocciolatori e di distanze tra un gocciolatore e il successivo ("passo"). È preferibile impiegare erogatori auto-compensanti (la portata rimane costante in un determinato range di variazione di pressione) e con dispositivo dropstop (dal gocciolatore non fuoriesce acqua appena viene interrotta l'erogazione con la chiusura del settore).
- irrigazione sub-superficiale: prevede la distribuzione dell'acqua in profondità alla base del substrato con tubazioni integrali con gocciolatori o con "vasoi porosi". Tale tecnica viene sempre più spesso utilizzata per ridurre

l'evaporazione e garantire una migliore efficienza irrigua. Quando si impiegano le ali gocciolanti integrali si impiegano generalmente erogatori auto-compensanti con dispositivo dropstop e per evitare l'intrusione di particelle di terreno anche con dispositivo antisifone.

- irrigazione ad aspersione (tramite sprinkler o minisprinkler): tale metodo è raramente impiegato sui tetti verdi estensivi a causa di un maggiore consumo d'acqua e del rischio di dispersione per deriva, ma può essere applicato su tetti verdi intensivi (Gomes et al, 2019). Nel caso di tetti verdi intensivi o semintensivi con un substrato di spessore adeguato possono essere impiegati anche irrigatori pop-up come quelli normalmente impiegati per l'irrigazione dei tappeti erbosi.

Qualunque sia il metodo prescelto è buona regola realizzare settori irrigui non particolarmente grandi (ordine grandezza circa 100 m²) con uno schema idraulico a maglia chiusa al fine di avere una migliore compensazione della pressione che può garantire una migliore uniformità di erogazione soprattutto nel caso non vengano utilizzati erogatori auto-compensanti. Ogni settore dovrà essere dotato di uno o più valvole per consentire lo spurgo periodico delle tubazioni al fine di prevenire fenomeni di occlusione degli erogatori. In relazione alla tipologia di acqua

utilizzata occorre comunque dotare l'impianto di irrigazione anche di un idoneo sistema di filtrazione (a rete o a dischi) per rimuovere particelle sospese o sostanza organica che in particolare potrebbero causare l'occlusione dei gocciolatori.

Inoltre occorre dotare il tetto verde di un sistema di irrigazione automatizzato dotato di sensori di umidità del suolo, temperatura e pioggia per ottimizzare l'uso dell'acqua, riducendo sprechi e costi operativi (Santamouris, et al., 2014).

Numerosi studi (Gomes et. al., 2019; Tomasella et al., 2022, Pirouz et al., 2023) hanno evidenziato come ottimizzare il substrato e utilizzare sistemi a maggiore capacità di ritenzione idrica riduce significativamente la necessità di irrigazione.

In generale vengono date alcune raccomandazioni:

- implementare sistemi di irrigazione stagionali che funzionino solo durante i mesi più caldi;
- utilizzare substrati ad alta capacità di ritenzione idrica e considerare l'adozione di specie vegetali native o comunque tolleranti delle alte temperature per ridurre il consumo d'acqua.
- ottimizzare la profondità del suolo e il *Leaf Area Index* (LAI) della vegetazione per massimizzare l'efficienza energetica, specialmente in climi con elevate temperature estive.

Un sistema di irrigazione ben progettato e gestito è fondamentale per il successo di un tetto verde, in quanto contribuisce a preservare la salute delle piante e a massimizzare i benefici ambientali. La scelta del sistema più adatto dipende dalle caratteristiche del tetto verde (estensivo o intensivo), dalle esigenze delle piante e dalle condizioni climatiche locali. Investire in tecnologie di irrigazione automatizzata può portare a un notevole risparmio idrico ed economico nel lungo termine, contribuendo a rendere i tetti verdi una soluzione sostenibile per le aree urbane (Berardi et al, 2014).

5. Progettazione paesaggistica

Il progetto paesaggistico di un giardino pensile deve necessariamente tenere conto della parte tecnologica che vincola, in qualche modo, le scelte del progettista.

Nel verde pensile estensivo, la scelta botanica deve orientarsi in modo prevalente su piante tappezzanti, succulente o meno, specie perenni a portamento compatto e, in termini generali, su piante che possono ben adattarsi al basso franco di coltivazione presente nella stratificazione.

Questo, comunque, non esclude la possibilità di ottenere un'architettura creativa, soprattutto se si opera su un tetto visibile da affacci posti ad un livello superiore.

La mancanza di verticalizzazione del verde inserito sparisce se il giardino viene osservato dall'alto; in ogni caso è possibile mantenere effettivi visivi suggestivi utilizzando piante tappezzanti.

Nel caso del progetto paesaggistico di un giardino pensile intensivo, è simile a quello di un giardino tradizionale, ma devono sempre essere considerati i limiti che la tecnologia impone.

Conoscere lo sviluppo massimo delle specie inserite, il loro peso a massima crescita, il tipo di apparato radicale, la loro forma e colore, la tolleranza al vento è fondamentale. Certamente il giardino pensile intensivo dà più spazio al progettista, ma impone, appunto per questo, una maggiore attenzione. Il primo passo verso

un buon progetto è sempre la scelta del “tema” che sarà sviluppato in base alle esigenze della committenza.

Nel caso del progetto di un Roof-Garden, o dello spazio esterno di un centro commerciale, l’approccio progettuale deve essere molto diverso rispetto ad un giardino pensile residenziale o alla terrazza di un ristorante posto in un attico.

Una regola sempre utile, quando si dà forma ad un progetto paesaggistico, è quella di definire la scelta del tema da realizzare in funzione dello scopo per cui il giardino viene realizzato.

La progettazione paesaggistica e le scelte estetiche e architettoniche sono anche vincolate dalla sensibilità del progettista, che deve interpretare con creatività e funzionalità lo spazio in ragione delle esigenze del luogo e di chi lo fruirà.

La grande possibilità di inserimento del verde in queste realizzazioni “fuori suolo” ci permette di progettare un giardino utilizzando quasi tutti gli elementi vegetali che lo compongono.

Vista la grande soggettività del progetto, il modo migliore per analizzare le fasi di sviluppo dello stesso è quello di descrivere le sue fasi di realizzazione.

Le considerazioni che seguono, vista la soggettività del progetto, devono essere adattate alle specifiche esigenze che il progettista incontra.

5.1. Il progetto tipo

Generalmente il giardino pensile intensivo si trova allo stesso livello dell'abitazione, per cui rappresenta, di fatto, l'area esterna della casa.

La prima valutazione da effettuare è l'esatta individuazione degli spazi che saranno destinati al verde. Operando su una struttura esistente, le bucatore dalla struttura che conducono alla terrazza sono già realizzate, per cui è esclusa la possibilità di trasformare integralmente tutta la superficie destinata a verde pensile in virtù dello spessore minimo che la stratificazione impone.

Considerando, quindi, che la profondità minima della tecnologia è di 20 cm, l'accesso al giardino non deve essere in prossimità delle aperture. Inoltre, di grande importanza è la messa in sicurezza dei bordi della terrazza (parapetto), considerando che la quota di calpestio del giardino è più alta.

Definiti questi aspetti, si può pensare alla caratterizzazione paesaggistica delle zone a verde, sempre conforme al "tema" scelto, alle necessità estetiche e funzionali della committenza e al contesto climatico e paesaggistico della zona in cui si opera.

Un giardino residenziale prevede generalmente delle aree a funzione specifica, come ad esempio zone Living, cucine esterne con relativa zona pranzo, aree Spa con idromassaggio.

Quando il giardino in oggetto è un giardino pensile, le scelte progettuali dipendono dalla superficie a disposizione e dalla capacità di sovraccarico per m² del solaio.

Se la struttura del solaio è in fase costruttiva, la progettazione del verde pensile deve essere integrata a quella architettonica, organizzando i pesi e la relativa tenuta del solaio e le quote necessarie affinché possa essere alloggiata la stratificazione. In questi casi il progettista è più libero di organizzare gli accessi del giardino e la distribuzione delle aree a verde senza vincoli preesistenti, utilizzando tutto lo spazio esterno per la realizzazione.

5.1.1. Descrizione

Nel progetto realizzato su una terrazza esistente con sovraccarico per m² pari a 350 kg, il verde è progettato per essere fruito in due spazi separati: una pergola bio-climatica che ospita la cucina esterna, posta sulla destra, e una pergola aperta che caratterizza una pedana in legno, posta sulla sinistra (Figura 5.1). Le aperture della casa hanno imposto di spostare le aree a verde sui bordi, raccordandole con il pavimentato esistente attraverso due pedane in legno perfettamente fruibili ed una zona a prato. Con questa soluzione è stato possibile alloggiare una siepatura perimetrale differenziata che circoscrive la terrazza mettendo al contempo in sicurezza il parapetto e garantendo la privacy dello spazio esterno.

La siepatura perimetrale differenziata è composta da tre tipologie di cespugli:

- cespugli a grande portamento posti sulla linea di confine (che possiedono uno sviluppo in verticale compatto, formando un vero e proprio “muro verde”);
- cespugli a medio portamento da fiore e cromatici che naturalmente raggiungono un’altezza massima di mt 1.20/1.50;
- piante tappezzanti ricadenti che si sviluppano in orizzontale come coprisuolo.



Figura 5.1 - Progetto tipo di una terrazza esistente. Planimetria giardino pensile residenziale.

Questa soluzione presenta un gradiente di vegetazione crescente molto naturale, che ben raccorda le aree destinate a verde con le aree libere dedicate alla fruizione o al prato.

Le specie arboree che sono state inserite sono un giovane esemplare di *Olea europea*, già caratterizzato, un *Citrus australasica* e un *Arbutu unedo*.

Queste piante sono collocate in corrispondenza dei pilastri e delle travi sottostanti per garantire un'ulteriore sicurezza in merito al peso scaricato sulla struttura.

In questa realizzazione, allo scopo di ottenere un franco di coltivazione maggiore in prossimità degli alberi, sono stati progettati cordoli di contenimento di diversa altezza.

La zona a prato è caratterizzata dalla presenza di un cordolo alto 18 cm, che è sufficiente per garantire lo sviluppo dello stesso.



Figura 5.2 - Progetto tipo di una terrazza esistente. Prospettiva giardino pensile residenziale.

Il cordolo prosegue formando l'alzata del gradino che permette l'accesso alla prima pedana in legno, altri 18 cm costituiscono l'alzata del secondo gradino e quindi l'accesso alla seconda pedana, così da sviluppare un'altezza complessiva del cordolo di contenimento dei cespugli e degli alberi di 36 cm.

Pur essendo molteplici le soluzioni progettuali di un giardino pensile intensivo, è importante considerare che:

- la superficie di copertura orizzontale (occupata dal prato, dalle pacciamature e dalle pavimentazioni) va proporzionata con i volumi delle aree a verde più rilevanti (cespugli, alberi, palme ecc.);
- le stratificazioni che ospitano le piante devono essere adeguate alle loro necessità, allo scopo di garantirne lo sviluppo;
- occorre organizzare i carichi maggiori in prossimità dei punti di forza del solaio (travi e pilastri);
- è opportuno accedere al giardino da una quota minima;
- i camminamenti, o le aree pavimentate, all'interno del giardino pensile devono essere realizzati con materiali leggeri e le pavimentazioni devono essere galleggianti, così da essere poste alla stessa quota del verde circostante.

Nel caso in cui il parapetto, o la ringhiera, non sono coperti dalla siepatura perimetrale, occorre metterli in sicurezza compensando la quota mancante, allo scopo di riportare la quota del parapetto alle misure che la normativa costruttiva impone.

Il movimento dell'acqua verso i pluviali della terrazza va rispettato nel corso della progettazione dei cordoli di contenimento. Un errore in questa fase potrebbe creare delle zone in cui l'acqua permane.

Se la progettazione del verde pensile è realizzata contestualmente a quella a quella architettonica, si possono prevedere dei pluviali opportunamente dimensionati per ogni area a verde.

Diverso è il caso delle terrazze già realizzate, dove i pluviali lavorano intercettando l'acqua che viene convogliata dalle pendenze del solaio che sono già state determinate.

In questi casi occorre garantire il libero movimento dell'acqua di scorrimento superficiale verso il pluviale con la realizzazione di "cordoli di contenimento passanti".

Il cordolo passante prevede delle aperture alla base che possano mettere in continuità il sistema drenante della tecnologia con la superficie pavimentata esterna ad essa; questo sistema non crea ostacoli all'acqua che scorre seguendo la naturale pendenza della terrazza (Figura 5.3).



Figura 5.3 - Giardino pensile residenziale. Cordolo passante

Le aperture alla base del cordolo sono di forma rettangolare così da garantire la più ampia superficie di contatto; la loro altezza è equivalente allo spessore del modulo drenante utilizzato (in genere da 2,5 cm per il verde pensile estensivo e 6 cm per i giardini pensili intensivi).

In questo modo tutta la superficie della terrazza può scaricare correttamente l'acqua piovana e l'acqua gravitazionale ceduta dal substrato dopo l'irrigazione.

Il corretto movimento dell'acqua sulla superficie deve essere verificato dopo la costruzione dei cordoli di contenimento e la

posa in opera della guaina antiradice, prima dell'inserimento della tecnologia.

Nel caso di ristagno d'acqua o problema di altra natura questi vanno risolti prima di procedere con i lavori.

Una buona progettazione deve prevedere una serie di valutazioni che vanno ben oltre la semplice ricerca del risultato estetico o lo sviluppo della tecnologia costruttiva, come ad esempio:

- individuare il tipo di pianta che più si presta all'inserimento nel giardino pensile;
- verificare la tenuta della guaina antiradice;
- tenere sotto controllo il peso caricato sulla struttura (la sua corretta determinazione è data dalla somma dei pesi a massima saturazione idrica di tutti gli elementi che la compongono).

Oggi le nuove tecnologie e l'utilizzo di sistemi compatti e modulari per la realizzazione dello strato drenante, aggiunte allo sviluppo di substrati sempre più leggeri, hanno ridotto sensibilmente il peso delle realizzazioni.

Progettando con accuratezza e sfruttando bene le differenti altezze del substrato si può realizzare un giardino pensile intensivo su

terrazze che certificano un sovraccarico che va dai 250-300 kg/m² in su.

Ogni progetto paesaggistico deve contenere almeno i seguenti elaborati:

- planimetria paesaggistica;
- alcune viste prospettiche delle zone più rappresentative;
- specifica, dimensionamento e quantificazione delle piante che si intendono inserire;
- planimetria tecnica contenente l'esatta ubicazione dei pozzetti di controllo degli scarichi, dell'impianto di irrigazione e di illuminazione paesaggistica;
- sezioni relative alla stratificazione del giardino pensile;
- specifica dei materiali utilizzati per lo sviluppo della tecnologia;
- verifica del peso complessivo della stratificazione;
- specifiche relative all'impianto di irrigazione utilizzato;
- predisposizione dei punti luce ed individuazione dei corpi illuminanti relativi all'illuminazione paesaggistica;
- computo dei costi.

5.1.2. Quantificazione e scelta del materiale e dimensionamento delle piante

In lavori come il giardino pensile, dove esiste una tecnologia di supporto all'inserimento delle piante, la quantificazione del materiale deve essere sempre molto accurata, per poter assicurare un corretto calcolo del costo complessivo dell'opera.

In particolare, occorre sviluppare il calcolo esatto dei metri lineari di cordoli da realizzare, la guaina antiradice da mettere in opera considerando il totale della superficie a verde più il rivestimento del cordolo interno per tutta la sua altezza, il numero dei pannelli da assemblare per comporre il sistema drenante con inclusi i mc di argilla espansa necessari per tamponarlo, i m² di tessuto non tessuto utili a coprire lo strato filtrante ed i mc complessivi di terriccio alleggerito, tenendo conto del fattore di compattamento dello stesso.

Devono, inoltre, essere quantificati tutti gli elementi architettonici e strutturali inseriti nel progetto paesaggistico (camminamenti, gazebo o altri sistemi di copertura, eventuali cucine esterne o zone barbecue ecc.), allo scopo di avere un quadro esatto sotto il profilo economico ed organizzativo.

Si deve, inoltre, avere un'idea attendibile di quanto materiale va portato in quota, poiché questo determina la scelta dei mezzi meccanici più idonei ad affrontare il lavoro di movimentazione.

In merito all'individuazione e alla quantificazione delle specie vegetali da inserire, occorre fare riferimento al progetto



Figura 5.4 - Giardino pensile residenziale. Siepatura perimetrale.

La siepatura perimetrale differenziata si integra perfettamente, attraverso il differente portamento delle specie utilizzate, alla superficie orizzontale del giardino.

Questo tipo di siepatura riduce la manutenzione complessiva dell'area a verde agevolando, nel caso fosse presente, lo sfalcio del prato, e mantenendo una propria, elevata compattezza.

Trattandosi di una siepe composta da più specie vegetali, inoltre, si riduce il rischio di attacco dei patogeni (specifici di alcune piante) aumentando, così, la biodiversità.

Le piante necessarie per la sua realizzazione sono:

- *cespugli a grande portamento* (con altezze che possono superare i due metri, se non contenute);
- *cespugli a medio portamento* (con sviluppo in altezza di max 1.50-1.60 mt);
- *piante tappezzanti* (specie arbustive o erbacee perenni e dal portamento strisciante).

Con il termine dimensionamento delle specie vegetali si intende la scelta delle dimensioni che la pianta deve avere al momento dell'inserimento.

Si deve fare anche riferimento alle dimensioni del vaso di coltivazione fornito dalle aziende vivaistiche.

Per trovare, inoltre, le dimensioni adeguate occorre mettere in equilibrio velocità di crescita della specie e costo della stessa (ovviamente, più grande è la pianta, più è alto il suo costo).

Si preferisce sempre, nei giardini pensili, operare con cespugli in vaso 18/22 in base al franco di coltivazione inserito nella

stratificazione; nei cespugli a grande portamento è adeguato uno spessore del terriccio pari ad almeno 40 cm (misura che può facilmente essere ottenuta con un leggero movimento del profilo del terreno).

I cespugli a medio portamento possono svilupparsi in uno spessore di 30 cm, le piante tappezzanti si adattano a spessori anche di 15/20 cm, gli stessi idonei anche allo sviluppo del prato.

Lo spessore del terriccio può, quindi, variare in base alla progettazione paesaggistica. L'utilizzo di piccoli movimenti del profilo del substrato può rappresentare una risorsa sotto il profilo estetico (che spesso si traduce in un risparmio economico, dovuto ad un minor utilizzo di terriccio).

Anche sotto il profilo della distribuzione dei carichi, un giardino di questo tipo può alloggiare alcune specie di alberi in corrispondenza delle travi, con relativo maggior spessore del substrato e piante tappezzanti e prato nelle parti centrali del solaio, che vivono agevolmente in spessori minimi di franco di coltivazione. Quando si mettono a dimora le piante all'interno di un giardino pensile è buona norma inserire quanto meno terreno vegetale possibile, essendo questo significativamente più pesante del terriccio alleggerito. Una parte di terreno viene inevitabilmente introdotta, in quanto adesa all'apparato radicale delle piante (come

nel caso dei cespugli). Alberi e cespugli a grande portamento possono essere “scaricati” dalla terra di coltivo in eccesso, riducendo così il peso complessivo. Cespugli e alberi allevati in contenitori più bassi che larghi, contenenti terricci alleggeriti, sono perfettamente idonei allo scopo. L’inserimento della pianta all’interno del giardino risulta, inoltre, più agevole, semplificando il trasporto in quota. In merito agli alberi, la loro ubicazione nel giardino, come già detto, deve essere in prossimità delle travi o dei pilastri che compongono la struttura del solaio. In particolare, è buona norma scegliere alberi a medio e piccolo portamento che hanno uno sviluppo complessivo più contenuto ed un peso inferiore. Alberi a grande portamento con crescita lenta possono essere inseriti in giardini pensili di grandi dimensioni, se il sovraccarico del solaio lo consente, mantenendo un portamento controllato attraverso le operazioni di manutenzione ordinaria. Lo stesso discorso vale per alcune specie di palme che ben si prestano all’inserimento nei giardini pensili mediterranei; in questo caso, devo essere scelti specie di palmizi che presentano dimensioni a massima crescita più contenute ed uno sviluppo complessivo limitato.

5.1.3. Specie vegetali che possono essere inserite in un giardino pensile intensivo

Le piante utilizzate che possono essere utilizzate nel giardino pensile intensivo si possono trovare regolarmente installate anche nei giardini ornamentali “tradizionali”. Le categorie di piante più comunemente utilizzate nei giardini pensili intensivi sono le seguenti:

- *cespugli a grande portamento;*
- *cespugli a medio portamento;*
- *piante tappezzanti;*
- *alberi a grande portamento;*
- *alberi a medio portamento;*
- *alberi a piccolo portamento;*
- *palme e palm like;*
- *piante grasse e succulente;*
- *piante rampicanti;*
- *specie prative.*

Nei paragrafi che seguono sono riportate le piante più comunemente utilizzate nei giardini pensili intensivi suddivise per categoria.

5.1.3.1. Cespugli a grande portamento

I cespugli a grande portamento sono quelli che vengono collocati in prossimità della siepatura perimetrale differenziate in grado di isolare visivamente il giardino e smorzare i venti dominanti che, nei giardini pensili posti alle quote più alte, possono incidere negativamente sullo sviluppo delle specie più fragili e delicate. Queste piante sono generalmente arbusti o anche alberi che vengono impostati a livello vivaistico come cespugli da siepe. L'istallazione della siepe, come abbiamo già accennato, è prevalentemente perimetrale in corrispondenza delle travi, consentendo di aumentare la stratificazione del terriccio allo scopo di garantire un miglior sviluppo e un sicuro ancoraggio delle piante. Le piante scelte in vivaio dovranno essere giovani, in ottimo stato fitosanitario ed allevate in un vaso di coltivo di massimo 22 cm. Le specie più utilizzate sono:

➤ *Arbutus unedo*

Il corbezzolo è un arbusto che può raggiungere grandi dimensioni, per cui il suo sviluppo va contenuto con opportune potature. Risulta essere molto apprezzato nei giardini grazie al fogliame brillante, ai fiori a campanula e ai frutti (bacche) di forma sferica. È una pianta in cui fioritura e fruttificazione a diversi stadi di sviluppo possono trovarsi presenti nello stesso momento.



Arbutus unedo

➤ *Bambù*

Esistono diverse specie di bambù adatte all'inserimento nei giardini pensili come cespuglio a grande portamento. Quelle più indicate sono: *Semiarundinaria fastuosa*, *Phyllostachys aurea*, *Phyllostachys flexuosa* e *Pseudosasa japonica*.

Il bambù è, per certi versi, ritenuto un po' troppo invadente per poter essere inserito in un giardino pensile, ma se la pianta è opportunamente servita da un'ala gocciolante per soddisfare le sue esigenze idriche può comporre una siepe molto compatta



Bambù

➤ *Buddleja*

Nel genere delle *Buddleja* si spazia tra specie a foglia caduca (come la *davidii* e la *alternifolia*), e specie sempreverdi (come la *globosa*). Esistono, inoltre, molte varietà ottenute dagli ibridatori con fioriture appariscenti.

La sua capacità attrattiva nei confronti di insetti impollinatori e farfalle, quando è in piena fioritura, è dovuta al profumo prodotto dalle sue infiorescenze, che hanno una fragranza di vaniglia e miele.

Ama l'esposizione a pieno sole, ma accetta anche la mezzombra; in questo caso, però, non fiorisce copiosamente.



Buddleja

➤ *Callistemon citrinus*

Il *Callistemon citrinus* è una pianta che può raggiungere 2.00-3.00 mt di altezza.

I suoi rami sono ricoperti da una leggera peluria e le foglie sono di colore verde-grigiastro ed abbastanza spesse.

I fiori, molto appariscenti, sono riuniti nella classica infiorescenza (scopettino o scovolina) di colore rosso vivo o bianco crema, a seconda della varietà.



Callistemon citrinus

➤ *Crataegus monogyna*

Il Biancospino è una specie arbustiva cespugliosa alta tra 2.00 e i 5.00 mt; il suo fusto è sinuoso e ramificato, a partire dalla base, con corteccia grigio chiara negli individui giovani e bruno-rossastra negli individui più vecchi. La foglia è caduca e i fiori, di colore bianco con sfumature rosee, sono riuniti in infiorescenze a corimbo, semplici o composte. I frutti sono rossi a maturità, di forma ovoidale e vengono identificati come falsi frutti (drupe).



Crataegus monogyna

➤ *Dodonaea viscosa* “Purpurea”

Sono arbusti sempreverdi che durante l’inverno assumono una colorazione viola rossastra. Gli esemplari adulti sono di taglia media e raggiungono i 3 m di altezza, con sviluppo eretto. È una pianta dal grande valore ornamentale e produce, dopo la fioritura, caratteristici baccelli disposti in grappoli.



Dodonaea viscosa “Purpurea”

➤ *Eugenia myrtifolia*

Pianta arbustiva sempreverde dalla chioma densa e arrotondata e dalla forma ben accestita alla base e

ramificata. Può raggiungere i 5.00 mt di altezza, ed è molto usata per comporre la siepatura perimetrale. Le foglie sono ovali e coriacee, molto simili a quelle del mirto, di colore verde intenso che virano al rosso biancastro in autunno. In tarda primavera ed estate produce dei fiori riuniti in pannocchie all'apice dei rami, con boccioli di colore viola intenso.

I piccoli frutti sono violacei ed hanno una polpa acidula.



Eugenia myrtifolia

➤ *Feijoa sellowiana*

La *Feijoa sellowiana*, detta anche *Acca sellowiana* è un arbusto sempreverde, a crescita lenta, che può arrivare a 4.00-6.00 mt di altezza. Le foglie sono lucide e spesse, di colore verde scuro, i fiori sono raccolti in gruppi numerosi di colore bianco rosaceo. I frutti sono commestibili e hanno una scorza verde con polpa bianca giallastra, gelatinosa.



Feijoa sellowiana

➤ *Laurus nobilis*

L'Alloro è una pianta aromatica sempreverde diffusa in tutta l'area mediterranea, può raggiungere altezze rilevanti anche se, utilizzata come siepe perimetrale, non supera i 4.00-5.00 mt.

Le sue foglie di colore verde scuro sono molto aromatiche e i fiori femminili e quelli maschili sono portati da piante diverse. È una pianta molto comune nella realizzazione delle siepi perimetrali dei giardini pensili.



Laurus nobilis

➤ *Ligustrum*

Arbusto dal portamento eretto e denso, deciduo, alto fino a 5.00 mt (che nei climi più miti può mantenere le foglie anche d'inverno). Le foglie, lanceolate, sono di colore verde o variegata a seconda della varietà; produce delle bacche nere grandi come un pisello. È una pianta molto utilizzata nella costruzione dei parchi e dei giardini e viene spesso inserita all'interno del verde pensile intensivo.

Le specie più diffuse sono il *Ligustrum japonicum* ed il *Ligustrum lucidum* "Excelsum Superbum".



Ligustrum

➤ *Phillyrea angustifolia*

La *Phillyrea angustifolia* è una pianta legnosa, sempreverde, con portamento cespuglioso che può raggiungere l'altezza di 2.00-4.00 mt. Ha foglie coriacee, di

colore verde, che compongono una chioma compatta; i fiori, bianchi e molto profumati, danno vita in autunno a delle drupe carnose, nere a maturazione, vagamente simili alle olive, ma più piccole e riunite in grappoli.



Phillyrea angustifolia

➤ *Photinia x fraseri* “Red Robin”

Splendido arbusto sempreverde, che può raggiungere i 3.00-4.00 mt di altezza; si tratta di un ibrido ottenuto dalla *Photinia glabra* e dalla *Photinia serrulata*. È una pianta molto frondosa, dai fusti sottili e ben ramificati, le cui foglie, ovali o lanceolate, quando germogliano presentano un intenso colore rosso. Anche durante l'autunno e l'inverno, alcune foglie possono assumere una colorazione aranciata.

Produce in primavera numerosi fiori bianchi, riuniti in corimbi e delicatamente profumati; in estate si veste con delle piccole bacche rossastre.



Photinia x fraseri "Red Robin"

➤ *Viburnum lucidum*

Il *Viburnum lucidum* è una pianta da siepe largamente impiegata per schermare i giardini, può raggiungere un'altezza di 5.00 mt e le foglie sono di colore verde, lucide e dalla forma allungata.



Viburnum lucidum

5.1.3.2. Cespugli a medio portamento

Per cespugli a medio portamento si intende una grande varietà di piante perenni, erbacee o arbustive, che si sviluppano sino ad un'altezza media che varia da 0.30 a 1.50 mt circa. Queste piante sono ideali per la copertura della parte basale dei cespugli a grande portamento. Si utilizzano anche nelle composizioni paesaggistiche accompagnate da pietre decorative e generalmente esse, insieme alle tappezzanti, restituiscono i cromatismi al giardino attraverso la fioritura o il colore delle foglie.

Le specie più comunemente usate nel giardino pensile sono:

➤ *Abelia*

Arbusti generalmente sempreverdi e dalla fioritura prolungata. Tra le varietà più diffuse nei giardini segnaliamo l'*Abelia chinensis*, *Abelia* "Edward Goucher" e *Abelia x grandiflora*.



Abelia

➤ *Aromatiche*

Utilizzate principalmente per insaporire i cibi, le piante aromatiche sono fondamentali per il completamento ornamentale del giardino pensile, regalando aromi e fragranze che possono valorizzare l'installazione paesaggistica. Il loro portamento ed il loro sviluppo si sposa bene con le proporzioni vegetali del giardino pensile. Le specie più diffuse e utilizzate sono:

- *Nepeta cataria*

Sono piante perenni a crescita lenta, che raggiungono un'altezza che varia dai 30 ai 90 cm, con foglie di colore grigio-verde e fioritura estiva.

- *Helichrysum italicum*

Pianta suffruticosa sempreverde che raggiunge i 60 cm di altezza, con foglie estremamente aromatiche.

In estate produce dei corimbi color giallo senape.

- *Hyssopus officinalis*

Pianta semi-sempreverde di 60-80 cm d'altezza con foglie strette, lanceolate di colore verde salvia.

In estate si veste con delle spighe di colore viola.

- ***Lavandula spp***

Cespuglio sempreverde dalle foglie lineari grigio verde e molto aromatiche, produce in estate fiori blu-violetto, rosa o bianchi a seconda della varietà utilizzata.

La sua altezza varia dai 30 agli 80 cm.

- ***Melissa officinalis***

Pianta perenne dall'aspetto compatto ed altezza pari a 60-90 cm, con foglie piccole dal forte aroma di limone e fioritura estiva.

- ***Origanum majorana***

Pianta perenne che può raggiungere i 25-50 cm di altezza, le foglie sono piccole e generalmente di colore verde grigio.

Fiorisce in estate spighe di colore bianco o lilla.

- ***Origanum vulgare***

Arbusto alto dai 30 ai 60 cm, foglie ovali di colore verde scuro e pannocchie apicali contenenti fiori bianchi o rosati.

- ***Rosmarinus officinalis***

Arbusto perenne, sempreverde e con fusto legnoso dotato di foglie sottili, aghiformi, di colore verde

lucido nella pagina superiore e argento nella pagina inferiore.

Ne esistono anche varietà tappezzanti, i fiori compaiono in primavera e sono di colore azzurroviola, bianchi o rosati a seconda della varietà.

- ***Salvia officinalis***

Pianta suffruticosa sempreverde che raggiunge l'altezza di circa 1.00 mt.

Le sue foglie sono ovali, pubescenti ed aromatiche, di colore che varia dal verde al glauco in base alla varietà utilizzata.

I fiori appaiono in primavera e variano dal bianco, rosa, rosso, blu o viola.

Ne esistono varietà da fiore molto decorative e ricercate.

- ***Artemisia dracunculus***

Pianta perenne semi-rustica che raggiunge l'altezza di 60-90 cm, con foglie di color verde oliva e fiori bianco verdastri a fine estate.

- ***Thymus spp***

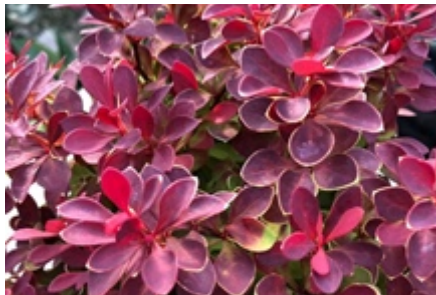
Piccola pianta sempreverde a portamento tappezzante o eretto in base alla varietà, raggiunge dimensioni massime pari a 25-30 cm e ha foglie e fiori (sulla pianta in estate) di diversi colori.



Aromatiche i.v.

➤ *Berberis*

Arbusto prevalentemente utilizzato per le bordure; ne esistono diverse specie e varietà dalle foglie rosso porpora (*Berberis thunbergii* “*atropurpurea*”). Produce una fioritura gialla ed ha un'altezza che varia da 40 cm ad oltre 1.50 mt.



Berberis

➤ *Carissa*

Arbusto sempreverde con foglie verde lucido, fiori bianchi profumatissimi e frutto commestibile. Ne esiste una specie che raggiunge altezze pari a 2.00 mt (*Carissa macrocarpa*) ed un'altra dal portamento prostrato che non supera il metro (*Carissa macrocarpa* "prostrata").



Carissa

➤ *Ceanothus*

Si utilizzano le specie di altezza pari a 1.00-1.50 mt per allestire la contro bordura della siepatura perimetrale; hanno foglie verde scuro e fioritura blu azzurra di varie tonalità.



Ceanothus

➤ *Cuphea*

Arbusti estremamente fioriferi che temono fortemente il gelo. Si sviluppano, in base alla varietà, un'altezza che va dai 30 ai 70 cm.



Cuphea

➤ *Erica*

Pianta utilizzata nelle bordure o in composizione nei giardini rocciosi.

Ne esistono diverse varietà, quelle più compatte possono essere installate nel giardino pensile.

Andranno attenzionate quelle che raggiungono un'altezza complessiva che varia da 70 cm a 1.50 mt.



Erica

➤ *Escallonia*

Arbusti con abbondante fioritura estiva e fogliame verde lucido, in alcune varietà tendente al giallo intenso.

Sono ideali nelle esposizioni costiere in quanto resistono bene alla salsedine; andranno selezionate le specie più compatte, con altezze comprese tra 1.00 e 1.50 mt.



Escallonia

➤ *Euonymus*

Esistono specie a foglia caduca e specie sempreverde. Le seconde sono indicate quando si vuole inserire colore all'interno del giardino in virtù delle loro foglie molto decorative e variegata (dal bianco al giallo intenso e brillante). L'*Euonymus fortunei* è quella più compatta, quasi tappezzante, con la sua altezza di 40 cm.



Euonymus

➤ *Euryops*

Sono degli arbusti che producono quasi tutto l'anno, in climi miti, un'abbondante fioritura composta da margherite gialle. Raggiungono l'altezza di 1.50 mt e sono utili in contro bordura o nelle composizioni vegetali.



Euryops

➤ *Fuchsia*

Pianta con fiori particolarmente colorati e foglie variegata (in alcune varietà), si presta a molteplici usi e resiste bene alla salsedine.

Ne esistono tipi compatti, con altezza massima pari a 15-20 cm, ed altri che possono anche raggiungere e superare i due metri.



Fuchsia

➤ *Gaura*

Pianta dal portamento elegante e fioritura lunga ed abbondante, tollera bene sia il caldo che il freddo intenso. Non supera l'altezza di 1.50 mt.



Gaura

➤ *Grevillea*

È un genere che comprende diverse specie e varietà, dall'albero di grandi dimensioni (*Grevillea robusta*) non adatto all'inserimento nei giardini pensili, al cespuglio a grande portamento (*Grevillea longifolia*), a medio portamento (*Grevillea juniperina*), alle piante tappezzanti (*Grevillea lanigera* "Mount Tamboritha"). Nell'inserimento all'interno del giardino pensile sono più indicate le varietà con altezze non superiore ai due metri. Pianta sempreverde, possiede un'interessante fioritura.



Grevillea

➤ *Hebe*

Detta anche Veronica, comprende piante estremamente diverse tra loro, ma tutte con foglie molto ornamentali e fioritura (spighe) appariscenti, che vanno da vari toni di bianco al rosso porpora.

Orientarsi su specie e varietà che non superino l'altezza di 1.50 mt.



Hebe

➤ *Hypericum*

Arbusto molto decorativo utilizzato sia come tappezzante (30 cm max di altezza) che come pianta da contro bordura (specie alte sino a 1.50 mt). Le foglie verde scuro o variegata, con fiori gialli molto decorativi.



Hypericum

➤ *Leptospermum*

Pianta ornamentale che produce un'abbondante fioritura che sovrasta le piccole foglie.

Ne esistono diverse varietà, per fioritura e colore delle foglie e si adatta bene alle zone costiere.

Conviene orientarsi verso le varietà nane o a portamento compatto con altezze non superiori a 1.50 mt.



Leptospermum

➤ *Myrtus*

Utilizzato nei giardini per la bellezza del fogliame, i fiori e le bacche decorative; alcune specie sono molto aromatiche. Scegliere per il pensile le varietà compatte o nane che non superino 1.60 di altezza.



Myrtus

➤ *Nandina*

Arbusto sempreverde molto elegante e decorativo, le foglie virano al rosso nella nuova vegetazione e durante i mesi invernali. La *Nandina domestica* si adatta bene all'ombra per cui è indicata come contro bordura nelle zone del giardino pensile meno soleggiate.

Produce un'interessante fioritura a pannocchia e dei grappoli di bacche rosse molto decorative e persistenti.



Nandina

➤ *Pelargonium*

I Gerani sono piante molto adattabili ed estremamente comuni. Alcuni tipi di *Pelargonium* sono aromatici (Odorosi), con fragranze molto intense e particolari, non superano i 70 cm di altezza.



Pelargonium

➤ *Pittosporum*

Pianta arborea ed arbustiva tipica del giardino mediterraneo, nel pensile occorre orientarsi verso le specie nane con foglia verde o variegata (*Pittosporum tobira* “*Nanum*”, *Pittosporum tenuifolium*).



Pittosporum

➤ *Rhaphiolepis*

Pianta con una fioritura abbondante e prolungata, foglie verde lucido e portamento sferico nelle varietà più compatte (*Rhaphiolepis umbellata*). Sviluppa un'altezza pari a 1,20-1.50 mt ed è molto usata nelle bordure e in composizione.



Rhaphiolepis

➤ *Russelia*

Arbusto con portamento ricadente dal fogliame molto sottile e fioritura colorata e abbondante; non supera il metro di altezza e si adatta bene anche in basse stratificazioni.



Russelia

➤ *Westringia*

Arbusto dal fogliame glauco e fioritura estiva vivace e colorata, ha un portamento compatto e sferico, ideale per la controsiepatura perimetrale. Non supera 1.50 mt di altezza e resiste bene alla salsedine.



Westringia

5.1.3.3. Piante tappezzanti

Le piante tappezzanti sono specie vegetali prevalentemente erbacee (ma anche arbustive) dal portamento prostrato, che non superano, in genere, i 20-25 cm di altezza. Hanno un'elevata velocità di crescita e una buona capacità coprente.

Molto decorative, alcune varietà sono provviste di foglie molto ornamentali, verdi o variegata, e tutte possiedono fioriture abbondanti. Si utilizzano prevalentemente nella siepatura perimetrale differenziata, nei margini delle composizioni vegetali e nei giardini rocciosi. Possono essere utilizzate come specie principali nel verde pensile estensivo. Vivono bene anche in bassi spessori di substrato (dai 12 ai 15 cm) e questo consente al progettista una facile collocazione in qualunque parte del giardino. Queste piante rappresentano la “linea di confine” tra i volumi vegetali (siepi, cespugli, composizioni) e il prato. Molti dei cespugli a medio portamento precedentemente descritti prevedono delle varietà nane o striscianti che ben si prestano alla funzione richiesta in questa categoria di piante. Altre specie molto utilizzate sono:

➤ *Alternanthera “Red Carpet”*

Pianta perenne sempreverde con foglie variegata rosse e portamento compatto, raggiunge un'altezza massima di 25

cm allargandosi sul substrato anno dopo anno sino ad occupare uno spazio equivalente alla sua altezza.



Alternanthera "Red Carpet"

➤ *Lotus*

Piccolo arbusto con abbondante fioritura estiva molto appariscente e fogliame argenteo. Resiste bene alle carenze idriche e non supera i 35 cm di altezza, per cui si presta bene anche come pianta tappezzante.



Lotus

➤ *Aptenia cordifolia*

Tappezzante succulenta molto diffusa in tutta l'area mediterranea, con sottili fusti prostrati e carnosì che

portano numerose foglioline spesse e turgide, a forma di cuore allungato e dal colore verde brillante. Esistono anche cultivar e ibridi con foglie variegata di giallo o di bianco. Dalla primavera inoltrata fino all'estate, questa pianta produce numerosissimi piccoli fiori a forma di margherita, di colore bianco, rosa, viola o rosso, a seconda della varietà.



Aptenia cordifolia

➤ *Arctostaphylos uva-ursi*

Questa pianta tappezzante produce lunghi fusti prostrati, dai quali si ramificano anche dei fusti eretti, alti 15-20 cm, a sviluppo lento ma denso e compatto. Le foglie sono alterne, di colore verde scuro, durante la stagione fredda possono diventare di colore rossastro o bronzo.



Arctostaphylos uva-ursi

➤ *Convolvulus sabatium*

Erbacea rizomatosa perenne e sempreverde alta dai 15 ai 25 cm, con fusti prostrati e leggermente tomentosi che raggiungono il metro di lunghezza e fogliame che compone un cuscino verde intenso, compatto e molto coprente. I fiori di colore viola sono presenti sulla pianta da aprile ad ottobre.



Convolvulus sabatium

➤ *Dimorphotheca pluvialis*

Conosciuta anche come *Osteospermum* è una pianta che forma densi cespi di foglie lanceolate, verde chiaro, spesse e cerose, da cui si ergono numerosissimi fusti su cui sbocciano fiori simili a margherite, di colore rosa, bianco, giallo, rosso o viola. Raggiunge i 25-30 cm di altezza, creando di anno in anno, un'importante macchia di colore nel giardino.



Dimorphotheca pluvialis

➤ *Gazania uniflora*

Specie erbacea perenne con foglie lucide, di colore verde scuro o argento in base alla varietà. Dalla primavera inoltrata fino ai primi freddi produce numerosi fusti carnosi, alti 15-30 cm, con grandi fiori singoli simili a margherite, di colore bianco, crema, giallo, rosso o rosa intenso.



Gazania uniflora

➤ *Lantana montevidensis*

Questa Lantana ha dimensioni molto contenute e fusti prostrati molto coprenti; è caratterizzata da fiori di colore bianco o lilla, presenti sulla pianta a partire dal mese di aprile.



Lantana montevidensis

➤ *Lithodora spp*

Si tratta di piccole piante sempreverdi, alti in genere non più di 35 cm. La specie più diffusa è la *Lithodora rosmarinifolia* che è caratterizzata da foglie lineari, leggermente coriaceo, di colore verde scuro e fiori tubolari, presenti sulla pianta a primavera inoltrata, di colore bianco o blu cielo.



Lithodora spp

➤ *Mesembryanthemum spp*

In passato comprendeva circa 1000 specie di piante succulente, poi è stato suddiviso in altri generi, tra cui *Aptenia*, *Carpocrotus*, *Conophytum*, *Disphyma*, *Delosperma*, *Dorotheanthus*, *Drosanthemum*, *Erepsia*, *Lampranthus*. Tutte le specie appartenenti a *Mesembryanthemum* hanno un'altezza che varia da 8 a 30 cm con portamento più o meno strisciante. Presentano fiori a capolino, simili alle margherite, variamente colorati, che sbocciano solo in pieno sole.



Mesembryanthemum spp

➤ *Potentilla verna*

Piccola pianta di altezza pari a 5-15 cm, con fusto consistente, ramificato e capace di formare una sorta di tappeto. Foglie di colore verde su entrambe le pagine, leggermente tomentose, e fiori gialli, presenti sulla pianta da marzo a luglio.



Potentilla verna

➤ *Saponaria ocymoides*

Pianta perenne e sempreverde, sviluppa piccoli cuscini striscianti che tendono ad allargarsi con fusti ramificati, prostrati, lunghi 10-30 cm. Le foglie, di colore verde scuro, in primavera vengono quasi nascoste dai numerosissimi fiori, di colore rosa intenso, che sbocciano in grappoli. La pianta continua la fioritura fino ai primi freddi.



Saponaria ocymoides

➤ *Verbena spp*

Il genere *Verbena* conta decine di specie perenni, molto diffuse in vivaio dove si allevano in genere varietà ibride. Hanno fogliame di dimensioni minute, rugoso e leggermente coriaceo, che sviluppa lunghi e sottili fusti erbacei che tendono a divenire tappezzanti e ricadenti. Le Verbene hanno una fioritura molto prolungata (dalla primavera all'inizio dell'autunno nei climi miti) e sono di rapido sviluppo, permettendo di ottenere in breve tempo un vero e proprio letto di fiori con colori molto vivaci, nei toni del viola, del blu, del rosa e del rosso.



Verbena spp

5.1.3.4. Alberi a grande portamento

Gli alberi a grande portamento sono, insieme alle palme, le strutture vegetali più grandi che possono essere inserite nei giardini pensili intensivi. Devono essere installate nei punti di forza del solaio, nello specifico vengono poste in corrispondenza dei pilastri sottostanti o delle travi. La scelta di queste piante deve essere molto accurata e vanno escluse tutte quelle specie con masse imponenti e dallo sviluppo veloce in quanto scaricano un peso troppo elevato sulla struttura.

La progettazione paesaggistica deve, quindi, stabilire il numero ed il tipo di alberi da inserire per mantenere in equilibrio l'intero giardino, valutando accuratamente le proporzioni che queste piante raggiungeranno.

Utilizzando i cambi di livello del suolo all'interno del giardino e scegliendo piante coltivate in vivaio all'interno di mastelli con altezze contenute, si possono installare alberi a grande portamento all'interno di spessori che variano dai 40 ai 70 cm di terriccio alleggerito.

Non sono molti gli alberi a grande portamento che possono essere inseriti nel giardino pensile senza rischi per la struttura; di seguito vengono elencati i più comunemente utilizzati.

➤ *Olea europea*

Pianta sempreverde presente in tutti i giardini mediterranei; la sua diffusione ha portato i vivai ad attrezzarsi con un'ampia varietà di piante, anche esemplari.

Nei giardini pensili non si può prevedere l'inserimento di esemplari secolari, ma si mira all'utilizzo di piante con tronchi caratterizzati e chiome contenute, spesso modellate con rigorose potature.

Questi ulivi, del tutto simili a grandi Bonsai, vengono estirpati dal suolo con zolle esigue e sviluppano il nuovo apparato radicale attraverso particolari strutture presenti al colletto della pianta (*ovuli radicali*).

La lentezza nello sviluppo e la poca incidenza della chioma sul giardino permette un inserimento sicuro, dopo aver valutato preventivamente il peso dell'esemplare e la tenuta del solaio. Possono anche essere inseriti esemplari giovani, con tronchi appena caratterizzati, che verranno nel tempo mantenuti compatti con regolari potature.



Olea europea

➤ *Quercus suber*

Bellissima quercia sempreverde con tronchi molto caratteristici e chioma espansa. Le foglie sono verdi e coriacee, tomentose nella pagina inferiore, generalmente di dimensioni ridotte negli ambienti secchi, più grandi in quelli freschi. I fiori sono unisessuali portati separatamente sulla pianta; il frutto è una ghianda ovale di colore verde quando è immatura, bruna a maturità. Possiede uno sviluppo molto lento che può essere ulteriormente contenuto con potature periodiche e costanti. Il suo inserimento deve essere accurato e sempre nei punti di forza del solaio.



Quercus suber

➤ *Quercus ilex*

Specie sicuramente più adeguata, rispetto alla precedente, per l'installazione all'interno del giardino pensile. È una pianta mediterranea molto antica, le cui ghiande, dolci e commestibili, erano apprezzate fin dai tempi più remoti. Possiede un tronco diritto e robusto con corteccia rugosa grigio-brunastra. I fiori maschili sono disposti in glomeruli che formano amenti, quelli femminili si trovano sui rami soli o in gruppi di 2-3. Molto decorativa e dal lento sviluppo, è diffusa nei vivai e coltivata anche per la formazione di cespugli a grande portamento.



Quercus ilex

5.1.3.5. Alberi a medio portamento

Gli alberi a medio portamento, detti anche alberi di seconda misura, sono piante di dimensioni più compatte che si prestano meglio all'inserimento nel pensile intensivo. Possono essere prese in considerazione anche specie con valenze decorative e di commestibilità (piante da frutto). Gli alberi a medio portamento possono vivere, all'interno del giardino pensile, in un franco di coltivazione che varia dai 40 ai 60 cm e si installano seguendo le stesse procedure e con la stessa attenzione riservata agli alberi a grande portamento.

➤ *Acacia spp*

Le specie più utilizzate nel giardino pensile intensivo sono: l'*Acacia baileyana*, che supera i 5 mt di altezza, l'*Acacia decora*, con un'altezza pari a 2-5 mt, e l'*Acacia saligna* con i suoi 4-6 mt di altezza.

Le acacie temono l'effetto del vento che le rende suscettibili a rotture dei rami.

Il loro inserimento nel giardino pensile esclude, quindi, le realizzazioni in quota; molto più indicati sono i giardini pensili posti a bassa quota e protetti dai venti.



Acacia spp

➤ *Albizia lophantha*

È la più compatta tra le albizie, con altezza che, attraverso opportune potature di contenimento, deve essere attestata intorno ai 2.00/3.00 mt. Sono piante molto apprezzate per le foglie e la fioritura che avviene a mezza estate sottoforma di delicati piumini che tendono al rosso tenue ed al rosa.



Albizia lophantha

➤ *Cercis siliquastrum*

Chiamata comunemente “Albero di Giuda”, questa è una pianta molto elegante che raggiunge l’altezza massima di circa 4.00-5.00 mt in piena terra; nel giardino pensile occorre tenerla più compatta attraverso potature regolari. È una specie decidua che produce una fioritura, ancor prima dell’emissione delle nuove foglie, di color lilla o bianca (varietà “Alba”).



Cercis siliquastrum

➤ *Citrus spp*

Gli Agrumi sono tra gli alberi più comuni nei giardini pensili intensivi mediterranei. Rientrano nella categoria degli alberi a medio portamento (*Citrus sinensis*, *Citrus limon*, *Citrus reticulata*) ed a piccolo portamento (*Fortunella margarita*). Sono piante sempreverdi caratterizzate da frutti eduli e fioritura molto profumata in primavera. Collocate nel pensile, temono le forti correnti d’aria, per cui è opportuno inserirle in siti riparati.



Citrus spp

➤ *Lagerstroemia spp*

Comprende arbusti, alberi a piccolo portamento con altezza pari a 4.00 mt (*Lagerstroemia archeriana*) ed alberi a medio portamento che non superano i 6.00 mt in pieno campo (*Lagerstroemia indica*). Sono piante molto decorative con la loro corteccia liscia e variegata e la fioritura estiva abbondante, composta da fiori che variano dal bianco al rosso bordeaux. Suggestivi anche i colori autunnali delle foglie.



Lagerstroemia spp

➤ *Malus spp*

Vengono utilizzati prevalentemente meli ornamentali, con fioriture primaverili e coloratissimi frutti autunnali (*Malus* “*Eleyi*”, *Malus* “*Evereste*”). Raggiungono in pieno campo altezze rilevanti ma possono essere mantenuti più compatti con opportune potature.



Malus spp

➤ *Morus alba* “*pendula*”

Varietà di Gelso ornamentale a portamento compatto e contenuto, con rami pendenti molto decorativi anche quando la pianta è priva di foglie. Va contenuta con potature mirate per non ridurre eccessivamente le gemme da fiore.



Morus alba “*pendula*”

➤ *Prunus spp*

Ne esistono oltre 200 specie, arboree e arbustive, originarie delle zone temperate e con fogliame persistente o deciduo, alte fino a 6 mt in piena terra, solitamente con fruttificazione edule e fioriture delicate. Tra le specie ornamentali che possono essere scelte per l'inserimento nel giardino pensile citiamo: *P. serrulata*, il *P. subhirtella*, *P. grayana*, *P. persica*, *P. davidiana*, il *P. armeniaca* o albicocco della Manciuuria, *P. mandshurica*, *P. cerasifera* "*Pissardii*). Ricordiamo anche il *P. campanulata* a fiori penduli, il *P. avium* o ciliegio dai fiori colorati di bianco-rosa, il *P. serrulata*, dai fiori colorati di bianco con screziature rosa, il *P. subhirtella* "*pendula*" a fruttificazione edule e le notissime varietà di piante da frutta come il susino, l'albicocco, il mandorlo, il pesco, il ciliegio, il lauroceraso.



Prunus spp

➤ *Tamarix spp*

Il Tamerice è un albero nativo delle zone costiere per cui indicato nei giardini pensili fronte mare; si tratta di una pianta sempreverde, caratterizzata da foglie sottili e generosa fioritura. Si utilizzano le varietà più compatte, che non superano, cioè, i 4.00/5.00 mt di altezza (*Tamarix parviflora*, *Tamarix ramosissima*, *Tamarix tetandra*).



Tamarix spp

5.1.3.6. Alberi a piccolo portamento

Gli alberi a piccolo portamento sono detti alberi di terza misura, in quanto le ridotte dimensioni rendono il loro inserimento nel giardino pensile agevole e sicuro. Possono prender parte alla formazione in composizioni vegetali ma si possono anche inserire come piante singole.

Qualche albero a piccolo portamento è già stato citato nelle precedenti categorie, in quanto la produzione vivaistica nel caso di alcune specie vegetali coltiva la stessa pianta come cespuglio a grande portamento e come albero dal portamento compatto; di seguito sono elencate le piante a piante a piccolo portamento non citate precedentemente:

➤ *Genista spp*

La Ginestra è un arbusto o piccolo albero con importante fioritura primaverile gialla e molto profumata. Il Genere comprende diverse specie; quelle coltivate ad albero sono prevalentemente la *Genista aetnensis* (che può raggiungere e superare in pieno campo i 4.00/5.00 mt di altezza) e la *Genista "Porlock"* (con altezze pari a 3.00 metri).



Genista spp

➤ *Hibiscus spp*

Arbusti perenni sempreverdi con qualche specie decidua; la loro fioritura è stata molto selezionata dai coltivatori in una serie di colori e forme di fiori (cultivar a fiore doppio o singolo). Vengono coltivati anche ad alberello.



Hibiscus spp

➤ *Ligustrum spp*

Arbusti, o piccoli alberi, sempreverdi, estremamente decorativi, dotati di fiori profumati sui toni del bianco

crema. Possono essere utilizzati come siepe, se coltivati a cespuglio, o impostati ad albero, con un'altezza che, nel pensile, non deve superare i 4.00-5.00 mt. Le specie più utilizzate sono il *Ligustrum japonicum* dalla foglia verde ed il *Ligustrum lucidum* "Excelsum Superbum" con la sua foglia variegata di un giallo chiaro luminoso e brillante.



Ligustrum spp

➤ *Pistacia lentiscus*

Albero o arbusto mediterraneo sempreverde con un fogliame ornamentale e aromatico.



Pistacia lentiscus

➤ *Punica granatum*

Il Melograno è uno degli alberi decidui mediterranei più belli ed interessanti. Può essere a portamento cespuglioso, con molti tronchi dritti e rugosi, poco caratterizzati, oppure ad albero, con tronco importante e molto scultoreo. Produce in primavera-estate dei fiori rosso vivo brillante ai quali seguono, in autunno, dei grossi e particolari frutti eduli. Si presta all'inserimento nel giardino come esemplare isolato o come parte integrante nelle composizioni rocciose.



Punica granatum

5.1.3.7. **Palme e Palm Like**

L'inserimento di palme nel giardino pensile è una pratica molto comune in ambiente mediterraneo, ma non tutte le specie sono adatte, in virtù del rilevante peso che raggiungono nel corso della loro crescita. Le palme non possiedono all'interno della struttura del loro tronco la zona chiamata cambio, adibita alla crescita diametrica del tronco negli alberi. Questa caratteristica si rivela interessante in termini di economia degli ingombri all'interno del giardino pensile, dove queste piante vengono generalmente usate per "verticalizzare il verde". Il loro portamento colonnare tipico, si rivela molto utile quando occorre garantire le fughe prospettiche panoramiche. Tutte le palme vanno comunque inserite nei punti di forza del solaio, esattamente come gli alberi a grande e medio portamento, e possono vivere bene in un franco di coltivazione di 50-60 cm ottenuti con il cambio di livello del substrato.

Le specie che possono essere inserite sono le seguenti:

➤ *Archontophoenix alexandrae*

Comunemente chiamata *Palma reale d'Alexandria*, presenta un tronco che può raggiungere altezze rilevanti, con pesi notevoli. La scelta paesaggistica si rivolge in genere verso piante multi-tronco, aumentando considerevolmente il peso scaricato sul solaio. Vengono generalmente utilizzate in strutture appositamente pensate,

già in fase progettuale, per accogliere il giardino pensile con sovraccarico del solaio per m² predisposto ad accogliere queste piante. È una palma dalla crescita lenta, per cui può essere gestita per molti anni con estrema facilità.



Archontophoenix alexandrae

➤ *Chamaerops humilis*

La *Chamaerops humilis* è una specie tipica della macchia mediterranea. Si presenta come un cespuglio multi-tronco sempreverde che raggiunge normalmente altezze sino a 2.00 mt. È una palma ideale per l'inserimento nei giardini pensili.



Chamaerops humilis

➤ *Phoenix Roebelenii*

Gli esemplari adulti sono di taglia medio piccola e non superano i 2.00-3.00 mt di altezza. Sono, quindi, di facile inserimento nelle composizioni vegetali dei giardini pensili.



Phoenix Roebelenii

➤ *Trachycarpus fortunei*

Detta anche *Palma cinese*, è una specie che presenta un tronco sottile e elegante, ricoperto da una fitta peluria. Si presta bene all'inserimento come pianta singola o in gruppo, con tronchi di diversa altezza tra loro. È molto resistente al freddo.



Trachycarpus fortunei

Al gruppo delle Palm Like appartengono piante di specie diverse; alcune di esse sembrano somigliare alle palme per via del loro portamento, ma non lo sono.

➤ *Cordyline spp*

Sono delle *Agavaceae* per cui appartengono al grande gruppo delle piante succulente. Il loro colore spazia dal

verde, al variegato giallo sino ad arrivare al rosso scuro brillante, si adattano bene alla mezzombra e sono ideali per mantenere il cromatismo del giardino anche nei mesi invernali. Le specie più comuni sono la *Cordyline australis* “*Atropurpurea* e la *Cordyline indivisa*.



Cordyline spp

➤ *Dasyilirion spp*

Pianta molto architettonica anch'essa appartenente alla famiglia delle *Agavaceae*. Ideale in composizioni rocciose e per caratterizzare gli angoli più interessanti del giardino pensile. Ha una crescita lenta e le specie più diffuse sono il *Dasyilirion longissimum*, il *Dasyilirion glaucophyllum* e il *Dasyilirion serratifolium*.



Dasylyrion spp

➤ *Dracaena draco*

Questa pianta succulenta possiede un tronco davvero caratteristico, con foglie glauche molto ornamentali. È una specie che nel tempo può raggiungere dimensioni e pesi considerevoli; se ne sconsiglia, quindi, l'inserimento su strutture non predisposte ad accogliere il verde pensile. Appartiene alla famiglia delle *Dracaenaceae*.



Dracaena draco

➤ *Nolina recurvata*

Pianta molto particolare che, nei climi più freddi, viene spesso utilizzata come pianta da interno. Appartiene alla famiglia delle *Agavaceae* ed ha un colletto del tronco a forma di fiasco, con foglie nastriformi ricurve.



Nolina recurvata

➤ *Phormium spp*

Pianta con lunghe foglie nastriformi che possono avere colori diversi, dal verde al rosso o variegate. Appartiene alla famiglia delle *Hemerocallidaceae* ed è ideale nelle composizioni rocciose, in controsiepatura o come esemplare singolo. Le specie più comuni sono il *Phormium tenax*, il *Phormium* “*Bronze Baby*” e il *Phormium tenax* “*tricolor*”.



Phormium spp

5.1.3.8. Graminacee ornamentali

Le graminacee ornamentali rappresentano, nella paesaggistica dei giardini pensili, una grande risorsa. Escludendo le specie ritenute invasive, come il *Pennisetum setaceum*, tutte le altre possono facilmente ricoprire il ruolo di piante a medio portamento e di piante tappezzanti, in base alla specie utilizzata. Sono molto cromatiche, resistenti alla salinità e agli inquinanti atmosferici e prevedono una manutenzione ridotta. Fanno sempre più sfoggio di sé nei giardini in Europa e oltreoceano.

Le specie più comunemente usate sono le seguenti:

➤ *Muhlenbergia capillaris*

Graminacea a cespo aperto molto rustica e resistente all'asciutto. Il suo cespo è alto 50/60 cm e la spiga lo sovrasta con i suoi 80/100 cm. Gli steli fiorali hanno un caratteristico portamento a ventaglio e un colore rosa molto accattivante; essi permangono per tutto l'inverno sulla pianta. Questa specie resiste molto bene alla siccità.



Muhlenbergia capillaris

➤ *Carex testacea*

Graminacea sempreverde a ciuffo aperto, presenta un fogliame con colorazione bruno-rossiccia. Pianta molto rustica, resistente alla siccità. Il suo cespo raggiunge un'altezza di 30/50 cm.



Carex testacea

➤ *Carex oshimensis evergold*

È una graminacea con portamento a ciuffi folti, di grande valore ornamentale con fogliame variegato. Specie vegetale molto rustica (arriva a sopportare i -20 °C), con fioritura da maggio ad agosto.



Carex oshimensis evergold

➤ *Carex morrowi ice dance*

Graminacea ornamentale vigorosa che forma grossi ciuffi, il fogliame è variegato con sottili strisce bianche longitudinali. Specie molto rustica con cespo alto 20/30 cm.



Carex morrowi ice dance

➤ *Carex divulsa*

Graminacea sempreverde cespitosa, fogliame di colore verde intenso, rustica e resistente al terreno asciutto. Cespo alto 25/35 cm.



Carex divulsa

➤ *Carex comans bronz form*

Sempreverde dal portamento compatto a ciuffi folti e fogliame ornamentale color bronzo. Cespo alto 40/50 cm.



Carex comans bronz form

➤ *Miscanthus sinensis zebrinus*

È una delle graminacee perenni più resistenti e longeve. Per la bellezza dei fitti cespugli che crea, viene utilizzata come pianta ornamentale nel verde pensile estensivo e nei giardini pensili intensivi. I cespi sono formati da foglie lunghe, flessibili e sottili, di colore verde/azzurro con striature alternate bianche o gialle. Fiorisce in estate e autunno, con spighe bianche e bronzo.



Miscanthus sinensis zebrinus

➤ *Ficinia*

Questa graminacea può essere coltivata nei giardini come tappezzante grazie al suo portamento basso e compatto. Le foglie di colore verde scuro sono bordate di bianco, il che rende questa pianta molto decorativa. Predilige substrati alleggeriti con una buona parte di sostanza organica e un'esposizione soleggiata.



Ficinia

➤ *Astelia nervosa*

È una pianta sempreverde adatta al clima mediterraneo. Crea cespi dal color argento metallico ricoperti da una leggera peluria. Può essere posizionata al sole o a mezz'ombra.



Astelia nervosa

➤ *Ophiopogon nigrescens*

Caratteristico di questo piccolo cespuglio sempreverde è il colore nero porpora delle foglie che si presentano con aspetto nastriforme e coriaceo. Non ama la luce diretta del sole, quindi meglio posizionarla all'ombra o al massimo in penombra. Per le sue caratteristiche decorative molto simili al prato, svolge un'ottima azione coprisuolo nei giardini pensili. Raggiunge un'altezza di circa 15 cm.



Ophiopogon nigrescens

➤ *Zoysia tenuifolia*

La *Zoysia tenuifolia* è un prato alternativo che non si sfalcia; esso assume, nel tempo, la caratteristica conformazione a masse sferiche ondulate, molto interessanti da inserire nei giardini pensili. Ha un'alta capacità coprente e di competizione con le specie spontanee. È una graminacea a basso fabbisogno idrico che

restituisce un folto tappeto vegetale, soffice e resistente al calpestio.



Zoysia tenuifolia

➤ *Uncina rubra*

L'uncina Rubra è una graminacea perenne che sviluppa un folto cespuglio di foglie rosse lucide, lunghe fino a 35 cm. Si adatta bene nei giardini pensili con substrato organico.



Uncina rubra

➤ *Festuca glauca* “Elijah Blue”

Sempreverde, con foglie sottili di colore glauco-azzurro e cespi molto densi. La sua altezza è pari a 60 cm, con

tendenza a coprire lo spazio orizzontale a lei destinato. Se si vogliono creare zone con effetto prato, la densità di posa è di 5 piante per m², (anche meno se si utilizzano piante già sviluppate).



Festuca glauca "Elijah Blue

5.1.3.9. Il prato

Il prato ornamentale rappresenta un elemento molto richiesto nelle realizzazioni del verde pensile intensivo. L'intensità della sua colorazione, lo spessore delle foglie e la sua densità dipendono dalle specie vegetali che lo compongono. Il prato ornamentale svolge, all'interno del giardino pensile intensivo, una funzione non soltanto ornamentale, ma nello specifico:

- migliora la sua fruizione;
- copre integralmente il substrato di coltivazione, evitando l'azione erosiva del vento, l'azione battente della pioggia e la crescita delle piante infestanti;
- lega visivamente tutti gli elementi vegetali del giardino, creando un insieme molto naturale e scenografico.

La caratteristica delle specie prative è quella di accestire, una volta tagliate (l'accestimento è la capacità che hanno alcune piante, soprattutto le Graminacee, di produrre nuovi individui dal piede del culmo). Ogni singola pianta che compone il prato assume quindi l'aspetto di un cespito, infittendo sempre di più il manto erboso man mano che questo viene falciato (manutenzione periodica del prato). Il prato, con la sua traspirazione fogliare, svolge un'azione mitigatrice sulla temperatura che si percepisce

quando si fruisce del giardino pensile nei mesi estivi. Le specie prative si distinguono in microterme e macroterme.

➤ **Microterme**

Sono delle piante appartenenti alla famiglia delle *Gramineae* tradizionalmente molto note ed impiegate in climi fresco-umidi. Le temperature ottimali per lo sviluppo di queste specie è di circa 15-24°C, mentre l'apparato radicale predilige temperature del terreno comprese tra i 10 ed i 18°C.

Durante i mesi primaverili ed autunnali si avrà il picco massimo della crescita, per poi notare una certa riduzione dello sviluppo durante i periodi più caldi (oltre i 30°C). Normalmente i periodi invernali vengono ben superati dalle specie microterme, considerate per eccellenza “sempreverdi”, ovvero in grado di mantenere una buona colorazione anche con temperature inferiori agli 0°C.

Le sementi di Graminacee microterme più utilizzate per realizzare il tappeto erboso sono:

- *Agrostis stolonifera*
- *Festuca arundinacea*

- *Festuca rubra* «*commutata*»
- *Festuca rubra* «*rubra*»
- *Lolium perenne*
- *Poa pratensis*

➤ **Macroterme**

Le specie macroterme sono graminacee che, a differenza delle piante precedenti, hanno un picco di crescita nell'intervallo compreso fra i 27° ed i 35°C, per cui sono più indicate nelle zone mediterranee.

Le temperature ideali per il loro accrescimento consentono a questi prati di svilupparsi durante il periodo estivo, quando presentano la necessità di tagli successivi per contenerne lo sviluppo.

In inverno, un meccanismo di sopravvivenza detto “dormienza”, caratterizzato visivamente dalla perdita di clorofilla nei tessuti (le piante diventano gialle e/o marroni), mettono il prato in riposo vegetativo con annullamento dei relativi tagli.

Le Graminacee macroterme più utilizzate per realizzare il tappeto erboso sono:

- *Cynodon dactylon*
- *Paspalum vaginatum*
- *Paspalum notatum*
- *Zoysia japonica*
- *Pennisetum clandestinum*

Un altro tipo di prato molto usato in aree mediterranee è il *Gramignone* (*Stenotaphrum secundatum*), Graminacea che può essere inserita nel giardino pensile per stoloni o sottoforma di prato pronto precoltivato. Il *Gramignone* è una *Poacea* che sopporta benissimo il calpestio e i tagli frequenti, tollera temperature estive elevatissime e resiste bene alle acque moderatamente salmastre.

Nei giardini pensili si preferisce l'inserimento di prato pronto precoltivato, a prescindere dalla scelta tra microterme e macroterme.

Questa opzione permette di coprire immediatamente la superficie orizzontale del substrato, proteggendola dall'azione erosiva del vento.

Il prato pronto, inoltre, compete immediatamente con lo sviluppo di eventuali specie infestanti attraverso la sua azione pacciamante.

Il prato pronto ha un costo per m² maggiore rispetto a quello seminato, ma, per contro, con la sua azione coprente, riduce la manutenzione che segue gli impianti da seme o per stoloni. Il vantaggio estetico e funzionale che si ottiene inserendo un prato già perfettamente cresciuto è sicuramente rilevante.

6. Manutenzione del verde pensile

La manutenzione del verde pensile estensivo e del giardino pensile intensivo è di fondamentale importanza per la loro sopravvivenza di queste realizzazioni. Nel verde pensile estensivo, quindi a bassa manutenzione, tre interventi all'anno sono sufficienti per garantire il corretto sviluppo delle piante e il buon funzionamento dell'impianto di irrigazione.

La manutenzione del verde pensile estensivo si riduce al contenimento dei cespugli attraverso potatura verde e cimatura, da realizzarsi nel periodo primaverile-estivo, con un controllo annuo dell'impianto di irrigazione e del corretto convogliamento delle acque nel sistema drenante, verificato attraverso l'apposito pozzetto di ispezione.

Il giardino pensile intensivo richiede, invece, un calendario di manutenzione più complesso che può essere equiparato alle manutenzioni che si effettuano in un giardino a diretto contatto con il suolo.

In questo caso i programmi di manutenzione vengono redatti partendo da due tipi principali: le manutenzioni ordinarie e quelle straordinarie.

6.1. Manutenzione ordinaria

Il giardino è composto da diversi tipi di specie vegetali che vanno gestite nel tempo in funzione delle loro specifiche esigenze.

La manutenzione ordinaria prevede interventi periodici atti a garantire il regolare sviluppo delle piante e il buon funzionamento degli impianti di irrigazione e illuminazione.

Cespugli e alberi vanno potati con regolarità per garantire uno sviluppo compatto e, in ogni caso, adeguato ai volumi progettuali.

Il prato ornamentale richiede costanti sfalci, concentrati nei mesi primaverili-estivi, se vengono poste in opera specie macroterme; nel caso delle microterme, i prati vengono sfalciati per tutto il corso dell'anno (prati sempreverdi).

Le concimazioni e i trattamenti antiparassitari biologici vanno eseguiti con regolarità. Se si è previsto un sistema di concimazione automatica attraverso l'utilizzo di fertirrigatori, la concimazione per microdosaggi rilasciati con frequenza regolare consente di mantenere adeguata la fertilità del substrato.

6.1.1. Manutenzione degli alberi e dei cespugli

La manutenzione di alberi e cespugli consiste prevalentemente nel rimuovere eventuali parti secche attraverso il taglio delle stesse (potatura legnosa) e nel contenere lo sviluppo della chioma (potatura verde e cimatura).

La potatura legnosa è una potatura invernale praticata sulle parti morte degli alberi (o quando si vuole contenere in maniera incisiva lo sviluppo della pianta). È eseguita con strumenti aggressivi (tronca rami e segacci) e occorre proteggere la ferita con speciali mastici che la sigillano, riparandola dalle intemperie e dagli agenti patogeni.

Applicata, come già detto, sugli alberi e sui cespugli a grande portamento, è considerata una potatura di riforma e viene praticata quando sorge l'esigenza di variare la forma di un albero o di un cespuglio, quando questa non è più idonea ai volumi previsti in progetto.

Il periodo migliore per potare è fra novembre e marzo, sia per le piante decidue sia per quelle sempreverdi, evitando, ovviamente, di tagliare durante la fioritura.

Si eliminano i rami deboli, secchi, malati o spezzati e le parti squilibrate perché troppo cresciute o con crescita asimmetricamente rispetto all'insieme della pianta.

6.1.2. Manutenzione dei cespugli a medio portamento

Questi cespugli in genere non superano il metro e cinquanta di altezza, per cui necessitano solamente di una costante potatura verde e cimatura allo scopo di evitare crescite superiori a quelle previste negli equilibri del giardino.

Le specie vegetali non attecchite vanno rimosse con particolare attenzione perché, se radicate all'interno del tessuto di separazione della stratificazione, occorrerà procedere scalzando la terra e tagliando la parte di tessuto interessato dalle radici.

In questi casi, il tessuto verrà sostituito applicando una “toppa” nel punto di impianto, prima di procedere al riposizionamento del substrato e alla collocazione della nuova pianta.

Ovviamente questa procedura vale anche per alberi e cespugli a grande portamento soggetti a sostituzione.

6.1.3. Manutenzione delle piante tappezzanti

Le piante tappezzanti coprisuolo possiedono uno sviluppo prevalentemente orizzontale, la loro manutenzione consiste in potature verdi di contenimento durante il periodo primaverile estivo.

Queste potature non devono mai essere aggressive, per garantire le copiose fioriture che numerose specie appartenenti a questo gruppo producono.

Nella normale competizione per lo spazio che avviene tra le specie, le piante tappezzanti competono prevalentemente con i cespugli a medio portamento.

Durante questa fase, gli interventi manutentivi dovrebbero consistere nel semplice controllo dei volumi dei cespugli, lasciando lo sviluppo della pianta tappezzante indisturbato, così da garantire sempre la totale copertura del suolo.

Se la pianta tappezzante invade aree pavimentate, il suo contenimento attraverso la potatura verde deve comunque seguire forme organiche e naturali, allo scopo di mantenere un corretto impatto paesaggistico all'interno del giardino.

6.1.4. Manutenzione dei prati

Il prato è un elemento ad alta manutenzione all'interno della composizione vegetale dei giardini pensili intensivi.

Il suo inserimento prevede delle lavorazioni preliminari seguite da costanti attenzioni durante le fasi di crescita.

Il prato sempreverde composto da microterme è notevolmente più delicato rispetto ai prati di macroterme, come il *Gramignone*.

Le fasi di preparazione e manutenzione, riferite al prato pronto precoltivato sono:

1. *Preparazione del fondo e posa delle zolle*

Sia nel caso della posa delle zolle che nel caso del prato pronto, il substrato va perfettamente livellato e leggermente rullato.

2. *Operazioni preliminari*

Nei substrati forniti dalle ditte e specifici per i giardini pensili, si può pensare di aumentare la fertilità distribuendo, prima della posa del prato, un concime organico pellettato a lenta cessione (*concimazione Starter*).

3. *Posa delle zolle*

Stendere i rotoli di prato avendo cura di posare le zolle sfalsate, iniziando dal margine più esterno del giardino fino ad arrivare a quello più interno per evitare di calpestare quelle già posate.

I margini delle zolle di prato non vanno mai sovrapposti e devono sempre mantenere il contatto diretto con il substrato.

Quando si mette a dimora il prato, occorre iniziare ad irrigare con un tubo aggiuntivo opportunamente preparato prima, avendo cura di bagnare il prato già inserito, evitando di inumidire le zone in quel momento non ancora ultimate.

Anche dopo la posa potrebbe essere utile effettuare un passaggio di rullo facendo attenzione a non muovere le zolle appena posate.

4. Irrigazione

Finita la posa bisogna attivare l'impianto di irrigazione e irrigare abbondantemente, gestendo con attenzione le prime irrigazioni in quanto il prato pronto appena estirpato sarà molto più soggetto a stress idrici.

Nei periodi più caldi sono consigliate almeno due irrigazioni al giorno, la sera e nelle prime ore della mattina.

5. Primo taglio

Al completo attecchimento delle zolle dopo circa 15 gg dalla posa si può eseguire il primo taglio.

Allo scopo di non danneggiare il prato messo a dimora, assicurarsi sempre che la radicazione sia avvenuta e che le zolle siano adese al substrato di posa.

I primi sfalci vanno effettuati regolando la macchina radiprato ad un'altezza di taglio pari a 6 cm, per poi scendere gradualmente, nel mese successivo, fino a 4,5/5cm.

6. *Tagli di routine*

Le zone a prato vanno tagliate a cadenza mensile e prevedono, durante il periodo di massimo sviluppo, sino a tre interventi al mese.

È sempre importante mantenere il prato ad un'altezza utile per la fruizione; inoltre, aumentando i tagli si incrementa la compattezza del tappeto erboso.

Il numero di tagli da effettuare dipende dal tipo di prato, dalle condizioni climatiche della zona e dal tipo di substrato alleggerito utilizzato.

7. *Concimazione del prato*

Per ottenere un regolare sviluppo del prato, che sia verde tutto l'anno o di specie che vanno in dormienza durante il periodo invernale, è importante garantire il nutrimento adeguato in tutte le fasi di crescita.

Ovviamente, nel caso delle macroterme le concimazioni verranno sospese durante i mesi di riposo vegetativo.

Ogni tipologia di prato ha le sue caratteristiche e, quindi, necessita di un piano di concimazione mirato, che sia adeguato a sostenerlo e rispetti la crescita durante le diverse stagioni.

L'utilizzo di fertilizzanti organici a cessione controllata permette di avere un prato più resistente agli stress e meno soggetto alle malattie.

Il rilascio dei nutrienti in questi concimi è prolungato e può arrivare fino a 3 mesi; in questo modo le piante ricevono gli elementi nutritivi in maniera graduale, secondo le proprie necessità.

Nel caso dell'utilizzo della fertirrigazione, i microdosaggi si dimostrano efficaci anche nei prati.

6.2. Manutenzione straordinaria

La manutenzione straordinaria prevede tutta quella serie di interventi che vanno effettuati nel giardino con carattere di eccezionalità.

Con particolare riferimento alla rimozione di alberi e cespugli morti nel corso degli anni, che vanno estirpati con il sistema già descritto, ed eventualmente sostituiti, se funzionali alle logiche del progetto iniziale.

Rientrano in questa categoria i trattamenti antiparassitari, che dovrebbero sempre essere misurati rispetto all'effettiva necessità e realizzati da giardinieri specializzati.

Qualunque trattamento comporti l'utilizzo di sostanze chimiche in un giardino pensile deve essere sempre gestito in termini di scelta

da agronomi, visto il diretto contatto con l'unità abitativa e la costante fruizione di persone e animali domestici.

Di carattere straordinario sono anche gli interventi di riparazione e sostituzione nell'impianto di irrigazione.

L'intervento straordinario per eccellenza, che si verifica in genere dopo 10/15 anni dalla posa, è il controllo dello stato di tenuta della guaina antiradice.

Occorre controllare se a livello dei cordoli interni sono presenti scollamenti con infiltrazione dell'apparato radicale sotto la guaina.

In questo caso si può supporre che la guaina antiradice sia compromessa in più punti; ciò comporterà un articolato processo di smontaggio dell'area a verde e la sostituzione della guaina sottostante. Ripristini di questo tipo comportano un alto impegno di personale e mezzi d'appoggio, ma si rivelano indispensabili per la tenuta del sistema pensile nel tempo.

7. Illuminazione paesaggistica

Il giardino pensile intensivo, realizzato come un vero e proprio giardino residenziale, richiede spesso una vera e propria illuminazione paesaggistica.

L'illuminazione paesaggistica non ha nulla a che vedere con l'illuminazione tecnica delle aree esterne e il suo scopo è quello di enfatizzare le piante eliminando, per quanto possibile, la percezione del corpo illuminate.

Per questo scopo si utilizzano corpi ad incasso per alberi e palme e faretti molto piccoli orientabili, utili per illuminare cespugli e composizioni.

Illuminare il giardino dà la possibilità di enfatizzare i volumi vegetali lavorando sull'alternanza delle zone di luce e delle zone di scuro (zone d'ombra).

L'alternanza di luci ed ombre definisce questo tipo di illuminazione regalando a chi progetta la possibilità di mettere in evidenza particolari che di giorno vengono resi meno visibili dall'impatto visivo complessivo del giardino.

Molto elevata è la conflittualità che esiste tra la luce tecnica o ambientale e l'illuminazione paesaggistica; infatti, la prima tende ad annullare l'effetto suggestivo della seconda, azzerando colori e contorni.

Diventa, quindi, fondamentale separare i due tipi di illuminazione con accensioni indipendenti.

Per organizzare una buona illuminazione paesaggistica occorre definire, a livello progettuale, una sapiente distribuzione dei punti luce nel giardino e la scelta di corpi illuminanti e lampade adeguati all'effetto visivo che si vuole ottenere.

Gli elementi principali dell'illuminazione paesaggistica sono, in ordine progressivo, la realizzazione dei punti luce, la scelta dei corpi illuminanti con relative lampade e il puntamento degli stessi durante le ore serali.

7.1. Punto luce

Consiste nella realizzazione tecnica dell'alimentazione elettrica nel punto esatto in cui verrà installato il corpo illuminante.

Si utilizza generalmente un cavo elettrico opportunamente calibrato, collocato all'interno di un cavidotto disposto sotto il substrato a diretto contatto con lo strato filtrante di separazione.

Lo scavo deve essere effettuato a mano, o con l'utilizzo di attrezzi leggeri, allo scopo di non danneggiare la stratificazione.

L'esatta collocazione del punto luce è strettamente collegata alla disposizione delle piante che occorre illuminare.

Alberi, composizioni vegetali e siepatura perimetrale sono gli elementi che vengono maggiormente attenzionati durante la progettazione.

Quando si intendono illuminare alberi o palme il punto luce va realizzato alla base del tronco, compatibilmente con l'ingombro della zolla della pianta.

Questa ubicazione consente l'installazione di un corpo illuminante ad incasso che produce un'illuminazione dal basso verso l'alto di notevole effetto scenografico.

Quando si illuminano le siepi perimetrali o le composizioni, è più efficace l'inserimento di un faretto orientabile a fascio largo che produce un taglio di luce più ampia, in grado di mettere in evidenza masse vegetali più estese.

In questo caso, la realizzazione di più punti luce distanziati in maniera opportuna consente maggior libertà durante le fasi di puntamento, restituendo un effetto di continuità luminosa molto utile, soprattutto per mettere in evidenza le siepi.

7.2. Corpi illuminati e lampade

La scelta del corpo illuminante riveste una particolare importanza in quanto lo scopo di questo tipo di illuminazione è quello di occultare il più possibile la sorgente luminosa.

Questo è il motivo per cui occorre sempre preferire corpi illuminanti di piccole dimensioni e con colori che ben si camuffano con il contesto in cui vengono utilizzati.

Soprattutto lo spessore dei corpi ad incasso deve essere, nei giardini pensili, molto limitato, per non danneggiare il telo di separazione che copre il sistema drenante.

I faretti orientabili devono essere più piccoli e discreti possibile, con il picchetto di inserimento che deve essere proporzionato al franco di coltivazione presente nel punto in cui si opera.

Il corpo illuminante ideale non viene, quindi, scelto in base al suo design, ma viene valutato per le sue caratteristiche tecniche e funzionali, non essendo un oggetto di arredo che si somma all'architettura del giardino.

Il mercato mette a disposizione un'ampia scelta di corpi illuminanti per esterno con diverse ottiche, in grado anche di controllare il fascio luminoso.

In merito alle lampade ci si orienta per ovvi motivi verso illuminazioni a LED, acronimo di *Light Emitting Diode* (diodo ad emissione luminosa), componente che emette luce monocromatica al passaggio della corrente elettrica.

I progressi di questa tecnologia hanno reso possibile un'illuminazione di alta qualità, a prescindere dalla temperatura di colore, utile nelle applicazioni outdoor.

La resa cromatica delle lampade varia da 3200K a 6500K.

I vantaggi dell'illuminazione LED possono essere così riassunti:

- costi di gestione più bassi rispetto ad ogni altra tecnologia;
- riduzione del consumo energetico tra il 50% ed il 75%;
- ciclo di vita di oltre 75.000 ore;
- stabilità delle performance nel tempo;
- minima produzione di calore;
- alta qualità della luce;
- eccellente indice di resa cromatica generale (Ra o Color Rendering Index-CRI) fino a 96%;
- zero emissioni di raggi UV e IR;
- maggiore sicurezza derivante dal basso voltaggio;
- limitato impatto ambientale, in virtù dell'assenza di piombo, mercurio e altri metalli pesanti;
- modulazione elettronica per mezzo di Dimmer (con risparmio energetico proporzionale alla luminosità emessa);
- accensione istantanea rispetto alle vecchie lampade a scarica.

7.3. Puntamento

Il puntamento è un'operazione direttamente effettuata sul giardino durante le ore di buio e con tutte le luci tecniche esterne alla struttura abitativa spente.

I corpi ad incasso accesi vengono posizionati sotto alberi e palme per garantire la migliore resa luminosa.

I faretti orientabili vanno “puntati” in base alle esigenze del progetto e spesso vengono occultati in prossimità dei cespugli a medio portamento.

Una volta stabilito l'esatto posizionamento si provvede all'installazione definitiva.

8. La scelta della specie per il verde pensile in ambiente mediterraneo

La crescita mondiale della popolazione (nel 2022 sono stati superati gli 8 miliardi di persone sulla Terra) e il conseguente tasso di urbanizzazione (Urbanization Statistics UN nel 2018 ha stimato che più del 60% della popolazione mondiale vivesse in aree urbane e che entro il 2030 il numero delle megalopoli con più di 10 milioni di abitanti sarà pari a 43) fanno sì che le problematiche connesse alle città siano diventate centrali per la qualità della vita dell'uomo. La sovrappopolazione determina, infatti, che le città siano diventate, come ricordava Odum (1983), dei veri e propri organismi eterotrofi con un vero e proprio metabolismo, che basano la loro crescita ed espansione sull'uso indiscriminato di risorse (energia e materie prime, spesso non rinnovabili), favorite dal proliferare dei mezzi di trasporto e supportate dallo sviluppo industriale e dalle odierne tecnologie. Gli agglomerati urbani restituiscono all'ambiente calore e inquinamento, alterano i cicli bio-geo-chimici e sono causa di perdita irreversibile e frammentazione degli habitat naturali (Fischer e Lindenmayer, 2007). Le città, inoltre, non solo consumano le risorse immediatamente disponibili entro i propri confini fisici, ma hanno un effetto pervasivo su vaste aree, legato alla produzione di beni e servizi commerciali, necessari al loro sostentamento e sviluppo.

Per cercare di attenuare i guasti dell'intensa urbanizzazione, un ruolo fondamentale per il buon "funzionamento" della città è rivestito dal verde urbano. Esso riesce a riequilibrare numerosi parametri ambientali, energetici, ecologici e sociali, spesso alterati dalla progressiva urbanizzazione; il suo contributo alla qualità della vita è quindi notevole e destinato ad accrescersi in futuro, con l'ulteriore espandersi dell'urbanizzazione e con l'accentuarsi del *global change*.

Gli spazi a verde, spesso indicati come infrastrutture verdi (*green infrastructure*), sono sempre più considerati come una rete di luoghi interessati da vegetazione, localizzati in ambito urbano o rurale, in grado di fornire un'ampia gamma di vantaggi ambientali e di migliorare la qualità della vita per le comunità locali. Ciò ha comportato che, al fine di cogliere appieno i vantaggi che la vegetazione può fornire in termini di servizi ecosistemici (Francini et al., 2022), siano sorte nuove tipologie di verde, dal verde pensile a quello verticale, agli impianti per la regimazione delle acque, come i *rain garden* o le aree di bioritenzione. Il verde pensile, in particolare, rappresenta una forma molto antica di realizzazione di spazi a verde – come non ricordare, infatti, le piote erbose utilizzate per la copertura dei tetti nei paesi scandinavi anche 1500 anni a.C. o i celeberrimi giardini pensili di Babilonia – su cui si pone oggi una grande attenzione. L'argomento è ampiamente

dibattuto e ne è prova l'ampia letteratura disponibile. Poiché le superfici dei tetti degli edifici coprono il 20-25% delle aree urbane (Abass et al., 2020), possono contribuire efficacemente ad incrementare i servizi ecosistemici (riduzione temperatura dell'aria, intercettazione piogge, riduzione inquinamento ecc.). In questa sede e per le successive considerazioni ci limitiamo solo a ricordare come un tetto pensile sia una struttura che poggia su una soletta e che quindi non è in continuità con il suolo naturale e che le stesse tipologie di verde pensile, in base all'altezza del substrato e della frequenza degli interventi di manutenzione, siano da ricondurre a *verde estensivo* (altezza del substrato inferiore a 10 cm, manutenzione quasi assente), *semi-intensivo* (15-30 cm, manutenzione presente) e *intensivo* (> 30 cm, manutenzione molto frequente) (Abass et al., 2020).

8.1. La scelta della specie

La scelta della specie, come è noto, rappresenta uno dei punti nodali della progettazione, dato che consente da una parte di avere una realizzazione vegetale destinata a sopravvivere a lungo e a mantenere nel tempo le caratteristiche estetiche di pregio e dall'altra di non impiegare quelle tecniche colturali che, pur se in grado di minimizzare l'influenza negativa di alcuni parametri ambientali, non sono senza conseguenze sul piano dei costi

(Romano, 2004). Spesso, invece, tenendo conto che l'acquisto delle piante rappresenta un'aliquota modesta (intorno al 10-12%) del costo della realizzazione di un'area a verde, non si presta adeguata attenzione ad un aspetto che si riflette fortemente sugli esiti dell'impianto stesso.

I criteri cui ancorare la scelta sono molteplici (Serra, 1993). Occorre, infatti, contemperare esigenze connesse con la varietà di tipologie di verde da realizzare, con le specificità di funzioni assegnate o richieste a ciascuna di queste, con le particolari condizioni ambientali in cui le piante sono chiamate a vivere, piuttosto avverse sotto il profilo delle caratteristiche fisiche e chimiche dell'aria e del substrato. Nel verde pensile occorre tenere conto che i parametri ambientali si modificano per la particolare localizzazione di tali impianti e per lo spessore del substrato; per quest'ultimo aspetto le considerazioni da fare sono nettamente diversificate se si tratta di un verde estensivo o intensivo. Da tenere in conto, inoltre, come le nuove tendenze nella progettazione degli spazi a verde siano sempre più rivolte da una parte ad esaltarne gli aspetti "naturali" e dall'altra a ricercare schemi caratterizzati da minori costi di manutenzione. Le motivazioni sono molteplici e rispondono a esigenze non solo agronomiche, ma anche politiche, sociali, culturali ed ecologiche (Hitchmough, 2004). Il concetto di "sostenibilità", con cui si

intende lo sviluppo che è in grado di assicurare «*i bisogni delle generazioni presenti [...] senza compromettere le capacità delle generazioni future di soddisfare i propri*» (Rapporto Brundtland, 1987), sta diventando di estremo interesse anche nella gestione del verde ornamentale e territoriale. Queste tendenze sono anche legate al fatto che i progettisti contemporanei del verde vedono il “giardino” essenzialmente come un luogo destinato alle persone, per cui cercano di tener conto delle questioni sociali e dei mutamenti che si sono verificati negli ultimi anni. Le inquietudini sulle implicazioni della ricerca scientifica nel campo dell’ingegneria genetica, le preoccupazioni sul destino ambientale del pianeta e tutto ciò che ha contribuito a costituire una nuova coscienza ambientalista, come l’idea dello sviluppo sostenibile, l’angoscia per la scomparsa di specie animali vegetali, l’inquinamento atmosferico, hanno modificato anche il punto di vista estetico sulla natura (Nicolin, 2003). Mentre in passato era il lindore dell’insieme, la regolarità delle forme, le stesse rigide simmetrie ad assumere preminente valore ornamentale, oggi a destare l’ammirazione è la consapevolezza che si è davanti ad un processo “naturale”, ad un ambiente che è capace di “reggersi da solo”.

I vincoli legati alle condizioni ambientali riguardano in maniera più o meno accentuata tutte le tipologie di verde, anche se quelli

più difficili da superare sono legati al fatto che spesso si opera all'interno del recinto urbano, dove le condizioni per le piante sono spesso sfavorevoli. L'ambiente nel quale dobbiamo operare, inoltre, è caratterizzato dalla presenza del clima mediterraneo che tipicamente presenta una lunga stagione arida estiva che accentua i problemi connessi con lo stress da siccità.

8.2. Le condizioni ambientali del verde pensile in ambiente mediterraneo

Il celebre architetto Renzo Piano ha definito il tetto verde «*come sollevare un pezzo di parco e mettervi sotto un edificio*» (<https://interactive.wttw.com/tenbuildings/california-academy-sciences>); anche Burke (2003) ha espresso un'opinione analoga sui tetti verdi: «*Immaginate un progetto di edificio in cui il paesaggio nativo del sito è semplicemente sollevato verso il cielo e il programma di costruzione è posto sotto*». Sia le dichiarazioni di Burke che quelle di Piano confortano l'idea che i tetti verdi siano solo una estensione o una continuazione del paesaggio vegetale che si riscontra a livello del suolo. Non dobbiamo dimenticare, invece, come le condizioni microclimatiche siano profondamente diverse; il non considerare questo aspetto può condurre ad un'elevata mortalità delle piante (Butler et al., 2012). I tetti verdi, infatti, sono ambienti difficili per le piante, che devono far fronte a

substrati poco profondi, scarsa disponibilità di nutrienti e di acqua, elevata radiazione solare e alti livelli di inquinamento (Aguilar et al., 2019).

Il termine “verde pensile” potrebbe poi trarre in inganno se si evocano unicamente immagini di lussureggianti giardini collocati sui tetti dei palazzi. Questo termine, in realtà, raggruppa l’enorme campo applicativo rappresentato dalla realizzazione di coperture vegetali su “soletta” e non in piena terra. Tale “modalità” di realizzare il verde costituisce una soluzione utile per ricoprire volumi abitativi (terrazzi, coperture di edifici e garage di complessi residenziali), produttivi (uffici, industrie e centri commerciali) o altri elementi che, in contesto urbano, si preferisce occultare. In tutti questi casi l’area esplorata dagli apparati radicali delle piante è fortemente limitata dalla ristrettezza degli spazi disponibili, in particolare in profondità.

L’approccio utilizzato per il verde pensile, inoltre, potrebbe essere correttamente accostato, data la similitudine delle condizioni, con molte situazioni di verde urbano, quali ad esempio le stesse alberature stradali nelle quali la parte ipogea delle piante subisce analoghe limitazioni nello sviluppo. Le conseguenze principali determinate da questo fattore critico sono diverse; tra le più influenti occorre ricordare:

- la limitata crescita della vegetazione, determinata dalla ridotta disponibilità di substrato e dalla rapida perdita di umidità;
- la difficoltà di ancoraggio delle piante di una certa dimensione causata dalla ridotta espansione degli apparati radicali;
- l'inefficienza del drenaggio causata dalla compattazione del substrato.

I vincoli esistenti nelle realizzazioni del verde su soletta non riguardano esclusivamente l'habitat delle piante; esiste, infatti, un problema di compatibilità tra l'elemento costruito e la presenza dello "strato verde" ad esso sovrapposto che può essere così schematizzato:

- il peso esercitato sulla soletta dal substrato colturale e dall'acqua in esso trattenuta;
- la presenza stabile dell'acqua o di uno strato di umidità permanente che costituisce una potenziale fonte d'infiltrazione nella soletta.

I fattori abiotici che influenzano la sopravvivenza sui tetti verdi includono una serie di fattori che modificano la fisiologia e la crescita delle piante, come la radiazione solare (Getter et al., 2009), la qualità dell'aria (Francini et al., 2022) e le caratteristiche del substrato (Olly et al., 2011). Mentre l'ombreggiamento nella maggior parte degli habitat naturali riflette la struttura della vegetazione, quello degli habitat urbani riflette anche

l'eterogeneità degli edifici e di altre strutture edilizie (Cadenasso et al., 2007). Di conseguenza, la radiazione solare che raggiunge le piante può variare sia all'interno che tra i tetti verdi e può influire sulla sopravvivenza stessa delle piante, anche perché modifica la temperatura del substrato. Gli effetti delle strutture edilizie si possono esercitare sulla deposizione del particolato (Cohen et al., 2004) alterando le caratteristiche del substrato e la stessa sopravvivenza delle piante. Sebbene le condizioni del substrato di coltura del tetto verde possano cambiare nel tempo, la sua composizione e profondità, almeno in fase iniziale, sono realizzate per soddisfare sia gli aspetti costruttivi che le esigenze della vegetazione dominante sul tetto verde (Schulze-Ardey e Schroder 2008). Pertanto, la differente sopravvivenza tra le specie può essere causata da fattori abiotici associati alla progettazione di un tetto (ad esempio, composizione e profondità del substrato) e da quelli connessi all'eterogeneità intrinseca del paesaggio urbano (Aloisio et al., 2017).

8.3. Obiettivi per la scelta della specie

In premessa occorre ricordare come negli ultimi anni ad una visione "estetica" del verde pensile si sia affiancata, fino a diventare prevalente, una visione "ecologica" che privilegia e sottolinea gli effetti positivi di tali tipologie di verde in ambito

urbano (Snodgrass e Snodgrass, 2006) e che sicuramente influenza gli stessi criteri di scelta delle piante. Non possiamo dimenticare, infatti, come i tetti verdi siano ormai considerati indispensabili strutture ecosistemiche per le città, in grado di assicurare la mitigazione dell'isola di calore, il bilanciamento della temperatura degli edifici, una migliore gestione del deflusso delle acque e una maggiore biodiversità urbana (Arabi et al., 2015; Shafique et al., 2018). In base alla funzione che si ritiene prevalente, si modificano, talvolta piuttosto nettamente, i criteri di scelta per cui occorre essere ben consapevoli degli obiettivi che sono alla base dell'individuazione delle diverse specie (Snodgrass e Snodgrass, 2006).

8.3.1. Sopravvivenza e riduzione dei costi di manutenzione

La sopravvivenza nel verde pensile è sicuramente un parametro chiave nella scelta della specie, che influenza nettamente i costi di manutenzione. Le piante succulente, spesso caratterizzate da ciclo fotosintetico CAM, rappresentano il gruppo di piante più utilizzato sui tetti verdi (Oberndorfer et al., 2007), proprio perché sono idonee a crescere in ambienti xerici, condizioni tipiche dei tetti verdi (Beattie e Berghage, 2004). La sopravvivenza delle piante erbacee, ad esempio, è tipicamente inferiore a quella delle piante succulente resistenti alla siccità (Butler et al., 2012); fra le piante

erbacee, almeno nell'ambiente naturale, le annuali o perenni da fiore (le cosiddette *forbs* degli autori anglosassoni) hanno spesso una sopravvivenza inferiore rispetto a quella delle graminacee (Lauenroth e Adler, 2008). Le specie con fotosintesi C4, più adatte allo stress termico e idrico rispetto a quelle con fotosintesi C3 (Sage, 2004), potrebbero assicurare una maggiore sopravvivenza sui tetti in climi caldi e asciutti. Inoltre, rispetto alle succulente che formano spesso uno strato basso di vegetazione, le erbacee da fiore e le graminacee presentano generalmente una statura più elevata (Olly et al., 2011), sebbene tale parametro possa variare considerevolmente fra le diverse specie. Una maggiore altezza e copertura, assicurata dalle erbacee, potrebbe influenzare sia le interazioni tra le piante all'interno di una cenobiosi sia le conseguenti positive funzioni ecosistemiche (Cook-Patton e Bauerle, 2012). È stato osservato come si possano determinare interazioni positive tra le specie (Bertness e Callaway, 1994) e, in particolare, una maggiore altezza del manto erboso può aumentare il tasso di sopravvivenza delle piante sui tetti verdi, grazie alla riduzione della temperatura del suolo e all'aumento della biodiversità (Stewart et al., 2001). La sopravvivenza delle piante dipende quindi dalla composizione delle specie, caratterizzate da diverso habitus di crescita (Lundholm et al., 2010); fattori biotici e abiotici (es. radiazione luminosa, temperatura, caratteristiche

substrato ecc.) interagiscono nell'influenzare la sopravvivenza delle piante (Heim et al., 2014; Aloisio et al., 2017).

Al fine di individuare piante capaci di sopravvivere nel verde pensile estensivo in ambiente mediterraneo, è stato proposto l'inserimento di piante autoctone con esiti positivi, anche se non sempre si è riusciti ad eguagliare la sopravvivenza assicurata da specie non autoctone del genere *Sedum* (Durhman et al., 2007; Latocha e Batorska, 2007). La scelta delle piante autoctone, però, non dovrebbe essere presa basandosi solo sul fatto che queste piante sono adattate alle condizioni climatiche del sito (Dunnett, 2006), in quanto le condizioni in cui si sono evolute, e soprattutto la profondità dei suoli, sono molto diverse da quelle del substrato utilizzato nel verde pensile, in genere poco profondo e ben drenato. Dobbiamo tenere conto inoltre che alcune strategie messe in atto dalle piante autoctone, come l'approfondimento dell'apparato radicale per far fronte alla carenza d'acqua, non siano di fatto applicabili quando si dispone di poco più di 10 cm di substrato di coltivazione. Occorre quindi rivolgere l'attenzione alle piante originarie di habitat caratterizzati da substrati poco profondi e ben drenati, quali sono gli habitat rocciosi o ruderali (Figura 8.1); nelle comunità che si insediano in questi contesti vi possono essere specie adatte al verde pensile soprattutto estensivo.



Figura 8.1 - Le specie ruderali (a sinistra *Centranthus ruber* e a destra *Aeonium gomerense*) appaiono molto interessanti per un possibile impiego nel verde pensile.

L'utilizzo di specie autoctone sui tetti verdi, soprattutto in ambito mediterraneo, è anche limitato dalla mancanza di riferimenti sulle loro prestazioni e anche sulle cure colturali necessarie. Quando poi si usano piante erbacee spontanee da fiore (i *wildflowers* degli autori anglosassoni) non sempre la germinazione dei semi è idonea (White e Snodgrass, 2003).

L'individuazione di piante con caratteristiche e fisiologia adeguata a resistere agli stress può ridurre notevolmente le esigenze di irrigazione e i relativi costi di manutenzione, aspetto particolarmente importante in un clima, come quello mediterraneo, dove l'acqua scarseggia in estate (Brandão et al., 2017).

8.3.2. Caratteri estetici del verde pensile

Se si vogliono raggiungere effetti ornamentali interessanti è bene puntare più che alla presenza di una sola specie all'inserimento di una comunità vegetale. Le monocolture di *Sedum*, ad esempio,

largamente adottate nel verde estensivo, determinano un effetto monotono (Dunnett e Nolan, 2004), non sempre gradevole. Inoltre, analogamente alle monoculture agrarie, la presenza di una sola specie accresce i rischi di attacchi parassitari. Da un punto di vista estetico, inoltre, l'abscissione delle foglie in risposta alla siccità, tipica di molte specie autoctone mediterranee può migliorare la risposta allo stress idrico (Toscano et al., 2019), ma è un adattamento esteticamente non gradevole.

Ottenere uno spazio di elevato valore estetico è un importante beneficio ecosistemico fornito dai tetti verdi (Fernandez-Cañero et al., 2013), sebbene non sempre riconosciuto. È stato analizzato (attraverso parametri psicologici e fisiologici, variabilità della frequenza cardiaca e della pressione arteriosa sistolica) il contributo del verde pensile per ridurre lo stress delle città moderne. Sulla base dei risultati è stato visto che uno spazio in cui la vegetazione è aperta e ben strutturata e che include sia piante erbacee che arbusti ha una maggiore capacità di ridurre lo stress rispetto a quando si utilizza un'unica specie. L'aumento della biomassa della vegetazione non comporta invece maggiori benefici psicologici e fisiologici (Lee et al., 2023).

Diversi studi hanno suggerito che la ricerca futura sulla selezione delle piante dovrebbe considerare e quantificare meglio l'architettura e la forma delle piante, la durata della fioritura, la

variazione del colore e della vegetazione durante l'anno e la produzione di biomassa e come l'approvvigionamento idrico e altre tecniche di gestione influenzino la vegetazione e le prestazioni estetiche del verde pensile (Benvenuti e Bacci, 2010; Nagase e Dunnett, 2010).

8.3.3. Servizi ecosistemici

Sono numerosi i servizi ecosistemici assicurati dal verde pensile: fra quelli principali e tipici vi è la regolazione del deflusso idrico. A tal fine la vegetazione svolge un ruolo importante, poiché influenza in misura rilevante il contenuto di umidità del substrato e il tasso di deflusso (Stovin et al., 2015, Abuseif, 2023). La riduzione del deflusso avviene attraverso diversi processi, come l'intercettazione, la traspirazione, l'assorbimento delle radici, la ritenzione e l'immagazzinamento dell'acqua nei tessuti vegetali (Stovin et al., 2012). Il consumo di acqua di una pianta è determinato dalla sua capacità di traspirazione, mentre la biomassa radicale influenza la sua capacità di immagazzinare acqua (Nagase e Dunnett, 2012). L'aumento della copertura vegetale su un tetto verde migliora la capacità di trattenere l'acqua (Berndtsson, 2010), ma la ricchezza di specie non influisce in modo significativo sulla capacità di ritenzione a meno che non vengano incluse piante diverse, caratterizzate da tassi di consumo di acqua più elevati

(Monterusso et al., 2004). Al di là della scelta della specie, è indubbio, però, che un elemento che influenza l'intercettazione dell'acqua è la profondità del substrato: Soulis et al. (2017), utilizzando tre specie con diverse caratteristiche – *Sedum sediforme*, una succulenta, *Origanum onites*, una xerofita, e *Festuca arundinacea*, un'essenza prativa – hanno notato come il tasso di ritenzione dell'acqua piovana, passasse rispettivamente dal 50.8, 63.6 e 54.9%, con una profondità di substrato pari a 8 cm, a 60.3, 81.1 e 68.8%, quando il substrato era profondo 16 cm. Da sottolineare comunque come, a parità di profondità di substrato, la specie xerofita risultasse la più efficiente nell'intercettare l'acqua meteorica.

La quantità di deflusso può essere ridotta aumentando il numero di specie con caratteristiche diverse (Rixen e Mulder, 2005). La presenza di specie più alte può comportare un tasso più elevato di intercettazione dell'acqua ed evapotraspirazione, mentre la presenza di piante più basse, a contatto con il suolo, determina la presenza di uno strato di umidità al di sotto della chioma. La capacità di immagazzinare l'acqua si modifica in base alle caratteristiche delle piante (orientamento e dimensione delle foglie, ruvidità e idrofobicità della corteccia, rigidità dei rami, densità della chioma ecc.). Anche la struttura delle comunità vegetali può influenzare l'intercettazione delle acque (Nagase e

Dunnnett, 2012). A tal fine importanti sono le caratteristiche dell'apparato radicale in quanto la ritenzione idrica nel substrato è influenzata dalla struttura delle radici. Le piante che formano radici dense e fibrose, come le graminacee (Nagase e Dunnnett, 2012), riducono la porosità del substrato e il volume disponibile per trattenere l'acqua (MacIvor e Lundholm, 2011), dimostrandosi più efficienti nel ridurre il deflusso delle acque piovane rispetto alle specie succulente o alle erbacee da fiore. L'evapotraspirazione è l'altro processo correlato al controllo del deflusso idrico (Lundholm et al., 2010). Le specie che presentano elevati tassi di evapotraspirazione consentono di aumentare la capacità di accumulo d'acqua nel substrato per i successivi eventi piovosi (MacIvor e Lundholm, 2011).

Un'altra funzione ecosistemica dei tetti verdi è l'incremento della biodiversità: i tetti verdi possono essere utilizzati anche come spazio urbano dove preservare la biodiversità vegetale (Dunnnett e Kingsbury, 2008). Prevedendo la presenza di specie diverse non solo si accresce la biodiversità vegetale ma anche quella di specie avicole e di artropodi (Wolf e Lundholm, 2008). Avere piante diverse, soprattutto nel verde estensivo, può consentire di meglio adattarsi a condizioni di umidità variabile e massimizzare il beneficio del raffreddamento da evaporazione, aumentando i benefici del verde pensile (Compton e Whitlow, 2006).

Le piante, attraverso le loro funzioni biologiche come la fotosintesi, la traspirazione, la respirazione e l'evaporazione, assorbono una percentuale significativa della radiazione solare riducendo la temperatura (Vijayaraghavan, 2016). Allo stesso modo, è stato suggerito che la presenza di vegetazione riduca la temperatura dell'aria circostante e aumenti l'albedo (Li e Yeung, 2014). La scelta della specie esercita quindi importanti riflessi sulla temperatura (Bevilacqua et al., 2015). È stato suggerito che le caratteristiche delle piante, come l'altezza, l'indice dell'area fogliare e le risposte delle piante alla siccità, esercitino una grande influenza sulla capacità di isolamento termico del verde pensile (Raimondo et al., 2015). Le piante con un'elevata densità e altezza sono in grado di fornire maggiore ombreggiamento e raffrescamento tramite traspirazione, suggerendo che la fenologia vegetale, il consumo di acqua delle piante e la loro interazione sono punti chiave per comprendere le differenze stagionali nel contributo relativo di ciascuna specie alla capacità di isolamento termico (Bevilacqua et al., 2015).

La maggiore capacità di regolazione termica dei tetti con vegetazione rispetto a quelli non vegetati è stata in gran parte attribuita all'effetto ombreggiamento determinato dalle piante o alla maggiore evapotraspirazione (Blanusa et al., 2013). Poiché questi due fattori non sono sempre direttamente correlati, la

selezione delle specie vegetali e l'adozione di modelli per facilitare tale selezione appaiono complessi. A tal proposito Azenas et al., (2018b) hanno evidenziato come *Sedum sediforme*, una specie che consuma poca acqua e che forma una chioma densa e multistrato di foglie carnose, abbia una capacità di regolazione termica più elevata rispetto a *Brachypodium phoenicoides*, una specie erbacea che presenta tassi di traspirazione più elevati rispetto a *Sedum* sp. Ciò suggerirebbe che l'architettura della chioma, l'anatomia fogliare e la disposizione delle foglie nello spazio avrebbero un effetto maggiore sulla regolazione termica rispetto alla capacità di traspirazione delle piante. Nonostante entrambe le specie mostrino una copertura superficiale simile, *B. phoenicoides* è una specie con foglie erette che consentirebbe il passaggio di una quantità maggiore di radiazione incidente rispetto a *S. sediforme*, specie che presenta un comportamento strisciante, con il massimo sviluppo e fioritura durante la stagione calda. Se l'ombreggiamento ha effetti positivi sulla regolazione termica estiva, in inverno determina effetti negativi perché riduce la temperatura. In ogni caso le prestazioni delle piante vanno sempre considerate in base alle condizioni climatiche del sito: alcuni modelli, infatti, hanno indicato che piante di più alta statura hanno un effetto isolante maggiore nelle città dell'Europa mediterranea come conseguenza proprio dell'altezza della chioma e dei valori più elevati del LAI

(Ascione et al., 2013). Tuttavia, questi modelli di solito non tengono conto delle differenze nell'anatomia delle foglie e nell'architettura della chioma, di cui si è detto e che influiscono sulla capacità di isolamento delle piante.

Blanusa et al. (2013) hanno analizzato diversi tipi di piante (un miscuglio di *Sedum*, *Stachys byzantina*, *Bergenia cordifolia* e *Hedera hibernica*) per valutare se e in che misura le piante differiscano nel loro “potenziale di raffreddamento”. Si voleva comprendere se la morfologia fogliare influenzasse la temperatura delle foglie e come il contenuto idrico del substrato alterasse tale risposta. Sono state anche studiate la relazione tra le temperature della superficie fogliare e quelle dell'aria immediatamente sopra le chiome e come il tipo di pianta influenzasse la temperatura del substrato al disotto della chioma (e cioè il potenziale di raffreddamento dell'edificio). È stato rilevato che *S. byzantina* ha offerto i migliori risultati in termini di raffreddamento della superficie fogliare (anche in condizioni di bassa disponibilità idrica nel substrato), del substrato sotto la chioma (fino a 12 °C) e dell'aria sopra la chioma (fino a 1 °C, quando l'umidità del suolo non era limitata). Sulla base di tali risultati e del significato che assume la riduzione della temperatura, gli autori hanno suggerito che la scelta delle specie vegetali sui tetti verdi estensivi non dovrebbe essere ancorata solo alla sopravvivenza delle piante, ma

dovrebbe considerare il contributo in termini di servizi ecosistemici. La selezione delle piante dovrebbe quindi basarsi non solo su “ciò che sopravvive” ma su “ciò che fornisce il miglior servizio ecosistemico” (Blanusa et al., 2013).

L'efficacia della riduzione della temperatura è anche funzione dell'altezza delle piante: le più elevate riduzioni della temperatura sono state ottenute in piante alte 35 cm, seguite da quelle di 15 cm e poi da quelle di 10 cm. Le piante con foglie verdi sono più efficienti nella riduzione della temperatura rispetto a quelle a foglie viola/rosse (Liu et al., 2014).

Un altro servizio ecosistemico è la capacità del tetto verde di controllare e ridurre la riflessione del suono (Azkorra et al., 2015); la riduzione del livello di rumore potrebbe raggiungere 8-10 dB (Abass et al., 2020) anche grazie allo strato di vegetazione.

Non possiamo dimenticare, infine, come fra le piante proposte per il verde pensile vi siano anche specie di interesse alimentare: l'agricoltura urbana effettuata sui tetti può migliorare numerosi servizi ecosistemici, aumentare la biodiversità e ridurre l'insicurezza alimentare (Chowdhury et al., 2020).

8.4. Criteri di scelta

È indubbio che la vegetazione è quella in grado di assicurare l'effetto a lungo termine di un tetto verde, anche attraverso la sua evoluzione, per effetto delle interazioni con l'ambiente e tra le diverse specie utilizzate. Pertanto, l'individuazione della specie più idonea è l'aspetto più importante dei tetti verdi, che impegna maggiormente il progettista e che deve valutare numerosi parametri (Tabella 8.1), anche per valutare i vantaggi e gli svantaggi delle possibili scelte (Tabella 8.2).

Tabella 8.1 - Possibili criteri di scelta della specie (Fonte: Taherkhani et al., 2022, con modifiche).

Criteri	Parametri
Economici	Costo per la realizzazione dell'impianto e dell'inserimento delle piante Costo di acquisto delle piante Costi di manutenzione durante la vita della struttura
Energetici	Abilità di ridurre le basse temperature Capacità di ridurre le alte temperature, per effetto della traspirazione e dell'effetto ombreggiante Capacità di bilanciare le prestazioni termiche degli strati di copertura Capacità di isolamento termico e impatto sul consumo energetico della struttura

Fisiologici	<p>Tolleranza alla siccità</p> <p>Tolleranza alla salinità</p> <p>Tolleranza a basse o alte temperature</p> <p>Resistenza all'elevata radiazione solare o all'eccessivo ombreggiamento</p> <p>Resistenza a malattie e parassiti</p> <p>Capacità di riflettere la luce</p> <p>Risposta fotoperiodica per la fioritura (piante a giorno lungo o a giorno corto)</p>
Ambientali ed ecologici	<p>Capacità di assorbimento degli inquinanti urbani</p> <p>Incremento della biodiversità</p> <p>Tolleranza agli insetti</p> <p>Fornitura di nutrimento per insetti pronubi, anche a supporto della catena alimentare</p> <p>Impatto sulla sopravvivenza di altre specie vegetali</p>
Idrologici	<p>Capacità di ridurre il picco di deflusso durante gli eventi piovosi</p> <p>Impatto sulla gestione degli eventi piovosi intensi</p> <p>Smaltimento dell'acqua tramite evapotraspirazione per aumentare la capacità di accumulo d'acqua nel substrato per i successivi eventi piovosi</p>
Estetici	<p>Persistenza del fogliame</p> <p>Caratteristiche dei fiori e durata fioritura</p> <p>Effetti cromatici d'insieme</p> <p>Capacità di copertura del suolo</p> <p>Adattabilità al taglio</p> <p>Rapidità di ricaccio dopo la stagione avversa</p>
Acustici	<p>Capacità di assorbire i rumori ambientali</p> <p>Capacità di migliorare l'isolamento acustico della struttura</p>

Tabella 8.2 - Vantaggi e svantaggi delle diverse tipologie di piante (Fonte: Arabi et al., 2015, con modifiche).

Tipologia di piante	Aspetti positivi	Aspetti negativi
Sedum	Grande resistenza alla siccità. Possibilità di disporre di pannelli prevegetati con immediata copertura della superficie.	Bassa biodiversità. Alti costi (soprattutto se si adottano pannelli prevegetati).
Piante in contenitori ad elevata densità (~ 15 m ²)	Può influenzare la selezione delle piante e la composizione della vegetazione. Costi minori rispetto ai pannelli.	Occorre più tempo per l'insediamento.
Semina o talee	Possibilità di selezionare e seminare le piante selezionate. Basso costo.	Richiede da 1 a 3 anni per insediarsi completamente. La semina o l'impianto possono avvenire solo in determinati periodi dell'anno (inizio primavera)
Colonizzazione naturale	Elevata biodiversità. Costi minimi.	Occorre molto tempo per l'insediamento delle piante. L'aspetto estetico che si ottiene non è sempre

Per ottenere un verde pensile destinato a durare nel tempo serve una accurata selezione delle piante, che tenga conto dei valori estetici che si vogliono raggiungere e anche i servizi ecosistemici che tale tipologia di verde può assicurare. Se i valori estetici e gli aspetti ecologici sono criteri cruciali nella progettazione dei tetti, il principale discriminante per la scelta della specie è la sopravvivenza delle specie stesse. Il processo di selezione deve tenere conto della struttura dell'edificio, dei valori estetici, delle condizioni microclimatiche, della manutenzione esistente e delle condizioni e profondità del substrato di coltura (Figura 8.2).

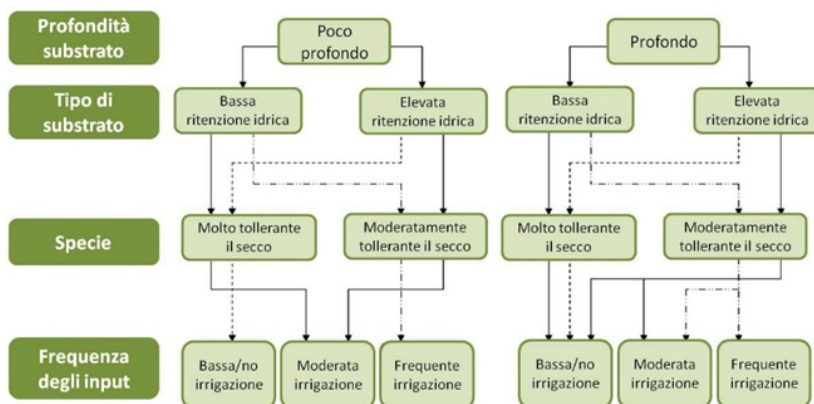


Figura 8.2. - Interazione tra i quattro fattori principali (profondità e tipo di substrato, selezione della specie e frequenza degli input) che secondo un approccio adattativo contribuiscono alla realizzazione di un tetto verde estensivo sostenibile e di successo. Diversi tipi di linea indicano la dipendenza più o meno obbligata fra i fattori (Fonte: Ntoulas et al., 2013, con modifiche).

La vegetazione del tetto verde, in particolare, deve essere meno dipendente dai nutrienti e più resistente agli stress abiotici delle specie che si possono utilizzare negli spazi a verde in piena terra. Le piante più idonee per il verde pensile devono essere in grado di tollerare il freddo, il caldo, la siccità, il vento, il sole, le malattie e gli insetti (Tabella 8.3). Proprio per assicurare una maggiore sopravvivenza in condizioni di carenza idrica sono spesso privilegiate piante con metabolismo acido delle crassulacee (CAM).

Tabella 8.3 - Tratti della pianta connessi con la tolleranza al secco e l'auto-sostenibilità per la sopravvivenza in un verde pensile estensivo (Van Mechelen et al., 2014, con modifiche).

Tratti da prendere in considerazione per l'esclusione delle specie	Tratti che sostengono l'esclusione
Forma biologica di Raunkier	Fanerofita
Statura pianta	Piante alte (> 1 m)
Sviluppo radici	Apparato radicale profondo (> 20 cm)
Tolleranza al secco	Nessuna tolleranza
Strategia di Grime	Nessuna tolleranza agli stress
Tratti da prendere in considerazione per l'inclusione delle piante	Tratti che sostengono l'inclusione
Forma biologica di Raunkier	Camefita, geofita e terofita
Statura pianta	Piante piccole (< 1 m)
Sviluppo radici	Apparato radicale superficiale (< 20 cm)
Tolleranza al secco	Tolleranza media o alta
Strategia di Grime	Ruderalità e/o resistenza agli stress

Fenologia fogliare	Sempreverde
Forma della foglia	Piccola, aghiforme
Forma biologica	Annuale o perennante
Strategia conservazione risorse	Succulenza
Ciclo fotosintetico	Metabolismo CAM facoltativo

L'idiotipo, però, si modifica se parliamo di verde estensivo o intensivo; per il primo sono consigliate specie vegetali resistenti alla siccità, durevoli e che richiedono poca manutenzione; per il verde pensile intensivo la scelta delle piante si amplia. In particolare la selezione delle piante da utilizzare nel verde estensivo dovrebbe tenere conto della tolleranza al deficit idrico nel substrato, del portamento che deve essere basso e prostrato (utile per ottenere una buona copertura), delle caratteristiche del fogliame (sono da privilegiare le sempreverdi) e del periodo di fioritura (più lungo possibile).

Nel verde pensile intensivo, invece, si può contare su un'ampia gamma di piante, comprendendo anche arbusti e alberi (Figura 8.3), aumentando così la capacità della copertura vegetale di ridurre l'inquinamento e di migliorare la qualità dell'aria (Rowe, 2011). Occorre tenere conto che le concimazioni, effettuate nel verde intensivo per promuovere l'accumulo di biomassa, rendono le piante più vulnerabili alla siccità (Rowe et al., 2006). È importante anche utilizzare numerose specie, in quanto la biodiversità che ne scaturisce favorisce l'insediamento della vegetazione (Lundholm et al., 2010; Rowe, 2011).



Figura 8.3 - Nel verde pensile estensivo, anche in ambiente mediterraneo, è possibile l'impiego di alberi e di numerosi arbusti. Nelle foto il giardino pensile della Cantina Pietradolce a Castiglione di Sicilia (CT).

La selezione delle piante deve tenere conto di diversi aspetti quali peso tollerato dalla struttura, copertura vegetale, livello di manutenzione e tolleranza alle difficili condizioni ambientali che si verificano nel verde pensile, come elevata esposizione al sole, substrati di coltivazione poco profondi, disponibilità idrica limitata, aumento della velocità del vento e periodi di siccità prolungati (Chow e Bakar, 2016). Le specie del genere *Sedum*, che sono succulente tappezzanti, sono molto utilizzate nei tetti verdi perché in grado di sopravvivere in ambienti difficili (Villarreal e Bengtsson, 2005); alcuni ricercatori, tuttavia, suggeriscono di privilegiare le specie autoctone a causa della loro elevata adattabilità alle condizioni climatiche del luogo (Chow et al., 2018). Per ampliare l'elenco di piante idonee al verde pensile è possibile includere specie che vivono in habitat analoghi a quelli che si verificano sui tetti, quali le dune costiere e gli affioramenti rocciosi (Figura 8.4), esposte ad alte temperature, con suoli poco profondi (Lundholm 2006).



Figura 8.4 - Gli ambienti xerici, con roccia affiorante, quali sono, ad esempio, l'altopiano ibleo (a sinistra) e le aree con colate laviche della costa catanese, possono essere habitat simili per l'individuazione di specie idonee al verde pensile.

Secondo Balachowski e Volaire (2018), è bene considerare nella scelta della specie sia il clima di origine che le caratteristiche della pianta, in quanto il primo indica l'ambiente in cui una pianta è adattata, ma sono le seconde che consentono di prevedere le probabili strategie ecologiche che la pianta utilizzerà in risposta alla limitazione delle risorse (Chu e Farrel, 2022).

Esistono diversi approcci per selezionare le piante adatte all'ambiente del tetto verde: ci si può basare sulle caratteristiche delle piante, attraverso un approccio morfo-fisiologico (Nagase e Dunnett, 2012; Lundholm et al., 2015) o sulla individuazione di habitat naturali che esprimono condizioni analoghe a quelle del verde pensile (Lundholm, 2006; Lundholm e Walker, 2018). Alcuni approcci fisiologici hanno testato la capacità delle piante di tollerare la siccità e di utilizzare l'acqua in eccesso quando presente, in quanto queste strategie sono funzionali per selezionare

le piante per tetti verdi dove la gestione delle acque piovane è importante (Farrell et al., 2013). Un'altra strategia si basa sulle caratteristiche climatiche della zona d'origine. Il clima è il fattore determinante della composizione e della struttura dell'ecosistema su larga scala, e la temperatura e le precipitazioni hanno grandi influenze sulla distribuzione delle specie (Birks e Birks, 2014). Gli indici di aridità, come l'Heat Moisture Index (HMI) (Du et al., 2019), possono essere misure utili in quanto rappresentano l'aridità dell'ambiente e considerano l'interazione tra temperatura e precipitazioni (Dobbs et al., 2014). Le piante provenienti da climi con un maggiore HMI sopportano condizioni più secche e più calde e questo può indicare una maggiore tolleranza alle condizioni di deficit idrico (Aspinwall et al., 2013). Gli arbusti possono anche essere molto resistenti alla siccità; ad esempio, quelli provenienti da habitat rocciosi secchi si sono rivelati in grado di sopravvivere a condizioni di carenza idrica quando posti in un tetto verde con substrato poco profondo (Farrell et al., 2013). Sebbene diversi studi abbiano valutato la tolleranza alla siccità degli arbusti provenienti da habitat aridi e semiaridi (Papafotiou et al., 2013; Raimondo et al., 2015; Savi et al., 2016), non esistono studi che abbiano valutato gli arbusti sulla base di approcci fisiologici e del clima di origine. Per quanto riguarda la ritenzione delle acque piovane, le specie arbustive ideali per i tetti verdi

dovrebbero avere un'elevata evapotraspirazione in condizioni di buona irrigazione, ma tollerare condizioni di deficit idrico, come attestato da un potenziale idrico a mezzogiorno più negativo (Farrell et al., 2013). Questa strategia è stata dimostrata per le specie monocotiledoni ed erbacee provenienti da affioramenti rocciosi, che hanno mostrato un elevato utilizzo di acqua in condizioni di buona irrigazione e anche tolleranza alla siccità riducendo il potenziale idrico in condizioni di carenza d'acqua. Non è chiaro, però, se questa combinazione di elevato utilizzo di acqua ed elevata tolleranza alla siccità esista anche negli arbusti perché la tolleranza alla siccità è spesso correlata negativamente con il tasso di traspirazione (Tardieu, 2005).

Le prestazioni dei tetti verdi potrebbero anche essere migliorate ampliando la gamma delle specie vegetali attualmente utilizzate (Butler e Orians, 2011; Lundholm et al., 2010; Nagase e Dunnett, 2010). La diversità delle piante, in termini sia di forma biologica che di tolleranza alla siccità, può migliorare il funzionamento dell'ecosistema, grazie alla complementarità delle prestazioni (Lundholm et al., 2010; Van Mechelen et al., 2015). Le specie di *Sedum*, ad esempio, possono facilitare la sopravvivenza delle piante non succulente riducendo le alte temperature del suolo durante i periodi di siccità (Butler e Orians, 2011). Il loro particolare percorso fotosintetico (CAM) e le foglie succulente

consentono loro di sopravvivere a periodi di siccità prolungati e li rendono la scelta principale per la vegetazione dei tetti verdi estensivi (Durhman et al., 2007). Anche le briofite, che possono colonizzare spontaneamente il substrato e sopravvivere a siccità estreme, sono in grado di mitigare le condizioni termiche del tetto verde estensivo e quindi facilitare la sopravvivenza di altre piante vascolari (Butler e Orians, 2011). Le geofite sono in grado di sopravvivere a periodi di siccità grazie all'accumulo di acqua negli organi sotterranei, quali bulbi e rizomi (Nagase e Dunnett, 2013). Soprattutto in un clima mediterraneo, le specie erbacee annuali appaiono promettenti, perché il breve ciclo di vita consente loro di trascorrere i mesi estivi secchi come semi e di germogliare nuovamente dopo le piogge autunnali (Van Mechelen et al., 2014).

In assenza di irrigazione, la selezione delle piante dipende principalmente dalla profondità del substrato del sistema di tetto verde (Dvorak e Volder, 2010). Nelle regioni semiaride possono essere necessari tetti con una profondità del substrato più profonda, che varia da 15 cm per le piante succulente a oltre 30 cm per erbacee e le aromatiche (Williams et al., 2010). Tuttavia, occorre trovare un compromesso tra profondità del substrato e peso, perché le strutture degli edifici spesso non possono supportare carichi di peso eccessivi (Benvenuti e Bacci, 2010). L'inclusione di uno strato per la ritenzione idrica, in cui l'acqua

disponibile per le piante viene immagazzinata per un periodo di tempo più lungo, potrebbe essere una valida soluzione (Dvorak e Volder, 2010). Inoltre, posizionare il tetto verde in una posizione più riparata riduce il tasso di evapotraspirazione e aiuta a mantenere il substrato umido per un periodo di tempo più lungo (Getter et al., 2009). L'esposizione dell'edificio influenza quindi la qualità floristica del tetto in termini di copertura vegetativa, ricchezza di specie e composizione delle specie stesse (Van Mechelen et al., 2015).

8.4.1. L'idiotipo di specie

Sono stati proposti diversi metodi per selezionare le specie su un tetto verde, come l'approccio basato su un modello "habitat analoghi" proposto da Lundholm e Walker (2018). Tale approccio si basa sul concetto che gli ecosistemi artificiali possono essere modificati per presentare condizioni simili a quelle di un habitat naturale (Figura 8.5), per cui le piante che vivono in quell'ambiente riescono ad adattarsi meglio al verde pensile (Lundholm e Richardson, 2010). Un altro approccio consiste, invece, nel basare la selezione su una determinata caratteristica della pianta che appaia strategica (Van Mechelen et al., 2014; Ksiazek-Mikenas e Köhler, 2018), come le dimensioni della pianta o il valore estetico (Benvenuti e Bacci, 2010) o la resistenza ad

uno stress abiotico. Il presupposto chiave di questo approccio è che gli stress abiotici sono i fattori critici che limitano la crescita e la sopravvivenza delle piante soprattutto nel verde pensile.



Figura 8.5 - Le piante che riescono a vivere in substrati piuttosto ridotti (a sinistra Papaver rhoeas e a destra Sulla capitata) possono essere prese in considerazione per il loro impiego nel verde pensile. Nel caso in questione si tratta di piante annuali per cui occorre tenere in considerazione il periodo di fioritura e la persistenza.

Un altro fattore che influenza il processo di selezione delle piante è la struttura della chioma. Dovrebbero essere selezionate, infatti, piante che abbiano una distribuzione delle foglie prevalentemente orizzontale e/o con uno sviluppo fogliare esteso, in modo da ridurre la trasmissione della radiazione solare. Altri fattori che devono essere considerati includono il tasso di crescita, il fabbisogno di nutrienti e la sensibilità all'inquinamento. Oltre alla siccità, le piante sui tetti verdi devono tollerare un'intensa radiazione e temperature elevate sia dell'aria che del substrato. Soprattutto elevati livelli termici nella zona radicale possono avere effetti dannosi anche sulla fisiologia, sulla crescita e sulla

biomassa delle piante (Liu e Huang, 2005). Savi et al. (2016) hanno riscontrato una significativa correlazione positiva tra la vulnerabilità delle radici allo stress da calore e la mortalità delle piante se poste in substrati caldi e secchi. Le piante ideali dovrebbero essere tolleranti la siccità, il caldo e il vento, essere resistenti ai parassiti, eliofile, di statura bassa, con elevata capacità di copertura e un apparato radicale poco profondo (Xiao et al., 2014). Devono essere evitate le piante che riescono a penetrare lo strato impermeabile del tetto (Figura 8.6).

È opportuno privilegiare piante che esprimono le seguenti caratteristiche: di agevole trapianto, di semplice manutenzione e con un tasso di crescita lento, resistenti all'inquinamento e in grado di assorbire o trattenere inquinanti. Le piante devono essere in grado di sopravvivere anche in presenza di grandi quantità d'acqua, poiché su alcuni tetti non esiste un buon sistema di drenaggio (Xiao et al., 2014). Gli alberi essendo più alti sono più esposti all'azione del vento rispetto ad altre tipologie di piante; la dimensione della chioma e delle foglie ne influenza la suscettibilità al vento, per cui spesso è necessario fornire degli ancoraggi (Getter e Rowe, 2006).



Figura 8.6 - Alcune specie (es. Opuntia ficus-indica) riescono a crescere in condizioni di carenza di substrato, anche in climi piuttosto caldi e aridi, come è il caso della Sicilia, ma possono mettere a repentaglio la struttura del tetto per l'azione aggressiva del loro apparato radicale (Foto: Marcella Scrimali).

Le piante ideali per i tetti verdi estensivi devono stabilirsi rapidamente, fornire un'elevata copertura del suolo, tollerare condizioni ambientali estreme e adattarsi alla limitata profondità del substrato (Durhman et al., 2007). Non sorprende quindi che le piante succulente siano fra i taxa più intensamente studiati, poiché hanno sistemi radicali poco profondi, un'elevata efficienza di consumo dell'acqua e sono in grado di tollerare le condizioni estreme riscontrate sui tetti verdi estensivi delle regioni settentrionali con substrati di crescita di 7-10 cm ma anche di 5 cm. Il genere *Sedum* si è rivelato molto affidabile in quanto ha una grande tolleranza alla siccità. Molte specie tollerano fino a 1 mese

senza precipitazioni e alcune specie di *Sedum* hanno resistito fino a 4 mesi senza acqua negli esperimenti in serra nella regione dei Grandi Laghi in USA (Durhman et al., 2006). Anche il genere *Delosperma* (Figura 8.7) è apparso idoneo e *D. cooperi* e *D. nubigenum* si sono rivelate idonee in molte regioni (Butler e Orians, 2009). Anche alcune piante erbacee perenni presentano efficaci misure adattative per far fronte alla siccità. La risposta dipende ovviamente dalle condizioni climatiche e dalla profondità del substrato: con substrati di 15 cm o più, molte piante erbacee autoctone sopravvivono nei climi settentrionali senza irrigazione (Lundholm, 2009). Quando si adottano piante con diverso habitus (succulente, erbacee e graminacee) si sono ottenuti una migliore gestione dell'acqua piovana e un maggiore raffreddamento rispetto agli impianti monoculturali (Dvoraka e Volder, 2010).



Figura 8.7 - Delosperma aberdeenense, a sinistra, resiste, come altre succulente (Echeveria elegans, a destra), alle condizioni del verde pensile estensivo e si lascia apprezzare per la vistosità della fioritura.

I tetti verdi sono spesso installati per ridurre il deflusso delle acque piovane urbane; per raggiungere questo obiettivo, le piante devono utilizzare l'acqua quando è disponibile, ma ridurre la traspirazione quando l'acqua stessa è in quantità limitata. Le specie succulente spesso non raggiungono questo obiettivo. A tal fine Farrel et al. (2013) hanno osservato il comportamento di specie rinvenute in ambienti ad affioramento granitico per valutare quali le strategie di utilizzo dell'acqua mettessero in atto in condizioni di disponibilità idrica contrastanti (Tabella 8.4). Le specie indagate hanno mostrato una buona plasticità nell'uso dell'acqua. In particolare gli autori hanno sviluppato un modello concettuale, utilizzando alcuni tratti fisiologici, per selezionare specie adatte per i tetti verdi. Le specie ideali sono quelle che utilizzano elevate quantità di acqua e che sono capaci al contempo di tollerare la siccità. In particolare i parametri analizzati sono stati: (i) strategia di utilizzo dell'acqua in condizioni di buona disponibilità idrica (WW), (ii) tasso di utilizzo dell'acqua in condizioni di deficit idrico (WD) e (iii) mantenimento dello stato dell'acqua in condizioni di WW. Le specie idonee sono quelle con un elevato utilizzo di acqua in condizioni di buona disponibilità idrica e che quindi sono in grado di ridurre il run off delle acque piovane e possono mantenere un buono stato idrico in condizioni di deficit idrico. Le specie con

ritmi lenti di utilizzo dell'acqua in condizioni di deficit idrico saranno più tolleranti alla siccità.

Tabella 8.4. Sintesi dei principali caratteri che consentono ad una specie di risultare idonea all'impiego nel verde pensile: 1) strategia di utilizzo dell'acqua in condizioni di buona disponibilità idrica (WW); 2) tasso di utilizzo dell'acqua in condizioni di stress idrico (WD) e cioè il tempo necessario per esaurire il contenuto di umidità del suolo e 3) stato idrico (potenziale idrico prima dell'alba; Ψ_{PD}) in condizioni di deficit idrico. Le aree evidenziate indicano le specie che hanno fornito i migliori risultati in termini di utilizzo dell'acqua (Fonte: Farrel et al., 2013 con modifiche).

Caratteristiche	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
Strategia di uso dell'acqua in condizioni di buona disponibilità idrica (WW)	Elevato consumo d'acqua (> 70 g H₂O vaso⁻¹d⁻¹) <i>Dianella admixta</i> (M) <i>Styphandra glauca</i> (M) <i>Derwentia perfoliata</i> (H) <i>Isotoma axillaris</i> (H)	Moderato consumo d'acqua (30-50 g H₂O vaso⁻¹d⁻¹) <i>Arthropodium millefolium</i> (M) <i>Lomandra longifolia</i> (M) <i>Brachyscome multifida</i> (H) <i>Chrysocephalum semipapposum</i> (H) <i>Correa reflexa</i> (S) <i>Calytrix tetragona</i> (S)	Basso consumo d'acqua (<20 g H₂O vaso⁻¹d⁻¹) <i>Grevillea alpina</i> (S) <i>Hibbertia obtusifolia</i> (S) <i>Sedum pachyphyllum</i> (Su)
Strategia di consumo di acqua in condizioni di deficit idrico (WD)	Elevato consumo d'acqua (<20 g H₂O vaso⁻¹d⁻¹) <i>Styphandra glauca</i> (M) <i>Derwentia perfoliata</i> (H) <i>Isotoma axillaris</i> (H)	Moderato consumo d'acqua (10-20 g H₂O vaso⁻¹d⁻¹) <i>Arthropodium millefolium</i> (M) <i>Dianella admixta</i> (M) <i>Lomandra longifolia</i> (M) <i>Brachyscome multifida</i> (H) <i>Chrysocephalum semipapposum</i> (H) <i>Correa reflexa</i> (S) <i>Calytrix tetragona</i> (S)	Basso consumo d'acqua (<10 g H₂O vaso⁻¹d⁻¹) <i>Grevillea alpina</i> (S) <i>Hibbertia obtusifolia</i> (S) <i>Sedum pachyphyllum</i> (Su)
Stato idrico (Ψ_{PD}) in condizioni di deficit idrico	Elevato stato idrico (Ψ_{PD} <-1.5 MPa) <i>Arthropodium millefolium</i> (M) <i>Dianella admixta</i> (M) <i>Lomandra longifolia</i> (M) <i>Styphandra glauca</i> (M) <i>Isotoma axillaris</i> (H) <i>Sedum pachyphyllum</i> (Su)	Moderato stato idrico (Ψ_{PD} -1.5÷-3.0 MPa) <i>Derwentia perfoliata</i> (H) <i>Calytrix tetragona</i> (S)	Basso stato idrico (Ψ_{PD} >-3.0 MPa) <i>Brachyscome multifida</i> (H) <i>Chrysocephalum semipapposum</i> (H) <i>Grevillea alpina</i> (S) <i>Hibbertia obtusifolia</i> (S) <i>Correa reflexa</i> (S)

Legenda: M = monocotiledone; H = erbacea; S = arbusto; Su = succulenta.

Nello studio, effettuato in Australia, a differenza della succulenta (*Sedum pachyphyllum*), utilizzata come testimone, tutte le specie dell'affioramento granitico hanno mostrato plasticità nell'uso dell'acqua; tuttavia le specie più resistenti alla siccità si sono dimostrate le quattro monocotiledoni (*Arthropodium milleflorum*, una geofita, *Stypantra glauca*, *Dianella admixta*, *Lomandra longifolia*, graminacee emicriptofite) e l'erbacea da fiore, sempre emicriptofita, *Isotoma axillaris*, presenti nelle depressioni superficiali sugli affioramenti granitici. Ciò è stato ottenuto attraverso una ridotta traspirazione e/o un elevato rapporto radice/peso totale pianta (RMF) a riprova che gli utilizzatori di elevate quantità di acqua possono anche essere resistenti alla siccità, rendendoli le specie più adatte per i tetti verdi. Tutte le specie analizzate avevano un certo grado di succulenza di radici, fusti o foglie; la selezione delle piante per i tetti verdi dovrebbe dare priorità a questi tratti nelle specie non succulente. Gli arbusti, es. *Grevillea alpina* o *Correa reflexa*, presenti in questi habitat si trovano generalmente in depressioni più profonde del suolo o in fessure (Biedinger et al., 2000) e possono evitare lo stress idrico accedendo all'acqua immagazzinata più in profondità nel substrato roccioso sottostante (Schwinning, 2010). Questa strategia, sebbene di successo sugli affioramenti granitici, non è efficace nei tetti verdi dal substrato poco profondo e quindi l'elevato potenziale

idrico e la risposta anisoidrica degli arbusti al deficit idrico sono una strategia rischiosa (Farrel et al., 2013).

Altri criteri di selezione, come la forma delle piante e l'aspetto estetico (Figura 8.8), possono essere presi in considerazione, anche se un approccio basato sulla risposta fisiologica alla disponibilità di acqua ha un grande potenziale anche per migliorare i servizi ecosistemici forniti dalle infrastrutture verdi (Farrel et al., 2013).



Figura 8.8 - Due aspetti di Anamorphose di François Abélanet, l'installazione presente al Parco Botanico Radice Pura di Giarre (CT), ad attestazione del valore estetico che può assicurare il verde pensile (Foto Marcella Scrimali).

Lundholm et al. (2015) hanno utilizzato quattro caratteristiche (altezza, area fogliare, *Specific Leaf Area* (SLA) e contenuto di sostanza secca nelle foglie) per valutare se queste caratteristiche fossero in grado di prevedere l'adattabilità alle condizioni del tetto

verde e i servizi ecosistemici. Per questi ultimi sono stati presi in considerazione sei indicatori, che incorporano le funzioni termiche, idrologiche, di qualità dell'acqua e di sequestro del carbonio. L'altezza media della specie e lo SLA sono risultati i tratti più utili, in grado di prevedere diversi servizi ecosistemici attraverso gli effetti sulla densità della chioma o sul tasso di crescita. Caratteristiche dei vegetali, facilmente misurabili, possono quindi essere utilizzate per selezionare le specie idonee ad ottimizzare le prestazioni del tetto verde, anche in chiave ecosistemica (Lundholm et al., 2015).

8.4.2. Scegliere la specie o l'associazione vegetale?

Anche se si potrebbe essere tentati di utilizzare per il verde pensile solo le specie ottimali, è meglio utilizzare piante di diverse forme biologiche e quindi strategie diverse di tolleranza alla siccità per garantire sia migliori prestazioni che resilienza agli stress (MacIvor et al., 2011). Numerose ricerche sottolineano, infatti, l'importanza delle interazioni biologiche fra le diverse specie che influenzano la sopravvivenza e la crescita delle piante, per cui si preferisce, nella scelta della specie, fare riferimento all'intera comunità vegetale più che alla singola pianta (McIntire e Fajardo, 2014). La composizione delle specie nelle comunità vegetali è determinata dalle loro interazioni con fattori biotici e abiotici.

Storicamente, si pensava che i fattori abiotici (umidità del suolo, temperatura, nutrienti e pH) avessero un'influenza più significativa sull'insediamento e sulla sopravvivenza delle specie e si sottovalutava il ruolo delle interazioni biotiche, di tipo negativo (competizione) o positivo (facilitazione) nello sviluppo delle piante e nella coesistenza e struttura delle comunità vegetali (Grime, 1973; Callaway, 1995). La presenza o l'assenza di queste interazioni influenza i rapporti sia all'interno che tra le comunità vegetali (Brooker e Callaghan, 1998). In particolare nell'ambito del verde pensile grande interesse hanno destato le cosiddette "piante nutrici" che facilitano la crescita di altre piante che vivono all'interno della loro chioma modificando il microclima (López et al., 2007), fornendo ombra in condizioni di elevate temperature (Butler e Orias, 2011), aumentando i nutrienti del suolo con l'incremento della sostanza organica in decomposizione (Anthelme e Dangles, 2012), riducendo l'azione negativa del vento (Le Roux e McGeoch, 2010) o aumentando il contenuto di umidità del suolo (Callaway, 2007). La presenza di piante nutrici, inoltre, aumenta la biodiversità delle specie, l'abbondanza della formazione vegetale e la sopravvivenza delle altre piante (Aguilar et al., 2019). Butler e Orias (2011), a tal proposito, hanno analizzato l'impiego di *Sedum album* come pianta nutrice per facilitare la crescita di *Agastache rupestris* e *Asclepias verticillata* e hanno notato come *S. album*

abbia agito come concorrente durante i periodi di abbondanza di acqua, riducendo la biomassa delle altre due specie, mentre ne ha migliorato le prestazioni durante il deficit idrico estivo, riducendone la mortalità.

Uno degli effetti di interazione fra le piante più importante è connesso all'ombreggiamento esercitato dagli individui più alti su quelli più bassi: in assenza di tale azione protettiva, l'elevata radiazione solare può determinare una ridotta attività fotosintetica dovuta alla fotoinibizione del PSII (Murata et al., 2007), con conseguente ritardo della crescita delle piante (Demmig-Adams e Adams, 2003), mentre le elevate temperature fogliari che si raggiungono comportano la chiusura degli stomi e l'inattivazione degli enzimi, con conseguente riduzione della crescita (Zandalinas et al., 2018). Soprattutto nei climi caldi si osserva l'efficacia dell'ombra per aumentare la crescita di molte specie, grazie al miglioramento delle condizioni microclimatiche (Aguiar et al., 2019). Il livello di ombra tollerabile da parte delle piante è connesso al loro punto di compensazione per la luce (LCP): anche per questo l'LCP delle diverse specie può essere un criterio da adottare per la selezione delle piante ornamentali che possono essere usate nelle aree urbane e peri-urbane (Francini et al., 2023) e anche nei tetti verdi. Da richiamare, inoltre, come nel verde pensile, accanto all'ombreggiamento determinato dalla

vegetazione, assumano notevole importanza i coni di ombreggiamento delle strutture contermini che possono modificare in maniera sensibile le condizioni microclimatiche.

Le diverse specie che insistono sui tetti verdi possono esprimere le strategie CSR descritte da Grime (1973). Questo autore, sintetizzando i diversi fattori ecologici che agiscono sulla vita delle piante, concentrò l'attenzione su due componenti fondamentali: il disturbo e lo stress. Si hanno condizioni di disturbo quando un fattore esterno alla comunità vegetale risulta dannoso così da determinare distruzione della biomassa (es. incendio, taglio ecc.); si parla invece di stress quando i fattori ambientali portano ad una riduzione della produttività (stress idrico, salino, termico ecc.). Ambienti che presentano contemporaneamente elevato stress ed elevato disturbo sono inaccessibili ai vegetali, mentre nelle restanti combinazioni (alto disturbo-basso stress, basso disturbo-alto stress, basso disturbo-basso stress) si osserva una serie di adattamenti fisiologici, morfologici e demografici che rappresentano le tre strategie vitali descritte da Grime: le specie competitive (C) che richiedono abbondanti risorse e sono in grado di sfruttarle meglio delle altre specie, sviluppando una serie di adattamenti specifici (es. rapido sviluppo dell'apparato fogliare, esteso sistema radicale), le ruderali (R) capaci invece di rigenerarsi rapidamente tra un episodio distruttivo e l'altro tramite rizomi, abbondanti

banche del semi ecc. e le tolleranti lo stress (S) che sono in grado di sopravvivere anche in condizioni di scarse risorse ambientali, risultando altamente efficienti e capaci di colonizzare ambienti preclusi ad altre specie (es deserti, calanchi, terreni salati ecc.). Pertanto, collegare l'uso dell'acqua delle piante alle caratteristiche delle foglie e alle strategie di CSR potrebbe aiutare a facilitare la selezione delle piante per i tetti verdi. A tal fine Lönnqvist et al. (2023) hanno determinato la crescita (biomassa dei germogli, tasso di crescita relativo e area fogliare), le caratteristiche fogliari (contenuto di sostanza secca fogliare, area fogliare specifica e succulenza) e le strategie CSR di 10 specie comuni sui tetti verdi europei (di cui tre succulente: *Phedimus spurium*, *Hylotelephium telephium*, *Sedum acre*; una graminacea: *Poa alpina*, e sei forbs: *Campanula rotundifolia*, *Galium verum*, *Hypericum perforatum*, *Lotus corniculatus*, *Tanacetum vulgare* e *Viola tricolor*) e le hanno correlate al loro utilizzo di acqua in condizioni di piena disponibilità (WW) o di deficit idrico (WD). Tutte le tre specie succulente incluse nell'esperimento hanno mostrato per lo più tratti di tolleranza allo stress e la loro perdita d'acqua è stata inferiore rispetto a quella del substrato privo di vegetazione, probabilmente a causa della copertura del substrato. Le piante con un maggiore utilizzo di acqua in condizioni di WW avevano strategie ruderali e competitive, una maggiore area fogliare e

biomassa dei germogli, rispetto a quelle che presentavano un minore utilizzo di acqua in WW. Tuttavia, le quattro specie con il più alto consumo di acqua in condizioni di WW (*Tanacetum vulgare*, *Viola tricolor*, *Poa alpina* e *Lotus corniculatus*) sono state in grado di ridurre il loro utilizzo di acqua in WD, indicando che potevano sia trattenere le precipitazioni che sopravvivere a periodi di limitazioni idriche. Questo studio indica che, per una ritenzione ottimale delle acque piovane, la selezione delle piante da tetto verde nelle regioni, almeno alle latitudini del nord Europa, dovrebbe concentrarsi sulla selezione di piante non succulente con strategie prevalentemente competitive o ruderali per sfruttare al meglio la lunga durata del giorno durante la breve stagione di crescita.

È stato dimostrato che la diversità delle specie vegetali e dei tratti funzionali migliora i servizi ecosistemici del tetto verde. Le differenze tra le specie e che contribuiscono ai servizi ecosistemici sono il prodotto del cambiamento evolutivo e della diversità filogenetica (PD). Per questo motivo MacIvor et al. (2018) hanno analizzato, utilizzando 28 specie di 12 famiglie diverse, sei combinazioni di comunità con diversi livelli di PD. Hanno così rilevato che la temperatura minima e media del tetto diminuiva con l'aumento della PD nella comunità vegetale. L'aumento della PD ha portato anche ad un aumento del volume di acqua piovana

catturata, anche se non proporzionale alla quantità di acqua persa per effetto dell'evapotraspirazione nelle 48 ore successive all'evento piovoso (MacIvor et al., 2018).

Nagase e Dunnet (2010) hanno indagato l'influenza della diversità biologica sulla sopravvivenza delle piante sottoposte a stress idrico. Sono state selezionate dodici specie dai tre principali gruppi funzionali comunemente utilizzati per i tetti verdi estensivi (*Sedum*, forbs, graminacee). Per ciascun gruppo sono state scelte quattro specie e piantate in combinazioni di diversità e complessità crescente: monoculture, miscele di quattro specie e miscele di dodici specie. Sono stati imposti tre regimi di irrigazione che prevedevano la somministrazione di acqua ogni 1, 2 o 3 settimane. I risultati hanno dimostrato che il miscuglio più diversificato era più vantaggioso rispetto ad una monocultura in termini di sopravvivenza e presenza di vegetazione. Combinazioni di specie diverse sotto il profilo funzionale raggiungono questo obiettivo in modo più efficace rispetto a piante dello stesso gruppo tassonomico che, quando coltivate insieme, competono per le stesse risorse (Nagase e Dunnet, 2010).

Se una singola funzione migliora in una comunità più ricca di specie rispetto a una monocultura, questo viene definito "vantaggio della miscela" (*mixture advantage*); tale vantaggio poggia su due fattori: il primo è connesso ai benefici connessi alla

coltivazione di specie diverse, il contributo di una specie ad una determinata funzione migliora quando la specie stessa viene coltivata con un'altra specie (Tilman et al., 2001); il secondo è la complementarità di nicchia (Tilman et al., 2001) e si verifica quando due o più specie, a causa delle differenze nell'utilizzazione delle risorse, possono sfruttare meglio le risorse disponibili. A tal fine è importante che le specie presentino differenze funzionali. Negli ecosistemi costruiti, in particolare, è improbabile che i progettisti vogliano fare affidamento sul caso per migliorare la funzione dell'ecosistema, quindi è importante identificare quali sono i più importanti tratti funzionali che determinano il funzionamento dell'ecosistema e determinare se le combinazioni di specie possono migliorare in modo affidabile tale funzionamento. Se le specie in una miscela sono relativamente simili, ad es. tutte piante succulente, la diversità funzionale sarà bassa, nonostante l'elevata variabilità tassonomica.

8.5. Le specie per l'ambiente mediterraneo

In molte regioni con climi caldi e secchi, compreso il Mediterraneo, la tecnologia dei tetti verdi non è molto diffusa (Williams et al., 2010), principalmente a causa del clima difficile (siccità estiva e temperature elevate) e della limitata disponibilità di acqua. Nel verde pensile, queste caratteristiche impongono

severe restrizioni alla crescita e alla sopravvivenza delle piante (Benvenuti e Bacci, 2010; Butler e Orians, 2011). Si presume che le piante non sopravvivano in climi semiaridi su tetti verdi non irrigati con profondità del substrato inferiore a 5 cm, soprattutto durante la siccità estiva o la fase di insediamento (Thuring et al., 2010; Williams et al., 2010). Inoltre, la scarsità idrica estiva è un problema ricorrente nel Mediterraneo e il cambiamento climatico porterà a una scarsità idrica ancora più grave, poiché si prevede una diminuzione delle precipitazioni estive del 5% per decennio (Vanuytrecht et al., 2014). Ciò potrebbe determinare che l'irrigazione diventi un'opzione insostenibile o addirittura regolamentata e limitata. È quindi necessario scegliere specie vegetali capaci di adattarsi all'assenza di irrigazione (Van Mechelen et al., 2014). Le aree mediterranee contengono habitat ricchi di specie vegetali autoctone che hanno il potenziale per essere utilizzate su tetti verdi estensivi (Van Mechelen et al., 2014), perché si ritiene che si adattino meglio alle condizioni climatiche locali e richiedano poca manutenzione (Dvorak e Volder, 2010). Dal punto di vista della biodiversità si potrebbe anche supporre che i tetti verdi possano costituire un nuovo habitat per alcune piante mediterranee i cui ambienti naturali sono in pericolo. La scelta può contare sul fatto che molte specie vegetali autoctone del Mediterraneo (in particolare le xerofite) esprimono

adattamenti morfo-funzionali e fisiologici che le rendono particolarmente idonee per il verde pensile: esse presentano, infatti, cambiamenti nelle strutture delle foglie (imbricate o spesso lineari, con cuticola spessa e cerosa, stomi infossati, superficie pubescente), delle radici (radici profonde, ampio capillizio radicale, rapido sviluppo nelle giovani piante), riduzione della fotosintesi e fenomeni di filloptosi in condizioni di siccità, elevata radiazione solare e alte temperature estive (Davis e Richardson, 1995).

Nonostante le ricerche in ambiente mediterraneo siano meno ampie rispetto a quelle effettuate in clima continentale, numerose specie autoctone sono state prese in considerazione. Azenas et al. (2018a), ad esempio, hanno analizzato la risposta di cinque specie mediterranee - *Brachypodium phoenicoides*, *Crithmum maritimum*, *Limonium virgatum*, *Sedum sediforme* e *Sporobolus pungens* - coltivate in regime idrico non limitante o restituendo il 50% dell'evapotraspirazione. Le specie erano state selezionate perché crescono in habitat naturali caratterizzati da suoli poco profondi con basso contenuto di sostanza organica, elevata radiazione solare e temperature estreme, cioè in condizioni analoghe a quelle che si registrano in un verde pensile. Alcune di queste, inoltre, (*S. sediforme*) sono specie succulente CAM o CAM-facoltative. Il comportamento di queste specie è stato monitorato per due anni.

Tutte le specie sono sopravvissute e hanno evidenziato idonee prestazioni estetiche e copertura vegetale. *S. sediforme* ha registrato minori variazioni dell'aspetto, la più alta produzione di biomassa e il più basso consumo di acqua. *B. phoenicoides* sembra essere, però, un'interessante alternativa, per le pregevoli caratteristiche estetiche e il consumo di acqua durante la stagione delle piogge, suggerendo un potenziale ruolo di questa specie nella regolazione delle acque piovane correlata alla riduzione del deflusso. *S. pungens* si è comportata bene in estate ma ha presentato uno scarso valore estetico durante l'inverno. *L. virgatum*, una pianta che cresce sulle coste rocciose, ha mostrato un buon valore estetico, sia per la sua fioritura che per la forma compatta, e un'elevata capacità di sequestro del carbonio. Al contrario, l'uso di una specie C4, come *S. pungens*, nel verde urbano nelle aree a clima mediterraneo viene di fatto limitato dalla difficoltà di questa specie di sopravvivere in inverno e di ricrescere all'inizio della primavera (Azenas et al., 2018a).

Al fine di ampliare la diffusione del verde pensile nell'ambiente mediterraneo è stato analizzato il contributo di quattro specie autoctone del Portogallo, resilienti e resistenti alla siccità - *Antirrhinum linkianum*, *Asphodelus fistulosus*, *Centranthus ruber* e *Sedum sediforme*. Sono stati valutati la crescita e il valore estetico in corrispondenza di due regimi irrigui (restituzione del 100 e 60%

dell'evapotraspirazione). *A. linkianum* ha presentato il numero più elevato di fiori, la durata di produzione dei semi più estesa e la copertura dell'area più elevata, dimostrando la sua idoneità all'uso. Il livello di irrigazione non ha influenzato significativamente la fioritura e la copertura verde per nessuna delle specie, per cui è possibile pensare di ridurre i costi di irrigazione adottando una irrigazione deficitaria (Esfahani et al., 2022).

Attenzione è stata anche posta alle specie terofite: le piante annuali contribuiscono, infatti, in modo significativo alla vegetazione dei sistemi mediterranei, ma la loro presenza nel verde pensile è stata finora limitata (Van Mechelen et al., 2014), probabilmente a causa della brevità del loro ciclo, della difficoltà di rigenerazione e della scarsa competitività rispetto alle piante perenni. Il fatto che tali piante siano assenti nei mesi estivi, determina un effetto di raffrescamento modesto nella stagione calda. Van Mechelen et al. (2014) hanno analizzato le piante presenti in habitat naturali del sud della Francia che presentavano caratteristiche simili a quelle dei tetti verdi e hanno individuato 372 specie potenzialmente utilizzabili sulla base di alcuni parametri funzionali; di queste il 35% sono terofite, il che indica che molte specie annuali possono essere prese in considerazione. Le terofite hanno proprietà interessanti, come un breve periodo di fioritura e la produzione di molti semi. Anche il loro valore conservazionistico può essere

importante in quanto nelle aree mediterranee molte piante annuali sono minacciate (Lavergne et al., 2006). Altri tratti, come il metabolismo CAM, la tolleranza allo stress e la succulenza, si sono già rivelati importanti per il successo sui tetti verdi (Oberndorfer et al., 2007).

Ovviamente lo strumento di screening fornisce un elenco potenziale, ma la prova definitiva si ottiene con prove sperimentali. Nonostante queste limitazioni, l'approccio basato sulle caratteristiche vegetali offre interessanti possibilità per le regioni mediterranee e può aiutare anche ad adattare la progettazione dei tetti verdi adatti ai futuri cambiamenti climatici (Van Mechelen et al., 2014).

Specie di salvia originarie della Grecia - cioè *Salvia fruticosa*, *S. officinalis*, *S. pomifera* ssp. *pomifera*, *S. ringens*, *S. tomentosa* e ibridi interspecifici - sono state valutate per il loro inserimento in un tetto verde estensivo in clima mediterraneo nel periodo estivo con irrigazione regolare o ridotta (ogni 2-3 giorni con umidità del substrato di 16-22% v/v e 4-5 giorni con umidità del substrato pari a 7-11% v/v). Indipendentemente dalla frequenza di irrigazione, *S. pomifera* ssp. *pomifera* x *S. ringens* e *S. officinalis* x *S. pomifera* ssp. *pomifera* hanno mostrato il tasso di sopravvivenza più alto tra tutti gli ibridi e le specie, oltre che una crescita soddisfacente, mentre *S. fruticosa* ha fatto registrare la sopravvivenza più bassa,

ad attestazione che numerose specie di *Salvia* possono essere utilizzate nel verde pensile estensivo nelle regioni aride (Papafotiou et al., 2022).

È stato analizzato il possibile impiego nel verde pensile di due arbusti mediterranei, *Arbutus unedo* e *Salvia officinalis*; la prima specie ha presentato una risposta sostanzialmente isoidrica (grazie alla riduzione dell'apertura stomatica ai primi segnali di stress, è stata in grado di contenere un eccessivo abbassamento del potenziale idrico) e la seconda anisoidrica (la pianta è apparsa in grado di sopportare forti variazioni del potenziale idrico limitando solo parzialmente la chiusura stomatica). Entrambe le specie potrebbero essere utilizzate nel verde pensile mediterraneo, anche se le specie anisoidriche appaiono più sensibili alle caratteristiche del substrato (Raimondo et al., 2015).

È stato dimostrato che ridurre la temperatura del suolo mantenendo la temperatura dell'aria relativamente elevata migliora la crescita e lo stato funzionale sia delle radici che dei germogli, garantendo la sopravvivenza delle piante (Huang et al., 2012). Ciò contrasta con la necessità di ridurre la profondità del substrato, per limitare il peso e i costi di installazione (Cao et al., 2014). Non sempre, però, la profondità del substrato diventa un fattore limitante nell'adozione degli arbusti: Savi et al. (2015) hanno monitorato il comportamento di due arbusti adattati alla siccità (*Cotinus*

cogygria e *Prunus mahaleb*), fatti crescere in moduli sperimentali con substrato profondo 10 o 13 cm. I risultati hanno messo in luce come la ridotta profondità del substrato si sia tradotta in uno stress idrico meno grave di quanto ipotizzato e che il substrato meno profondo stimola indirettamente un minor consumo di acqua come conseguenza della ridotta biomassa vegetale, per cui è possibile ipotizzare un verde pensile con l'impiego di arbusti resistenti allo stress in aree submediterranee anche in presenza di substrato profondo solo 10 cm.

Le prestazioni delle piante autoctone del Mediterraneo sui tetti verdi possono essere poi migliorate se invece di una monocoltura si adotta una comunità vegetale. Varela-Stasinopoulou et al. (2023) hanno analizzato la crescita, fioritura e tasso di autoriproduzione di tre comunità vegetali, create artificialmente e costituite da piante autoctone del Mediterraneo, poste in substrati di diversa profondità (8 e 15 cm) e con due regimi di irrigazione (alta, 20% ETo e basso, 10% ETo). Le comunità vegetali simulavano alcune cenobiosi dell'isola di Creta e della Grecia. Ciascuna delle tre comunità vegetali artificiali era composta da nove specie e sottospecie. Il substrato più profondo ha migliorato significativamente la crescita, la fioritura e la sopravvivenza della maggior parte dei taxa. Il regime di irrigazione non era significativo per tutte le specie, ad eccezione di una, ad attestazione che possono essere sufficienti

quantità minime di acqua per l'irrigazione. Quattro specie non sono riuscite a fiorire mentre 15 specie sono riuscite ad auto-riprodursi.

8.6. Conclusioni

Il verde pensile viene sempre più considerato per il suo contributo ai servizi ecosistemici, indispensabili per la vivibilità delle aree urbane. Molte delle sue funzioni sono connesse alla vegetazione che viene insediata e questo rende la scelta della specie uno degli aspetti più strategici della progettazione. Anche in ambiente mediterraneo sono possibili soluzioni sostenibili per la realizzazione del tetto verde che devono basarsi su una riduzione dell'altezza del substrato, per consentirne l'insediamento in un maggior numero di strutture, e un uso più razionale della risorsa idrica. Per l'individuazione delle specie l'analisi sia delle specie presenti in habitat simili che di alcune caratteristiche morfo-funzionali può essere considerata un'utile strategia. Per poter capire, però, se queste scelte sono funzionali solo prove sperimentali in contesti rappresentativi possono fornire indicazioni probanti. Un'altra strategia è quella di aumentare la biodiversità, sostituendo alla singola specie un'associazione vegetale, per utilizzare al meglio le relazioni positive che si possono instaurare tra specie diverse. Ma anche in questo caso solo specifiche prove

sperimentali potranno fornire quel quadro di conoscenze indispensabile per diffondere il verde pensile in ambiente mediterraneo.

9. L'invarianza idraulica-idrologica

9.1. Il concetto di invarianza idraulica-idrologica

I principi di invarianza idraulica e idrologica sono presenti all'interno della letteratura tecnico-scientifica da circa un ventennio (Pistocchi, 2001; Pistocchi & Zani, 2004; Caltabiano, et al., 2014; Pappalardo, et al., 2017), ma le corrispondenti tecniche per l'applicazione di tali principi sono utilizzate da molto prima. In particolare, il principio della laminazione delle portate è ben noto ed applicato da oltre un secolo, mentre i principi e i relativi sistemi di drenaggio urbano sostenibile (Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS) sono stati proposti ed utilizzati, anche prima che venisse coniata tale denominazione, da circa 50 anni (Paus, et al., 1974; Fujita, 1984; Holmstrand, 1984; Sieker, 1984; Alecci, et al., 1985; Petersson, et al., 1993; Strosser, et al., 2014; Fletcher, et al., 2015; Woods Ballard, et al., 2015; Licciardello, et al., 2020).

Per invarianza idraulica delle trasformazioni del suolo si intende il contenimento del valore della massima portata defluente dalle aree urbanizzate o comunque sottoposte a trasformazione d'uso entro il valore della portata preesistente alla trasformazione. In tal modo nei ricettori (naturali o artificiali) di valle si mantiene il grado di sicurezza (o non si aggrava il grado di pericolosità) correlato ai picchi di piena preesistenti all'urbanizzazione, e quindi non è

necessario incrementare le esistenti (o già programmate) opere di trasporto delle piene.

Per invarianza idrologica delle trasformazioni del suolo si intende invece, il mantenimento entro i valori preesistenti alla trasformazione del suolo sia della massima portata sia del volume di deflusso meteorico nelle aree urbanizzate. Così nei ricettori (naturali o artificiali) di valle si mantiene il grado di sicurezza (o non si aggrava il grado di pericolosità) correlato sia ai picchi di piena sia ai volumi di piena preesistenti alla trasformazione, e quindi non è necessario incrementare le esistenti (o programmate) opere di invaso e di trasporto delle piene.

Si osserva che, in genere, l'attuazione dei principi di invarianza non comporta che le portate defluenti dopo la trasformazione siano in ogni istante non superiori a quelle precedenti la trasformazione. I principi di invarianza idraulica e idrologica quindi, a differenza del principio dell'azzeramento del consumo del suolo, ammettono un incremento della trasformazione artificiale del suolo, e si preoccupano solo di non aggravarne gli effetti sui deflussi meteorici.

La Figura 9.1 mostra gli effetti sugli idrogrammi di piena determinati dalle trasformazioni del suolo (Figura 9.1a) e gli effetti attesi se la trasformazione avviene in condizioni di invarianza idraulica (Figura 9.1b) o idrologica (Figura 9.1c).

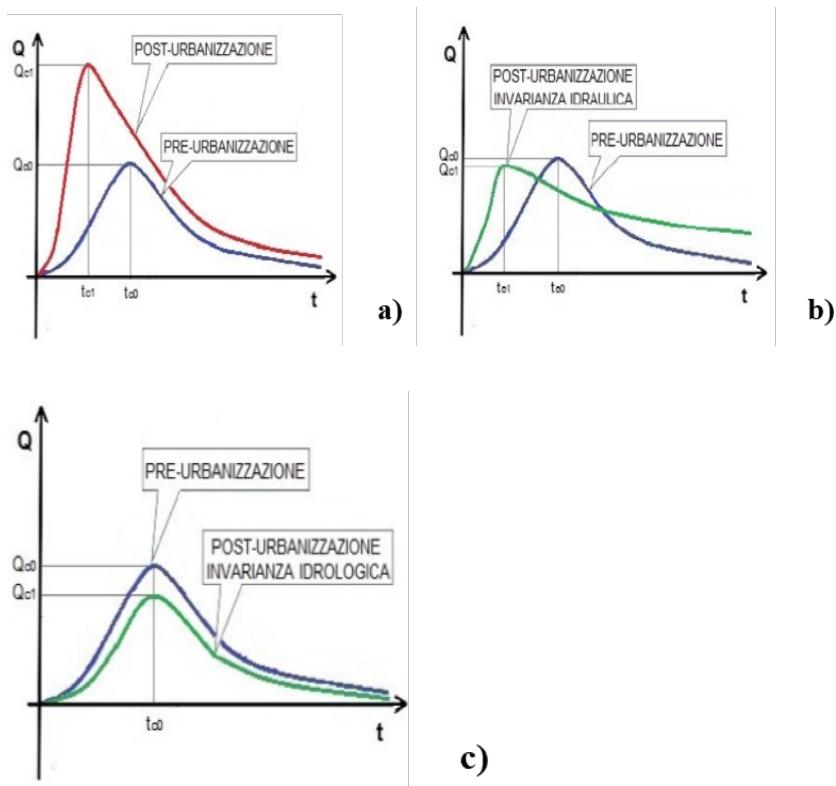


Figura 9.1 - Idrogrammi di piena prima e dopo la trasformazione del suolo (a), in condizioni di invarianza idraulica (b) e in condizioni di invarianza idrologica (c).

9.2. Principali direttive per la gestione delle acque di precipitazione

La tabella 9.1 descrive le principali direttive relative alla gestione delle acque meteoriche e le possibili strategie (Misure di Ritenzione Naturale delle Acque – MRNA) che possono contribuire al raggiungimento degli obiettivi delle politiche dell'Unione Europea.

In ambito comunitario la direttiva più importante in materia di acque, anche se non specificamente per quelle di precipitazione ma con evidenti riferimenti ad esse, è la Direttiva quadro sulle acque 2000/60/CE che, con l'obiettivo generale di raggiungere un buono stato ecologico e chimico di tutti i corpi idrici all'interno della C.E., ha messo a punto un quadro che persegue obiettivi specifici quali: la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento, la promozione di un utilizzo sostenibile dell'acqua, la protezione dell'ambiente, il miglioramento delle condizioni degli ecosistemi acquatici e la mitigazione degli effetti delle inondazioni e della siccità. La direttiva prevede l'individuazione e l'analisi di tutti i corpi idrici all'interno della C.E., classificate per bacino e per distretto idrografico di appartenenza, nonché l'adozione di piani di gestione e di programmi di tutela adeguate per ciascun corpo idrico.

Un'altra direttiva importante è la 2006/11/CE relativa all'inquinamento dovuto ad alcune sostanze pericolose, successivamente modificata dalla Direttiva 2008/105/CE "Standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque", recepita in Italia con D.L.gs 10 dicembre 2010, n. 219, che reca anche modifiche alla direttiva 2000/60/CE.

Un contributo al tema dell'integrazione delle politiche per le acque di precipitazione all'interno del quadro generale delle

politiche per l'ambiente, è fornito dal “Libro bianco sull'adattamento ai cambiamenti climatici” dell'aprile 2009, con cui la Commissione europea ha presentato il quadro delle misure di adattamento ai cambiamenti climatici e le politiche per ridurre la vulnerabilità agli impatti dei cambiamenti climatici. Il Libro bianco sottolinea la necessità “di promuovere strategie che aumentino la resilienza, della salute umana, dei beni e delle funzioni produttive del territorio, ai cambiamenti climatici tra l'altro migliorando la gestione delle risorse idriche e degli ecosistemi”. Nell'ambito delle azioni suggerite, nel dicembre 2009 è stato adottato un documento di orientamento sull'adattamento ai cambiamenti climatici nell'ambito della gestione delle acque per garantire che i piani di gestione dei bacini idrografici siano il più possibile resilienti ai cambiamenti climatici. Su tale linea la Commissione ha presentato nel 2012 un “Piano per la salvaguardia delle risorse idriche nella C.E.” che, insieme con l'analisi di tutti i piani per i 110 bacini idrografici del continente europeo, costituisce l'occasione per una revisione della strategia per combattere la carenza idrica e la vulnerabilità delle risorse idriche e ambientali ai cambiamenti climatici e alle pressioni antropiche (Langella, 2012).

Tabella 9.1 – Descrizione delle principali direttive in ambito comunitario e collegamento delle Misure di Ritenzione Naturale delle Acque (MRNA) con gli obiettivi delle politiche della Unione Europea.

Politica della Unione Europea	Obiettivi complessivi della politica	Collegamenti espliciti e impliciti alle MRNA o simili	Fonte
			<i>(Tabella 9.1)</i>
Direttiva quadro sulle acque	Ottenere un buono stato di tutti i corpi idrici in Europa	L'allegato VI della Water Framework Directive (WFD) fornisce un elenco di misure che possono essere prese in considerazione nella programmazione delle misure. Queste includono, fra l'altro, la ricreazione e il ripristino delle aree umide.	DIRETTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO del 23 ottobre 2000 che stabilisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo delle sull'acqua
Direttiva sulle alluvioni	Ridurre e gestire i rischi causati dalle alluvioni per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche	L'articolo 7 della direttiva sulle alluvioni specifica che i piani per la gestione dei rischi di alluvione possono anche includere la promozione di pratiche di gestione del paesaggio sostenibili, il miglioramento della gestione delle risorse idriche nonché, il controllo delle inondazioni di aree specifiche in caso di un evento alluvionale.	DIRETTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO del 23 ottobre 2007 sulla valutazione e gestione dei rischi da alluvione

<i>Politica della Unione Europea</i>	<i>Obiettivi complessivi della politica</i>	<i>Collegamenti espliciti e impliciti alle MRNA o simili</i>	<i>Fonte</i>
			(Tabella 9.1)
Strategia di adattamento o ai cambiamenti climatici	Rendere l'Europa più resistente ai cambiamenti climatici e migliorare la preparazione e la capacità di tutti a rispondere alle conseguenze dei cambiamenti climatici	La strategia della UE per l'adattamento ai cambiamenti climatici richiede l'inserimento di opzioni a basso costo. Queste includono una gestione delle risorse idriche sostenibile e sistemi di allarme precoce	COMUNICAZIONE DALLA COMMISSIONE *: Una strategia della UE sull'adattamento ai cambiamenti climatici
Infrastrutture e naturali	Promuovere lo sviluppo di infrastrutture verdi (Green Infrastructure, GI) creando un quadro che consenta di incoraggiare e facilitare i progetti di GI	Le soluzioni con infrastrutture verdi sono parte integrante anche della politica della UE sulla gestione dei rischi da disastri. [...] Gli impatti di tali eventi sulla società umana e sull'ambiente possono spesso essere ridotti utilizzando soluzioni GI, che possono essere realizzate in combinazione con le infrastrutture tradizionali, come le opere di protezione fluviale.	COMUNICAZIONE DALLA COMMISSIONE * Infrastrutture naturali (GI) - Miglioramento del capitale naturale dell'Euro

<i>Politica della Unione Europea</i>	<i>Obiettivi complessivi della politica</i>	<i>Collegamenti espliciti e impliciti alle MRNA o simili</i>	<i>Fonte</i>
Fonte Blueprint per la salvaguardia delle acque della UE	Assicurare che vi sia una quantità sufficiente di acqua di buona qualità per le esigenze delle persone, per l'economia e per l'ambiente in tutta la UE	Il Blueprint per la salvaguardia delle acque della UE promuove pratiche di utilizzo del suolo alternative per contribuire al raggiungimento di un buono stato ecologico come delineato dalla WFD, facendo specifico riferimento alle MRNA. In particolare afferma quanto segue: fra le misure che possono contribuire in gran parte a limitare gli effetti negativi delle alluvioni e della siccità vi sono le infrastrutture verdi. Tali misure devono essere incluse sia nelle RBMP (River Basin Management Plan) che nelle FRMP (Flood Risk Management Plan) e dovrebbero diventare una priorità per il finanziamento (PAC, fondi strutturali e fondi di coesione)	COMUNICAZIONE DALLA COMMISSIONE *: Un blueprint per la salvaguardia delle acque dell'Europa

(Tabella 9.1)

<i>Politica della Unione Europea</i>	<i>Obiettivi complessivi della politica</i>	<i>Collegamenti espliciti e impliciti alle MRNA o simili</i>	<i>Fonte</i>
			<i>(Tabella 9.1)</i>
Politica agricola comune (PAC)	Miglioramento delle prestazioni ambientali tramite una componente obbligatoria dei pagamenti diretti finalizzata all'aumento delle componenti ecologiche	Le misure di incentivazione ecologica della PAC, fra cui la diversificazione delle colture, il mantenimento di prati permanenti e di aree di attenzione ecologica, rappresenteranno il 30% dei pagamenti di una singola azienda agricola.	COMUNICAZIONE DALLA COMMISSIONE *: La PAC verso il 2020: Rispondere alle sfide alimentari, territoriali e delle risorse naturali del futuro

<i>Politica della Unione Europea</i>	<i>Obiettivi complessivi della politica</i>	<i>Collegamenti espliciti e impliciti alle MRNA o simili</i>	<i>Fonte</i>
Regolament o sullo sviluppo rurale (RSR)	Ripristino, conservazion e e migliorament o degli ecosistemi relativi all'agricoltura e alla silvicoltura	La conservazione della risorsa idrica è un obiettivo implicito delle priorità della UE per lo sviluppo rurale. L'articolo 5 della normativa 1305/2013 fa riferimento al ripristino, alla conservazione e al miglioramento degli ecosistemi relativi all'agricoltura e alla silvicoltura, con particolare attenzione sulle seguenti aree: a) ripristino, conservazione e miglioramento della biodiversità, fra cui le aree Natura 2000 e le aree soggette a limiti naturali o altri limiti specifici e all'agricoltura con elevati valori naturali, oltre che allo stato dei paesaggi europei; b) miglioramento della gestione agricola, inclusa la gestione di fertilizzanti e pesticidi; c) prevenzione dell'erosione del suolo e miglioramento della gestione del suolo.	REGOLAMENT O (UE) N. 1305/2013 DEL PARLAMENTO E DEL CONSIGLIO EUROPEO del 17 dicembre 2013 sul supporto allo sviluppo rurale da parte del Fondo Agricolo Europeo per lo Sviluppo Rurale (FEASR) e abrogazione del regolamento del consiglio (CE) N.1698/200

(Tabella 9.1)

(*) AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI

A livello nazionale l'effettivo recepimento degli indirizzi politici comunitari non risulta ancora completo e solamente alcune regioni hanno applicato concretamente i principi che sottendono ad una gestione sostenibile dei deflussi meteorici come ad esempio nel caso della Regione Lombardia con la L.R. 4/2016, della Regione Friuli Venezia Giulia con il Regolamento di cui all'articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 aprile 2015, n. 11, dell'Emilia Romagna con la Delibera 3/2 2003, della Regione Veneto con la D.G.R.V. 1322/2006 – 1841/2007, della Provincia e del Comune di Bolzano con il RIE e infine della Provincia di Torino con il P.T.C.P. 2010.

Seppur solamente di recente la Regione Sicilia ha messo a punto un regolamento per l'applicazione dei principi relativi alla gestione sostenibile dei deflussi con il *D.D.G. n. 102 del 23/06/2021* “*Aggiornamento criteri e metodi di applicazione del principio di invarianza idraulica e idrologica*” (Dipartimento Regionale dell'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia), il rispetto del principio di invarianza idraulica-idrologica era già richiesto dai principali di pianificazione regionale, di Distretto e di bacino idrografico, del settore delle acque e della protezione idrogeologica del territorio, quali il *Piano di Gestione del Distretto Idrografico*, il *Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)* ed il *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)*, in cui si trovano

espliciti riferimenti all'applicazione delle MRNA. Di seguito si riportano i principali richiami nel PGRA e nel Regolamento Edilizio del Comune di Catania.

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del distretto idrografico della Sicilia (PGRA). Le MRNA sono riportate tra le misure da implementare PGRA. Il PGRA, redatto in attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni, è stato approvato con il D.P.C.M. del 7 marzo 2019 (GURI n. 198 del 24/08/2019). Nel PGRA viene esplicitato che “Nella definizione del sistema di misure si darà particolare priorità alle misure non strutturali cui è riconosciuta la capacità di costituire soluzioni robuste e flessibili in relazione alle incertezze dovute ai vari fattori (cambiamenti climatici, gap conoscitivi).” Inoltre, “Particolare attenzione verrà data alle misure di gestione naturalistica con il ricorso alle infrastrutture verdi e infrastrutture blu, in aree agricole e urbane e alle misure di ritenzione naturale (MRNA).” Nel paragrafo 7.4.3 “*Gestione naturale delle piene a livello locale e/o di bacino: Le infrastrutture verdi e le misure di ritenzione naturale delle acque (MRNA)*” viene specificato che “la misura comprende una serie di azioni finalizzate alla riduzione delle portate di piena mediante il ripristino dei sistemi naturali in grado di rallentare la formazione e la propagazione delle piene migliorando la capacità di ritenzione, espansione e laminazione ...

“Rientrano a pieno titolo in questo sistemi d'interventi le infrastrutture verdi e blu”.

Rapporto ambientale del PGRA (2018). Nel rapporto ambientale relativo al PGRA (anno 2018) è riportato che le misure di protezione prevedono, tra altre, l'adozione di sistemi di ritenzione naturale delle piene e di drenaggio urbano sostenibile finalizzate come di seguito indicato (cod. 2.1 e 2.2):

1. Ridurre le portate nella rete di drenaggio naturale o artificiale, potenziamento della capacità d'infiltrazione, realizzazione e/o ripristino dei sistemi naturali per aiutare il flusso lento e la ritenzione delle acque e infrastrutture verdi o blu. La misura è finalizzata a ripristinare o potenziare le funzioni eco-sistemiche di formazione deflussi e di laminazione delle piene mediante le infrastrutture verdi o blu. Rientrano in tale azione anche gli interventi di rinaturalizzazione già individuati nel piano di gestione del distretto idrografico ex direttiva 2000/60.
2. Ridurre i deflussi superficiali, tipicamente in ambiente urbano, migliorando l'efficacia delle reti di drenaggio urbano, il drenaggio urbano sostenibile, le vasche di laminazione, il principio di invarianza idraulica e i canali di gronda.

Regolamento edilizio del Comune di Catania. Nel Regolamento edilizio del Comune di Catania (adeguato al Decreto 2.12.2014, pubblicato sulla G.U.R.S. n. 54 del 24.12.2014 e riapprovato con D. 24.3.2015), alcune MRNA vengono riportate nell'art.80 tra le soluzioni per implementare il principio di invarianza idraulica nelle nuove edificazione e trasformazioni del territorio (Paragrafo 3.2).

Nello specifico il D.D.G. n.102 del 23/06/2021 si inquadra nell'ambito delle "Linee guida per gli standard di qualità urbana ed ambientale e per il sistema delle dotazioni territoriali" previste all'art. 51 della legge regionale 13 agosto 2020, n. 19, e costituisce il riferimento tecnico e normativo per l'applicazione del "principio di invarianza idraulica-idrologica" nell'ambito dei piani particolareggiati attuativi del Piano Urbanistico Generale (PUG) nonché dei regolamenti edilizi dei Comuni siciliani.

All'art.3 del presente decreto è stato riportato che "il principio di invarianza idraulica e/o idrologica deve essere applicato *a tutte le trasformazioni del territorio* che comportino modifiche alle condizioni naturali del regime idrologico che inducano un aumento delle portate recapitate ai corpi idrici naturali o artificiali". In particolare tale principio si applica ai seguenti ambiti:

- a) alle attività di pianificazione urbanistica e territoriale in senso ampio del termine [...];

- b) alle trasformazioni edili ed urbanistiche: nuove costruzioni; demolizioni, parziali o totali e ricostruzioni [...]; ampliamenti nonché interventi di trasformazione edilizia, trasformazione urbanistica, ristrutturazione urbanistica [...];
- c) alle infrastrutture di trasporto (strade e autostrade) e loro pertinenze, ai parcheggi [...]; nuove strade e nuovi parcheggi con riferimento alle componenti che comportano riduzione della permeabilità del suolo.

Infine, con la pubblicazione sulla GURS regione Sicilia del 20 ottobre 2023 del *Decreto n. 790/2023* Approvazione delle “Direttive tecniche per la verifica di coerenza di Piani e Programmi dell’Unione europea, nazionali, regionali e locali con gli obiettivi del Piano di bacino della Regione siciliana e dei suoi Piani stralcio” [art. 63, co. 10, lettera b), D.lgs. n. 152/2006] sono entrate in vigore nuove importanti disposizioni che regolano le procedure di verifica e coerenza dei piani urbanistici (e non solo) con il Piano di Bacino della Regione Siciliana. Il presente decreto riguarda sia i piani generali che quelli attuativi (lottizzazioni comprese) e configura una nuova impegnativa attività di verifica propedeutica all’approvazione dei piani.

In particolare, il decreto n.790/2023 “*onera, i proponenti (e/o autorità procedenti) di un Piano/Programma, alla compilazione di*

una scheda, riportata in Allegato 1, per la raccolta delle informazioni propedeutiche alla verifica di coerenza con il Piano di bacino distrettuale e dei suoi Piani stralcio". A seguito della verifica di coerenza, il parere sarà espresso dalla Conferenza permanente, costituita ai sensi del DSG n.4 del 20/01/2023. La pianificazione esterna che dovrà essere sottoposta ad analisi e verifica di coerenza col Piano di bacino e di tutta la pianificazione stralcio ad esso collegata, al fine di individuare eventuali previsioni contrastanti con gli obiettivi di sostenibilità e qualità ambientali espressi dai piani e programmi di altro livello, è la seguente:

- Piani/Programmi Nazionali, vari settori (acqua, energia, trasporti, rifiuti, ecc.)
- Piano regionale dei materiali da cava e dei materiali lapidei di pregio
- Piano regionale integrato infrastrutture e mobilità
- Piano regionale per la gestione dei rifiuti
- Piano regionale energetico-ambientale
- Piano regionale delle bonifiche delle aree inquinate
- Programma di sviluppo rurale
- Piano forestale regionale
- Piano paesaggistico regionale
- Piano Territoriale Regionale

- Piani Urbanistici Generali
- Piani Regolatori Generali comunali incluse le loro varianti
- Piano Territoriale Consortile
- Piano della Città Metropolitana
- Piani Territoriali Comunali
- Piani Particolareggiati Attuativi
- Piani di Lottizzazione comunali

Le verifiche di coerenza con il Piano di bacino distrettuale e dei suoi Piani stralcio si applicano a tutti i livelli di procedure di V.A.S., di Conferenze di Pianificazione ex art. 10 L.R. n. 19/2020 e s.m.i. e di qualsiasi altra forma di procedimento istruttorio che richieda il parere dell'Autorità di Bacino.

9.3. Processi e metodologie per l'applicazione dell'invarianza idraulica-idrologica

Il controllo e la gestione delle acque pluviali per l'applicazione dell'invarianza idraulica-idrologica possono essere ricondotti a quattro tipi di processi: a) laminazione (detention): il temporaneo accumulo in un vaso di una parte del volume di deflusso superficiale e il successivo rilascio con portata massima ridotta entro il valore preesistente la trasformazione; b) infiltrazione (infiltration): l'incremento del deflusso profondo, con conseguente decremento del deflusso superficiale, mediante l'incremento dell'estensione (o della permeabilità) delle superfici permeabili; c) evapotraspirazione (evapotranspiration): l'incremento dell'evaporazione e della traspirazione, con conseguente decremento del deflusso superficiale, mediante l'incremento delle superfici vegetate e/o l'impianto di vegetazione più idroesigente; d) recupero (harvesting): la raccolta ed accumulo del volume di deflusso superficiale (in parte o del tutto) in un vaso e il successivo utilizzo per usi compatibili. Si indica col termine ritenzione (retention) la combinazione dei processi di infiltrazione, laminazione ed evapotraspirazione che viene attuata in alcuni sistemi per conseguire l'invarianza. Consiste nell'intercettazione ed accumulo del volume di deflusso superficiale (in parte o del tutto) e nella successiva immissione (anche parziale) nel ciclo

idrologico per infiltrazione nel suolo e/o evapotraspirazione, senza (o con ridotto) deflusso superficiale.

Tutti i processi sopradescritti possono essere utilizzati per conseguire l'invarianza idraulica, mentre l'invarianza idrologica è possibile raggiungerla mediante l'impiego di tutte le metodologie esclusa la laminazione.

Si possono individuare due approcci per le opere finalizzate a conseguire l'invarianza idraulica o idrologica e, più in generale, per mitigare gli effetti delle piene in ambito urbano, qui di seguito indicati come tradizionale e sostenibile. L'approccio tradizionale prevede principalmente opere di tipo concentrato individuando tipologie di interventi, per lo più basati su strutture di laminazione, posti nella parte medio-valliva dei bacini e/o sottobacini urbani. L'approccio sostenibile privilegia invece interventi di tipo distribuito sull'intero bacino incluse le sue porzioni più a monte. Tali approcci si differenziano quindi anche in funzione della posizione delle opere rispetto all'area oggetto di trasformazione. Tale posizione può essere a valle dell'area oggetto di trasformazione, prima dello scarico nel recettore oppure all'interno dell'area oggetto di trasformazione e, se possibile "alla sorgente" (laddove le acque meteoriche precipitano), cioè già nella superficie da trasformare.

L'approccio sostenibile prevede di ridurre le portate di piena generate nelle diverse parti del bacino con interventi distribuiti che possano includere le porzioni più a monte e periferiche del bacino stesso per intervenire già nelle fasi iniziali del processo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi. Tale approccio viene attuato sfruttando i processi di ritenzione e/o recupero, anche abbinati alla laminazione. Questi ultimi vengono indicati come Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibili (Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS). Tra le opere più diffuse vi sono (i) le pavimentazioni permeabili, che favoriscono l'infiltrazione delle acque di deflusso superficiale nel suolo; (ii) i tetti verdi, che favoriscono la ritenzione dei deflussi meteorici ed evapotraspirazione, e (iii) i giardini della pioggia. Le tecniche SUDS consentono di mitigare gli effetti degli allagamenti urbani contenendo gli apporti meteorici ai ricettori tramite controllo "alla sorgente" (prima che la precipitazione si trasformi in deflusso superficiale) in maniera diffusa all'interno del bacino, nonché di ridurre il degrado qualitativo delle acque. Tali tecniche vengono spesso affiancate alle tecniche più tradizionali di tipo strutturale e sono prevalentemente indicate in letteratura come soluzione ai problemi legati alla formazione dei deflussi nel caso di eventi meteorici con più basso tempo di ritorno (in genere non superiore ai 5 anni).

La progettazione di SUDS può essere finalizzata al controllo quantitativo delle acque di deflusso urbano, al controllo della qualità delle stesse acque, ma anche al miglioramento della qualità dell'ambiente urbano e al miglioramento delle biodiversità. Gli interventi SUDS progettati per il controllo quantitativo dei deflussi riducono la probabilità di allagamento delle aree urbane dovuto allo sviluppo dell'impermeabilizzazione. Possono aiutare a salvaguardare il ciclo idrologico naturale delle acque migliorando i processi di regolazione dei livelli di contenuto idrico nel suolo (e successivi processi di evapotraspirazione), mantenendo portate minime di base all'interno dei corsi d'acqua in area urbana e reintegrando gli acquiferi sotterranei. Possono inoltre contribuire a ridurre il rischio di erosione dei versanti dei bacini diminuendo quindi i volumi di sedimenti trasportati a valle e riducendo il degrado dei corsi d'acqua per mantenerne alto lo stato ecologico. Le tecniche SUDS sono maggiormente efficaci nel ridurre il rischio di alluvione per eventi di intensità non troppo elevata, di breve e media durata. Pertanto, risultano generalmente idonee a mitigare allagamenti potenziali di tipo pluviale da bacini di piccole dimensioni e più specificamente dalla rete di drenaggio urbano, o, al più, allagamenti dovuti ad esondazioni da corsi d'acqua con piccolo bacino.

Nello specifico, tra le SUDS i tetti verdi, oggetto del presente manuale, sono capaci di ridurre la generazione del deflusso superficiale grazie al ripristino/ripresa di uno dei processi del ciclo idrologico (intercettazione delle piante, infiltrazione, e ritenzione del substrato). Inoltre, la vegetazione rallenta il deflusso superficiale, in particolare prima della fase in cui il substrato diventa saturo. In questi termini, i tetti verdi contribuiscono al controllo del deflusso delle acque piovane, trattenendolo o ritardandolo, minimizzando il rischio idraulico, e sono considerati un importante strumento nella prevenzione e controllo dello stesso. In questo contesto, diversi autori hanno quantificato, in termini percentuali, la capacità di un tetto verde di ritenere il deflusso superficiale (Tabella 9.2) e ridurre il deflusso e le portate (Tabella 9.3).

Tabella 9.2 - Valori medi, espressi in percentuale, di ritenzione del deflusso superficiale di un tetto verde estensivo e/o intensivo.

<i>Reference</i>	<i>Tipologia di Tetto Verde</i>	<i>Intervallo di Ritenzione</i>
		<i>(Tabella 9.2)</i>
Metselaar (2012)	Estensivo e intensivo (5, 10, 20, 40, 60 e 80 cm)	Da 55 a 75%
Wong and Jim (2014)	Intensivo (16 piattaforme con 40 e 80 cm)	Valore medio tra 39 e 43%
Stovin (2010)	Estensivo (prototipo con 5 cm)	Valore medio pari a 34%
Graceson et al. (2013)	Estensivo (36 impalcati di 1.0 m ² con 20 cm)	44%
Stovin (2013)	Estensivo (20 cm)	Da 3.2 a 23%
Ohnuma et al. (2014)	Estensivo (5 cm)	Da 30 a 57%
Lee et al. (2015)	Estensivo (7 siti pilota con 15 e 20 cm)	Da 13 a 34% (15 cm) Da 43 a 61% (20 cm)
Carson et al. (2013)	Estensivo (3 siti pilota con 5 cm)	Da 21 a 34% Per piogge > 5 cm
Palla et al. (2010)	Estensivo (prototipo con 12 cm)	Valore medio di 51%
Longobardi et al. (2010)	Estensivo (due prototipi con 15 cm)	Superiore al 75% Tra 50% e 100%
Palla et al. (2008)	Estensivo (20 cm)	Valore medio tra 85%
De Silva et al. (2019)	Estensivo (prototipo con 21 cm)	Da 68% a 82% rispettivamente per 11.58 cm e 14.54 cm di pioggia
Liu et al. (2020)	Estensivo (terreno naturale e torba, 5 cm)	34.7% (secco); 14.7% (umido)

<i>Reference</i>	<i>Tipologia di Tetto Verde</i>	<i>Intervallo di Ritenzione</i>
<i>(Tabella 9.2)</i>		
Liu et al. (2020)	Estensivo (terreno naturale, torba, aghi di pino e perlite, 10 cm)	41.5% (secco); 28.9% (umido)
Liu et al. (2020)	Estensivo (terreno naturale, torba, perlite e vermiculite, 15 cm)	48.5% (secco); 30.6% (umido)
Liu et al. (2020)	Estensivo (terreno naturale e torba, 5 cm)	64.9% (secco); 35.1% (umido)

Tabella 9.3 – Valori medi, espressi in percentuale, di riduzione del deflusso superficiale e delle portate di un tetto verde estensivo e/o intensivo.

	<i>Reference</i>	<i>Tetto verde estensivo</i>	<i>Tetto verde intensivo</i>
Riduzione deflusso	Oberndorfer et al. (2007)	66 to 69%	25 to 100%
	Rowe (2011)	50 to 60%	-
	Gregoire and Clausen (2010)	34 to 69%	-
	Mentens et al. (2006)	27 to 81%	54%
	Hathaway et al. (2008)	77 to 88%	54%
	Galarza-Molina et al. (2014)	38 to 100%	54%
Riduzione portate	Palla et al. (2008)	95%	-
	De Silva et al. (2019)	59-81%	-
	Berardi et al. (2014)	57 to 71.7%	-

Il tetto verde semi-intensivo finanziato nell'ambito del progetto GIFLUID - "Green Infrastructures to mitigate flood risks in Urban and sub-urban areas and to improve the quality of rainwater discharges" (programma INTERREG V A Italia-Malta 2014-2020) e realizzato sulla copertura dell'atrio del corpo B del Polo Bioscientifico, ubicato a Catania in Via S. Sofia 100 sede del Dipartimento di Agricoltura Alimentazione e Ambiente (Di3A) dell'Università di Catania, è un esempio di SUDS.

Il tetto verde ha una superficie complessiva di circa 900 m² ed è accessibile direttamente da una porta ubicata al primo piano del corpo B dell'edificio del Polo Bioscientifico.

Il tetto verde realizzato, tenendo conto delle linee di impluvio e displuvio della copertura esistente, è stato suddiviso in sette settori con tre diverse tecnologie più il controllo, necessario per valutare il deflusso di coperture tradizionali in confronto alle tecnologie utilizzate che sono le seguenti:

- Tecnologia con moduli drenanti
- Tecnologia sperimentale
- Tecnologia "GreenSafe"

Per ulteriori approfondimenti è possibile consultare il sito web del progetto www.giffluid.eu

Di seguito alcune immagini della copertura prima della realizzazione del tetto verde (Figura 9.2) e dopo (Figura 9.3). La Figura 9.4, invece, illustra il sistema di monitoraggio che è stato installato in ciascuna delle 3 tecnologie, oltre che nel controllo, per valutare l'efficacia del tetto verde in termini di ritenzione e riduzione del deflusso superficiale e delle portate.



Figura 9.2 - Copertura ante operam dell'atrio del corpo B del Polo Bioscientifico, ubicato a Catania in Via S. Sofia 100 sede del Dipartimento di Agricoltura Alimentazione e Ambiente (Di3A) dell'Università di Catania.



Figura 9.3 - Copertura post operam dell'atrio del corpo B del Polo Bioscientifico, ubicato a Catania in Via S. Sofia 100 sede del Dipartimento di Agricoltura Alimentazione e Ambiente (Di3A) dell'Università di Catania.



Figura 9.4 - Sistema di monitoraggio installato per ciascuna delle 3 tecnologie, oltre che il controllo, implementate per valutare l'efficacia del tetto verde in termini di ritenzione e riduzione del deflusso superficiale e delle portate.

10. Verde pensile ed efficienza energetica

10.1. Il verde pensile nell'architettura sostenibile

Nel panorama dell'architettura contemporanea, il verde pensile si afferma come elemento chiave nell'evoluzione verso un approccio più sostenibile e integrato nel contesto urbano. Questi spazi, che uniscono natura e architettura, non sono solo un arricchimento estetico per gli edifici, ma giocano un ruolo vitale nel migliorare l'efficienza energetica, la biodiversità e la qualità dell'ambiente urbano.

L'integrazione del verde pensile risponde alle sfide dell'urbanizzazione intensiva e del cambiamento climatico. Offrono un'oasi di verde in ambienti urbani densamente popolati, contribuendo significativamente a ridurre l'impatto ambientale degli edifici. Questi sistemi verdi non solo filtrano l'aria, migliorandone la qualità, ma sono anche efficaci nel ridurre l'effetto isola di calore urbano, abbassando la temperatura nelle aree circostanti.

Il verde pensile incarna i principi della bioarchitettura, che mira a creare un equilibrio tra gli spazi costruiti e l'ambiente naturale (Yeang, 2006). Utilizzando materiali ecocompatibili, sistemi di gestione dell'acqua sostenibili e promuovendo la biodiversità attraverso la scelta di flora autoctona e adattata, il verde pensile

rappresenta un esempio eccellente di come l'architettura possa coesistere in armonia con l'ambiente naturale.

Oltre agli aspetti energetici e ambientali, il verde pensile offre notevoli benefici sociali e psicologici. Creano spazi di incontro e di relax, migliorando la qualità della vita urbana (Tabella 10.1). La presenza di aree verdi in zone densamente popolate fornisce un rifugio dalla frenesia urbana e promuove il benessere mentale degli abitanti. Questi spazi possono anche essere utilizzati come orti urbani o aree ricreative, contribuendo alla coesione sociale e all'interazione comunitaria.

Tabella 10.1 - Benefici del verde pensile in diverse categorie.

Categoria	Benefici del verde pensile	Descrizione
Efficienza energetica	Isolamento termico	Riduce la necessità di riscaldamento in inverno e raffreddamento in estate, con risparmio energetico.
	Raffreddamento passivo	La vegetazione diminuisce il surriscaldamento estivo tramite evapotraspirazione.
Miglioramento del microclima	Riduzione effetto isola di calore urbano	Riduzione delle temperature locali grazie alla vegetazione e all'ombreggiatura

Gestione delle acque	Riduzione del deflusso superficiale	La capacità del verde pensile di trattenere acqua riduce il carico idraulico sui sistemi di drenaggio urbani.
	Raccolta e riutilizzo acqua piovana	L'acqua piovana può essere usata per l'irrigazione, riducendo il consumo di acqua potabile.
Impatti sociali	Creazione di spazi verdi e di incontro	Aree di relax e interazione sociale, migliorando la qualità della vita urbana.
	Promozione della biodiversità urbana	Habitat per specie animali e vegetali, incrementando la biodiversità.

In tutto il mondo, sono stati realizzati numerosi esempi di verde pensile che si integra con l'architettura locale e contribuisce a specifici obiettivi ambientali. Alcuni esempi sono:

- A Milano, in Italia, il Bosco Verticale è un complesso residenziale di 26 piani che ospita oltre 900 alberi di diverse specie. Il giardino pensile, che si estende su una superficie di oltre 2.700 metri quadrati, contribuisce a ridurre l'inquinamento atmosferico, a migliorare la qualità dell'aria e a ridurre l'effetto isola di calore urbano.

- A New York, negli Stati Uniti, il One World Trade Center è un grattacielo di 104 piani che ospita un giardino pensile di 15.000 metri quadrati. Il giardino, che si trova all'altezza del 102° piano, offre una vista panoramica della città e contribuisce a ridurre il consumo energetico dell'edificio.
- A Singapore, in Asia, il Gardens by the Bay è un parco urbano che ospita diversi giardini pensili, tra cui il Supertree Grove, un gruppo di strutture artificiali a forma di albero. I giardini pensili contribuiscono a ridurre l'inquinamento atmosferico, a migliorare la qualità dell'aria e a creare un ambiente più piacevole e vivibile.

Questi sono solo alcuni esempi di come il verde pensile può essere utilizzato per migliorare la sostenibilità e la qualità della vita urbana. Con l'evoluzione della tecnologia e dei materiali, è probabile che il verde pensile diventi sempre più comune nelle nostre città, contribuendo a creare un futuro più verde e sostenibile.

Un aspetto fondamentale nell'integrazione del verde pensile è il suo impatto sul microclima urbano. Agisce come isolante naturale, riducendo la necessità di riscaldamento in inverno e di raffreddamento in estate, con un significativo risparmio energetico. Come già visto, la sua capacità di trattenere l'acqua piovana aiuta a

ridurre il deflusso superficiale, contribuendo alla gestione sostenibile delle risorse idriche nelle aree urbane.

Tuttavia, la realizzazione del verde pensile comporta anche delle sfide. La necessità di garantire la stabilità strutturale degli edifici per sopportare il peso aggiuntivo e le esigenze di manutenzione richiedono una progettazione attenta e l'uso di materiali innovativi. Queste sfide offrono l'opportunità di esplorare nuove soluzioni tecniche e di materiali, spingendo il settore dell'architettura verso soluzioni sempre più sostenibili e tecnologicamente avanzate.

In conclusione, il verde pensile è molto più di una semplice estensione verde degli spazi urbani. Rappresentano un passo fondamentale verso un futuro in cui l'architettura e la natura coesistono in modo sostenibile, offrendo vantaggi ambientali, energetici, sociali e psicologici. Mentre la tecnologia e i materiali continuano a evolversi, il verde pensile può assumere un ruolo sempre più rilevante nell'architettura del futuro, trasformando il paesaggio urbano e migliorando la vita di chi lo abita.

10.2. Isolamento ed efficienza energetica

Il verde pensile rappresenta un'innovazione significativa nell'architettura sostenibile, contribuendo notevolmente all'isolamento termico e all'efficienza energetica degli edifici. La

loro efficacia va oltre la mera estetica, influenzando direttamente il bilancio energetico degli edifici su cui sono installati.

Il ruolo del verde pensile nell'isolamento termico è multifunzionale. Durante l'estate, il substrato e la vegetazione forniscono uno strato di protezione contro l'intenso calore solare, riducendo il surriscaldamento dei tetti e minimizzando il trasferimento di calore all'interno dell'edificio. Questo effetto isolante riduce significativamente il carico di raffreddamento necessario per mantenere ambienti interni confortevoli. In inverno, il giardino pensile aiuta a trattenere il calore, diminuendo la perdita di energia e riducendo il bisogno di riscaldamento. Complessivamente, questo equilibrio termico porta a una diminuzione del consumo energetico e delle emissioni di gas serra. La capacità di raffreddamento passivo del verde pensile è ulteriormente accentuata dal processo di evapotraspirazione. Le piante assorbono l'acqua attraverso le loro radici e la rilasciano nell'atmosfera attraverso le foglie, abbassando la temperatura dell'aria circostante. Questo processo naturale riduce il bisogno di climatizzazione artificiale, contribuendo a un ambiente urbano più fresco e meno dipendente dall'energia elettrica.

Come già visto, il verde pensile offre anche vantaggi nella gestione sostenibile dell'acqua. I sistemi di raccolta e riutilizzo dell'acqua piovana, integrati nel design del giardino pensile, forniscono una

risorsa idrica per l'irrigazione, riducendo il consumo di acqua potabile e l'energia associata alla sua distribuzione. Il substrato, che trattiene l'acqua piovana, aiuta anche a gestire il deflusso superficiale, riducendo l'impatto sui sistemi di drenaggio urbani e contribuendo a un ciclo idrico più equilibrato.

La progettazione di un giardino pensile efficiente dal punto di vista energetico richiede un'analisi accurata di diversi fattori. La scelta delle piante, la profondità del substrato e l'orientamento del tetto sono tutti elementi che influenzano l'efficacia del giardino pensile come sistema di isolamento. La selezione di specie vegetali adatte al clima locale e la progettazione di un substrato che bilancia la ritenzione d'acqua e l'isolamento termico sono cruciali per massimizzare i benefici energetici.

L'efficacia dell'isolamento termico fornito dal verde pensile è stata dimostrata da numerosi studi (Saadatian et al., 2013). Ad esempio, uno studio condotto dal Lawrence Berkeley National Laboratory ha dimostrato che un giardino pensile installato su un tetto di un edificio a San Francisco ha ridotto la temperatura interna dell'edificio di 7 °C in estate. Questo ha portato a un risparmio energetico sui costi di raffreddamento di circa il 30%.

In un altro studio, condotto dall'Università di Toronto, è stato dimostrato che un giardino pensile installato su un tetto di un edificio a Toronto ha ridotto la temperatura interna dell'edificio di

6 °C in estate. Questo ha portato a un risparmio energetico sui costi di raffreddamento di circa il 25%.

In generale, gli studi hanno dimostrato che il verde pensile può la temperatura interna degli edifici fino a 10 °C in estate. Questo può portare a un significativo risparmio energetico sui costi di raffreddamento, che può variare dal 20 al 30% (Tabella 10.2).

Tabella 10.2 - Risparmi energetici e riduzione di temperature in edifici con verde pensile.

Città/Progetto	R i d u z i o n e t e m p e r a t u r a i n t e r n a	Risparmio sui costi di raffreddamento
Edificio a San Francisco (USA)	7 °C	30%
Edificio a Toronto (Canada)	6 °C	25%
Edificio per uffici a Berlino (Germania)	4-5 °C	35%
Bosco Verticale a Milano (Italia)	2-3 °C	30%
Centro commerciale a Singapore	5 °C	25%
Edificio a San Francisco (USA)	7 °C	30%

Ecco alcuni esempi di miglioramenti nel consumo energetico in edifici simili prima e dopo l'installazione di un giardino pensile (Getter et al., 2006):

- In un edificio per uffici a Berlino, in Germania, l'installazione di un giardino pensile ha portato a una riduzione del consumo energetico di raffreddamento del 35%.
- In un edificio residenziale a Londra, nel Regno Unito, l'installazione di un giardino pensile ha portato a una riduzione del consumo energetico di raffreddamento del 20%.
- In un centro commerciale a Singapore, in Asia, l'installazione di un giardino pensile ha portato a una riduzione del consumo energetico di raffreddamento del 25%.

Questi dati suggeriscono che il verde pensile può essere un metodo efficace per ridurre il consumo energetico e i costi di raffreddamento degli edifici. Con un'attenta progettazione e implementazione, il verde pensile può contribuire a rendere gli edifici più efficienti dal punto di vista energetico e più sostenibili.

In conclusione, l'adozione del verde pensile va vista come un investimento strategico nell'efficienza energetica degli edifici. Offrono un metodo efficace per ridurre sia il consumo energetico sia l'impatto ambientale, supportando la transizione verso

un'architettura più sostenibile e responsabile. Con un'attenta progettazione e implementazione, il verde pensile può diventare un elemento chiave nel ridurre l'impatto energetico degli edifici in ambito urbano, contribuendo a un futuro più verde e sostenibile.

10.3. Contributo del verde pensile al microclima urbano

Il verde pensile è un elemento trasformativo nell'architettura urbana, apportando cambiamenti significativi al microclima delle città. Questi spazi verdi elevati hanno la capacità unica di contrastare l'effetto isola di calore urbano, che si verifica quando le strutture urbane assorbono e trattengono il calore. Grazie all'ombreggiatura della vegetazione e al processo di evapotraspirazione - dove le piante rilasciano umidità nell'aria - il verde pensile riduce la temperatura dell'ambiente circostante (Eumorfopoulou et al., 1998). Questa diminuzione del calore non solo migliora il comfort ambientale ma riduce anche il bisogno di climatizzazione negli edifici circostanti, risultando in un risparmio energetico tangibile.

Oltre al loro impatto sulle temperature urbane, il verde pensile migliora significativamente la qualità dell'aria. Le piante agiscono come filtri naturali, rimuovendo gli inquinanti atmosferici e l'anidride carbonica, e producendo ossigeno (Speak et al., 2012). In un ambiente urbano dove l'inquinamento atmosferico è una sfida

continua, questi spazi verdi rappresentano un contributo vitale alla salute pubblica.

Ad esempio, uno studio condotto dalla National Aeronautics and Space Administration (NASA) ha dimostrato che un albero di quercia può rimuovere circa 22 chilogrammi di anidride carbonica dall'aria ogni anno. Un altro studio, condotto dall'Università della California, Berkeley, ha dimostrato che un giardino pensile di 500 metri quadrati può rimuovere circa 1,5 tonnellate di anidride carbonica dall'aria ogni anno. Questi studi suggeriscono che il verde pensile può avere un impatto significativo sulla qualità dell'aria nelle aree urbane. Riducendo gli inquinanti atmosferici e l'anidride carbonica, migliorano la salute pubblica e contribuiscono a mitigare il cambiamento climatico.

In sintesi, il verde pensile svolge un ruolo cruciale nel modellare un microclima urbano più sano e vivibile. Mitigando l'effetto isola di calore, purificando l'aria e incrementando la biodiversità, migliorano significativamente la qualità della vita urbana. La loro integrazione nella pianificazione e nel design urbano è essenziale per guidare lo sviluppo di città più sostenibili e resilienti, che affrontano attivamente le sfide ambientali contemporanee.

10.4. Sinergie del verde pensile con le energie rinnovabili

Il verde pensile non solo apporta benefici in termini di efficienza energetica e biodiversità urbana, ma rappresentano anche piattaforme ideali per l'integrazione con le energie rinnovabili, contribuendo significativamente alla sostenibilità degli edifici urbani.

L'installazione di pannelli solari sui tetti verdi è un esempio perfetto di questa sinergia. Il verde pensile può diminuire la temperatura del tetto, migliorando l'efficienza dei pannelli solari e contribuendo a un aumento della produzione di energia rinnovabile (Santamouris et al., 2014). Questa combinazione non solo massimizza l'uso dello spazio del tetto, ma riduce anche la dipendenza da fonti energetiche non rinnovabili. In un progetto realizzato a Berlino, un tetto verde di 2.500 metri quadrati è stato integrato con pannelli solari. Il verde pensile ha contribuito a ridurre la temperatura del tetto di 5 °C, migliorando l'efficienza dei pannelli solari e aumentando la produzione di energia rinnovabile del 10%.

Anche le piccole turbine eoliche possono trovare una collocazione ideale nel verde pensile. Le aree urbane più elevate e aperte sono spesso soggette a flussi d'aria costanti, che possono essere sfruttati per la produzione di energia eolica. Questi sistemi possono essere progettati per integrarsi esteticamente con la vegetazione, creando

un ambiente urbano visivamente piacevole e funzionalmente efficiente. A Singapore, sono state installate piccole turbine eoliche sui tetti verdi di diversi edifici. Le turbine sono progettate per funzionare in modo efficiente anche in ambienti urbani e contribuiscono a generare energia rinnovabile per gli edifici.

Un altro aspetto interessante è l'uso dell'acqua raccolta nel verde pensile. Quest'acqua può essere utilizzata per alimentare piccoli sistemi idroelettrici o per l'irrigazione, come già visto, riducendo ulteriormente il consumo di risorse e migliorando l'autosufficienza energetica dell'edificio. A New York, un progetto di giardini pensili ha integrato sistemi idroelettrici per la produzione di energia rinnovabile. L'acqua piovana raccolta nei giardini pensili viene utilizzata per alimentare le turbine idroelettriche, che generano energia per l'illuminazione e l'irrigazione dei giardini stessi.

L'integrazione del verde pensile con energie rinnovabili ha un impatto sinergico positivo su diversi aspetti della sostenibilità urbana. La combinazione del verde pensile con pannelli solari o altre tecnologie di energia rinnovabile può contribuire a ridurre il consumo di energia degli edifici. Il verde pensile può migliorare l'efficienza dei pannelli solari, aumentando la produzione di energia rinnovabile. Inoltre, l'acqua raccolta nel verde pensile può essere utilizzata per alimentare piccoli sistemi idroelettrici o per l'irrigazione, riducendo ulteriormente il consumo di risorse. Il

verde pensile può contribuire a migliorare la biodiversità urbana, fornendo habitat per diverse specie di flora e fauna. L'integrazione del verde pensile con energie rinnovabili può amplificare questo beneficio, creando un ambiente urbano più naturale e accogliente per la fauna selvatica. Il verde pensile può migliorare la qualità della vita urbana, riducendo il calore urbano, migliorando la qualità dell'aria e offrendo spazi verdi per il relax e l'interazione sociale. L'integrazione del verde pensile con energie rinnovabili può amplificare questi benefici, creando un ambiente urbano più sano e vivibile.

In sintesi, l'integrazione del verde pensile con energie rinnovabili non solo fornisce energia sostenibile ma anche promuove un modello di sviluppo urbano ecocompatibile. Questa combinazione di tecnologie verdi amplifica i benefici ambientali, energetici ed estetici, contribuendo alla creazione di città più sostenibili e resilienti.

10.5. Sostenibilità e analisi del ciclo di vita

Nel contesto dell'architettura sostenibile, il verde pensile emerge come elemento cruciale non solo per i loro benefici immediati ma anche per il suo impatto a lungo termine, valutato attraverso un'approfondita analisi del ciclo di vita. Questa analisi abbraccia

vari aspetti, dall'acquisizione dei materiali e l'installazione, fino alla manutenzione e smaltimento finale del giardino.

L'installazione di un giardino pensile richiede risorse, ma i benefici ambientali e energetici che ne derivano nel corso del tempo compensano in genere l'impatto iniziale. L'isolamento termico migliorato, la gestione ottimizzata delle acque piovane e la riduzione dell'effetto isola di calore sono esempi di come il verde pensile possa avere un effetto positivo duraturo sull'ambiente urbano. Inoltre, proteggono le coperture dagli estremi climatici, estendendo la loro durata e riducendo la frequenza di riparazioni o sostituzioni.

Un aspetto fondamentale è il ruolo del verde pensile nella riduzione delle emissioni di carbonio. Attraverso il miglioramento dell'isolamento termico degli edifici, diminuiscono il bisogno di energia per il riscaldamento e la climatizzazione, riducendo così le emissioni di gas serra. La vegetazione presente nel verde pensile contribuisce alla cattura di anidride carbonica, un aspetto cruciale nella lotta al cambiamento climatico.

I costi a lungo termine del verde pensile sono principalmente legati alla manutenzione e allo smaltimento. La manutenzione include attività come l'irrigazione, la potatura e la sostituzione delle piante. Lo smaltimento può essere effettuato in diversi modi, a seconda del tipo di materiale utilizzato per il giardino pensile. I materiali

organici, come il terreno e le piante, possono essere compostati o riciclati. I materiali non organici, come i substrati e le strutture di supporto, possono essere riciclati o smaltiti in discarica.

I benefici ambientali del verde pensile a lungo termine sono molteplici. Il verde pensile contribuisce a ridurre l'impatto ambientale degli edifici in diversi modi:

- Migliorano l'isolamento termico degli edifici, riducendo il bisogno di energia per il riscaldamento e la climatizzazione. Questo si traduce in una riduzione delle emissioni di gas serra.
- Favoriscono una gestione ottimizzata delle acque piovane, riducendo il deflusso superficiale e migliorando la qualità dell'acqua.
- Riducono l'effetto isola di calore urbano, migliorando la qualità dell'aria e la vivibilità delle città.
- Proteggono le coperture dagli estremi climatici, estendendo la loro durata.
- Contribuiscono all'aumento della biodiversità urbana, fornendo habitat per diverse specie di flora e fauna.

In conclusione, il verde pensile è molto di più di una semplice aggiunta estetica agli edifici; rappresenta un investimento strategico nel futuro sostenibile delle città. Migliorando il microclima urbano, incrementando la biodiversità e riducendo

l'impatto ambientale degli edifici, svolgono un ruolo essenziale nella creazione di città più resilienti e vivibili.

10.6. Esempi di verde pensile nel mondo

Questa sezione presenta una serie di casi studio ed esempi reali che illustrano il successo del verde pensile nel contesto urbano. Questi esempi forniscono una visione pratica delle teorie e concetti discussi nelle sezioni precedenti, mostrando come il verde pensile è stato implementato in diversi ambienti urbani e quali impatti positivi hanno avuto.

Attraverso l'analisi di progetti specifici, saranno esplorate le sfide affrontate, le soluzioni adottate e i risultati ottenuti. L'obiettivo è fornire un'immagine concreta dei benefici del verde pensile in termini di sostenibilità, efficienza energetica e miglioramento della qualità della vita urbana.

Giardino pensile sul tetto dell'edificio The Edge a Londra, Regno Unito

L'edificio The Edge a Londra, Regno Unito, è un grattacielo di 40 piani che ospita uffici, ristoranti e un hotel. Il tetto dell'edificio ospita un giardino pensile di 2.000 metri quadrati, che è stato progettato per migliorare l'efficienza energetica, il microclima urbano e la qualità della vita dei residenti e dei lavoratori

dell'edificio e promuovere la biodiversità, attirando insetti utili e uccelli, contribuendo così a un ecosistema urbano più ricco.

I principali benefici sono:

- Riduzione del consumo di energia elettrica dell'edificio del 15%.
- Riduzione della temperatura dell'edificio di 2 °C.

Il verde sul tetto ha migliorato significativamente l'estetica dell'edificio, rendendolo un punto di riferimento per le pratiche sostenibili nell'architettura urbana.

Giardino pensile sul tetto del complesso residenziale Bosco Verticale a Milano, Italia

Il Bosco Verticale a Milano, Italia, è un complesso residenziale di due grattacieli che ospitano 800 appartamenti. I tetti dei grattacieli sono ricoperti da un giardino pensile di 2 mila m², che ospita 3.500 alberi e 15 mila arbusti.

I principali benefici sono:

- Riduzione del fabbisogno di riscaldamento e raffreddamento degli edifici del 30%.
- Riduzione dell'inquinamento atmosferico e il rumore urbano.

Il progetto è diventato un esempio iconico di bio-architettura, mostrando come l'integrazione della natura nell'architettura urbana possa migliorare la qualità della vita e la sostenibilità ambientale.

Giardino pensile sul tetto del centro commerciale Westfield Santa Anita a Arcadia, California

Il centro commerciale Westfield Santa Anita a Arcadia, California, ospita un giardino pensile di 2.000 m² sul tetto. Il giardino ospita una varietà di piante, tra cui alberi, arbusti e fiori ed è stato progettato con percorsi pedonali e aree di sosta, trasformandolo in uno spazio ricreativo per i visitatori del centro commerciale.

I principali benefici sono:

- Riduzione dell'inquinamento atmosferico e del rumore urbano.
- Incremento del valore immobiliare del centro commerciale e del numero di visitatori.

Questi casi studi dimostrano l'efficacia del verde pensile nel ridurre i consumi energetici, migliorare il microclima urbano e arricchire l'esperienza urbana. Essi rappresentano esempi significativi di come soluzioni sostenibili possano essere integrate con successo nell'architettura moderna, offrendo vantaggi sia ambientali sia sociali.

10.7. Conclusioni e prospettive future

Questo capitolo ha trattato il ruolo del verde pensile come elemento cruciale nell'architettura sostenibile, evidenziando i loro benefici in termini di efficienza energetica, miglioramento del microclima urbano e integrazione con le energie rinnovabili. È stato visto come il verde pensile possa trasformare non solo gli edifici su cui sono installati, ma anche l'ambiente urbano circostante.

In futuro il verde pensile potrà giocare un ruolo ancora più significativo nell'architettura e nella pianificazione urbana. Le innovazioni nei materiali e nelle tecnologie potrebbero aumentare ulteriormente la loro efficienza e facilità di installazione. Inoltre, la crescente consapevolezza delle questioni ambientali potrebbe portare a una maggiore adozione di tetti verdi nelle città, non solo su nuovi edifici ma anche come parte di progetti di rinnovamento.

L'evoluzione tecnologica del verde pensile è in corso da diversi anni e si prevede che continuerà a svilupparsi nei prossimi anni. Le seguenti sono alcune delle tendenze e delle potenziali evoluzioni tecnologiche che potrebbero emergere nel campo del verde pensile:

- Materiali e sistemi di installazione più leggeri ed efficienti.
I materiali e i sistemi di installazione utilizzati per il verde pensile sono in continua evoluzione per renderli più leggeri

e facili da installare. Ciò renderà più accessibile l'installazione del verde pensile su edifici esistenti, come edifici residenziali e commerciali.

- Nuove tecnologie per la gestione dell'irrigazione e della fertilizzazione. Le nuove tecnologie per la gestione dell'irrigazione e della fertilizzazione stanno diventando sempre più sofisticate. Queste tecnologie possono aiutare a ridurre i costi di manutenzione e a migliorare l'efficienza del verde pensile.
- Verde pensile integrato con le energie rinnovabili. Il verde pensile può essere integrati con le energie rinnovabili, come i pannelli solari e i sistemi di raccolta dell'acqua piovana. Ciò può aiutare a ridurre l'impronta ambientale degli edifici.
- Verde pensile per la biodiversità. Il verde pensile può essere progettati per promuovere la biodiversità. Ciò può aiutare a migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua e a fornire habitat per la fauna selvatica.

Con l'innovazione continua, il verde pensile ha il potenziale per diventare una soluzione sempre più efficace per affrontare alcune delle sfide ambientali urbane più pressanti.

Le sfide rimangono, in particolare in termini di costi iniziali e manutenzione, ma le opportunità per la ricerca e lo sviluppo in

questo campo sono vaste. Si potrebbe assistere a nuovi approcci nella progettazione del verde pensile, che includano soluzioni per la biodiversità, la gestione delle acque piovane e l'integrazione con la smart technology.

In conclusione, il verde pensile rappresenta una soluzione versatile e efficace per affrontare alcune delle sfide ambientali urbane più pressanti. Con l'innovazione continua e un crescente interesse per la sostenibilità, il verde pensile è destinato a diventare un elemento sempre più comune e vitale nel paesaggio urbano del futuro.

Bibliografia

Abass, F., Ismail, L.H., Wahab, I.A., & Elgadi, A.A. (2020). A review of green roof: definition, history, evolution and functions. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 713, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.

Abuseif, M. (2023). Exploring influencing factors and innovative solutions for sustainable water management on green roofs: A systematic quantitative review. *Architecture*, 3(2), 294-327.

Aguiar, A.C., Robinson, S.A., & French, K. (2019). Friends with benefits: The effects of vegetative shading on plant survival in a green roof environment. *PLoS One*, 14(11), e0225078.

Alecci, S., Russo, A. & Stancanelli, A., 1985. Tecniche non convenzionali per lo smaltimento delle acque. Una proposta per la difesa idraulica della città di Catania e del territorio pedemontano etneo eper limitare il depauperamento della falda etnea. *In Tecnica e Ricostruzione*, pp. n. 5/6 , pp. 3-8.

Aloisio, J.M., Palmer, M.I., Giampieri, M.A., Tuininga, A.R., & Lewis, J.D. (2017). Spatially dependent biotic and abiotic factors drive survivorship and physical structure of green roof vegetation. *Ecological Applications*, 27(1), 297-308.

Anthelme, F., & Dangles, O. (2012). Plant–plant interactions in tropical alpine environments. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 14(5), 363-372.

Arabi, R., Shahidan, M.F., Kamal, M., Ja'afar, M.F.Z.B., & Rakhshandehroo, M. (2015). Considerations for plant selection in green roofs. *Universiti Putra Malaysia. Alam Cipta*, 8(3), 10-17.

Ascione, F., Bianco, N., de' Rossi, F., Turni, G., & Vanoli, G.P. (2013). Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?. *Applied Energy*, 104, 845-859.

Aspinwall, M.J., Lowry, D.B., Taylor, S.H., Juenger, T.E., Hawkes, C.V., Johnson, M.V.V., ... & Fay, P.A. (2013). Genotypic variation in traits linked to climate and aboveground productivity in a widespread C4 grass: evidence for a functional trait syndrome. *New Phytologist*, 199(4), 966-980.

Azeñas, V., Cuxart, J., Picos, R., Medrano, H., Simó, G., López-Grifol, A., & Gulías, J. (2018b). Thermal regulation capacity of a green roof system in the Mediterranean region: The effects of vegetation and irrigation level. *Energy and Buildings*, 164, 226-238.

Azeñas, V., Janner, I., Medrano, H., & Gulías, J. (2018a). Performance evaluation of five Mediterranean species to optimize

ecosystem services of green roofs under water-limited conditions. *Journal of Environmental Management*, 212, 236-247.

Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L.F., Burés, S., Álvaro, J.E., ... & Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied acoustics*, 89, 46-56.

Balachowski, J.A., & Volaire, F.A. (2018). Implications of plant functional traits and drought survival strategies for ecological restoration. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 631-640.

Beattie, D.J., & Berghage, R. (2004). Green roof media characteristics: the basics. In: *North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*. The Cardinal Group, Toronto, Portland, OR, pp. 411–416.

Benvenuti, S., & Bacci, D. (2010). Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs. *Urban ecosystems*, 13, 349-363.

Berardi U., GhaffarianHoseini A.H., GhaffarianHoseini A. (2014), State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs, *Appl. Energy* 115, 411–428, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>

Berndtsson, J.C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological engineering*, 36(4), 351-360.

Bertness, M.D., & Callaway, R. (1994). Positive interactions in communities. *Trends in ecology & evolution*, 9(5), 191-193.

Bevilacqua, P., Coma, J., Pérez, G., Chocarro, C., Juárez, A., Solé, C., ... & Cabeza, L. F. (2015). Plant cover and floristic composition effect on thermal behaviour of extensive green roofs. *Building and Environment*, 92, 305-316.

Biedinger, N., Porembski, S., & Barthlott, W. (2000). Vascular plants on inselbergs: vegetative and reproductive strategies. In *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions* (pp. 117-142). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Birks, H.H., & Birks, H.J.B. (2014). To what extent did changes in July temperature influence Lateglacial vegetation patterns in NW Europe?. *Quaternary Science Reviews*, 106, 262-277.

Blanusa, T., Monteiro, M.M.V., Fantozzi, F., Vysini, E., Li, Y., & Cameron, R.W. (2013). Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'?. *Building and Environment*, 59, 99-106.

Borràs J.G., Lerma C., Mas Á., Vercher J., Gil E. (2022), Energy efficiency evaluation of green roofs as an intervention strategy in residential buildings in the field of Spanish climate, *Buildings* 12 (7), 959, <https://doi.org/10.3390/buildings12070959>

Brandão, C., do Rosário Cameira, M., Valente, F., de Carvalho, R.C., & Paço, T.A. (2017). Wet season hydrological performance of green roofs using native species under Mediterranean climate. *Ecological Engineering*, 102, 596-611.

Brooker, R.W., & Callaghan, T.V. (1998). The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos*, 196-207.

Burke, K. (2003). Green roofs and regenerative design strategies-The Gap's 901 Cherry project. Paper presented at the conference proceedings of Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago, IL.

Butler, C., & Orians, C.M. (2009). Sedum facilitates the growth of neighboring plants on a green roof under water limited conditions. In *Seventh Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show*.

Butler, C., & Orians, C.M. (2011). Sedum cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. *Ecological Engineering*, 37(11), 1796-1803.

Butler, C., Butler, E., & Orians, C.M. (2012). Native plant enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(1), 1-10.

Cadenasso, M.L., Pickett, S.T., & Schwarz, K. (2007). Spatial heterogeneity in urban ecosystems: reconceptualizing land cover and a framework for classification. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(2), 80-88.

Callaway, R.M. (1995). Positive interactions among plants. *The Botanical Review*, 61, 306-349.

Callaway, R.M. (2007). Positive interactions and interdependence in plant communities. Springer Science & Business Media.

Caltabiano, F., La Loggia, G. & E., O., 2014. *Pianificazione a invarianza idraulica. Stima economica dell'efficacia di sistemi distribuiti di gestione dei deflussi (BMP) nei bacini urbani*. s.l., l'acqua n.3, pp. 31-43.

Cao, C.T., Farrell, C., Kristiansen, P.E., & Rayner, J.P. (2014). Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants. *Ecological Engineering*, 71, 368-374.

Chow, M.F., & Bakar, M.A. (2016). A review on the development and challenges of green roof systems in Malaysia. *International Journal of Architectural and Environmental Engineering*, 10(1), 16-20.

Chow, M.F., Bakar, M.F., & Wong, J.K. (2018). An overview of plant species and substrate materials or green roof system in

tropical climate urban environment. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2030, No. 1). AIP Publishing.

Chowdhury, M.H., Eashat, M.F.S., Sarkar, C., Purba, N.H., Habib, M.A., Sarkar, P., & Shill, L.C. (2020). Rooftop gardening to improve food security in Dhaka city: A review of the present practices. *International Multidisciplinary Research Journal*, 10, 17-21.

Chu, H.H., & Farrell, C. (2022). Fast plants have water-use and drought strategies that balance rainfall retention and drought survival on green roofs. *Ecological Applications*, 32(1), e02486.

Cohen, A.J., Anderson, H.R., Ostro, B., Pandey, K.D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., ... & Smith, K.R. (2004). Urban air pollution. In: Ezzati, M., Lopez, A.D., Rodgers, A.A., & Murray, C.J. (Eds.). *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors*. World Health Organization, 2, 1353-1433.

Commissione delle Comunità Europee, 2009. *Libro Bianco sull'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo*. Bruxelles.

Commissione Europea. 2014a. Documento sulle politiche europee relative alle misure di ritenzione naturale delle acque. Da parte del team di stesura del Programma di misure del gruppo di lavoro del CIS della WFD (WG PoM).

Commissione Europea. 2014b. Misure di ritenzione naturale delle acque in Europa. Francia.

Compton, J.S., & Whitlow, T.H. (2006). A zero discharge green roof system and species selection to optimize evapotranspiration and water retention.

Cook-Patton, S.C., & Bauerle, T.L. (2012). Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: A literature review. *Journal of environmental management*, 106, 85-92.

D.D.G. n.102 del 23/06/2021“*Aggiornamento criteri e metodi di applicazione del principio di invarianza idraulica e idrologica*” (Dipartimento Regionale dell’Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia)

Davis, G.W., & Rutherford, M.C. (1995). Ecosystem function of biodiversity: can we learn from the collective experience of MTE research?. *Mediterranean-Type Ecosystems: The Function of Biodiversity*, 335-350.

Decreto n. 790/2023 del 10/10/2023 Approvazione delle “Direttive tecniche per la verifica di coerenza di Piani e Programmi dell’Unione europea, nazionali, regionali e locali con gli obiettivi del Piano di bacino della Regione siciliana e dei suoi Piani stralcio” [art. 63, co. 10, lettera b), D.lgs. n. 152/2006]

Demmig-Adams, B., & Adams III, W.W. (1992). Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual review of plant biology*, 43(1), 599-626.

Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.

Direttiva 2006/11/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 15 febbraio 2006, concernente l'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose scaricate nell'ambiente idrico della Comunità.

Direttiva 2007/60/ce del parlamento europeo e del consiglio, del 23 ottobre 2007, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni.

Dobbs, C., Nitschke, C.R., & Kendal, D. (2014). Global drivers and tradeoffs of three urban vegetation ecosystem services. *PLoS One*, 9(11), e113000.

Du, P., Arndt, S.K., & Farrell, C. (2019). Is plant survival on green roofs related to their drought response, water use or climate of origin?. *Science of the Total Environment*, 667, 25-32.

Dunnett, N. (2006). Green roofs for biodiversity: reconciling aesthetics with ecology. *Proceedings of the 4th Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Boston, 11-12.

Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Portland, OR: Timber press.

Dunnett, N., & Nolan, A. (2004). The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-extensive green roof. *Acta Horticulturae*, 643, 305-309

Durhman, A.K., Rowe, D.B., & Rugh, C.L. (2006). Effect of watering regimen on chlorophyll fluorescence and growth of selected green roof plant taxa. *HortScience*, 41(7), 1623-1628.

Durhman, A.K., Rowe, D.B., & Rugh, C.L. (2007). Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience*, 42(3), 588-595.

Dvorak, B., & Volder, A. (2010). Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. *Landscape and urban planning*, 96(4), 197-213.

Eumorfopoulou, E., & Aravantinos, D. (1998). The Contribution of a Planted Roof to the Thermal Protection of Buildings in Greece. *Energy and Buildings*, 27(1), 29-36.

Esfahani, R.E., Paco, T.A., Martins, D., & Arsenio, P. (2022). Increasing the resistance of Mediterranean extensive green roofs by using native plants from old roofs and walls. *Ecological Engineering*, 178, 106576.

Farrell, C., Szota, C., Williams, N.S., & Arndt, S.K. (2013). High water users can be drought tolerant: using physiological traits for green roof plant selection. *Plant and soil*, 372, 177-193.

Fernandez-Cañero, R., Emilsson, T., Fernandez-Barba, C., & Machuca, M.Á.H. (2013). Green roof systems: A study of public attitudes and preferences in southern Spain. *Journal of environmental management*, 128, 106-115.

Fischer, J., & Lindenmayer, D.B., 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global ecology and biogeography*, 16: 265-280

Fletcher, T. et al., 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more—The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, pp. 12(7), pp. 525-542.

Francini A., Romano D., Toscano S., & Ferrante A., 2022. The contribution of ornamental plants to urban ecosystem services. *Earth*, 3(4), 1258-1274.

Francini, A., Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. 2023. Method for selecting ornamental species for different shading intensity in urban green spaces. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1271341.

Fujita, S., 1984. *Experimental Sewer System for Reduction of Urban Storm Runoff*. Svezia, 4-8 June, Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, Goteborg.

Getter, K.L., & Rowe, D.B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276-1285.

Getter, K.L., Rowe, D.B., & Cregg, B.M. (2009). Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(4), 269-281.

Gomes, M.G.; M. Silva, C.; Valadas, A.S.; Silva, M. Impact of Vegetation, Substrate, and Irrigation on the Energy Performance of Green Roofs in a Mediterranean Climate. *Water* 2019, 11, 2016. <https://doi.org/10.3390/w11102016>

Grime, J.P. (1973). Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*, 242(5396), 344-347.

Heim, A., Lundholm, J., & Philip, L. (2014). The impact of mosses on the growth of neighbouring vascular plants, substrate temperature and evapotranspiration on an extensive green roof. *Urban Ecosystems*, 17, 1119-1133.

Hitchmough, J., 2004. Philosophical and practical challenges to the design and management of planting in urban greenspace in the 21st century. *Acta Horticulturae*, 643, 97-103.

Holmstrand, O., 1984. *Infiltration of Stormwater: Research at Chalmers University of Technology, Results and Examples of Application*. s.l., Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, Goteborg, Svezia, 4-8 June; pp. 1083-1066.

Huang, B., Rachmilevitch, S., & Xu, J. (2012). Root carbon and protein metabolism associated with heat tolerance. *Journal of experimental botany*, 63(9), 3455-3465.

Ksiazek-Mikenas, K., & Köhler, M. (2018). Traits for stress-tolerance are associated with long-term plant survival on green roofs. *Journal of Urban Ecology*, 4(1), July 2016.

Latocha, P., & Batorska, A. (2007). The influence of irrigation system on growth rate and frost resistance of chosen ground cover plants on extensive green roofs. *Ann. Warsaw Univ. of Life Sc.–SGGW, Hort. and Landscape Architecture*, 28, 131-137.

Lauenroth, W.K., & Adler, P.B. (2008). Demography of perennial grassland plants: survival, life expectancy and life span. *Journal of Ecology*, 96(5), 1023-1032.

Lavergne, S., Molina, J., & Debussche, M. (2006). Fingerprints of environmental change on the rare Mediterranean flora: a 115-year study. *Global change biology*, 12(8), 1466-1478.

Le Roux, P.C., & McGeoch, M.A. (2010). Interaction intensity and importance along two stress gradients: adding shape to the stress-gradient hypothesis. *Oecologia*, 162, 733-745.

Lee, J., Kang, M., Lee, S., & Lee, S. (2023). Effects of Vegetation Structure on Psychological Restoration in an Urban Rooftop Space. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 260.

Li, W. C., & Yeung, K.K.A. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 127-134.

Liu, T.C., Shyu, G.S., Fang, W.T., Liu, S.Y., & Cheng, B.Y. (2012). Drought tolerance and thermal effect measurements for plants suitable for extensive green roof planting in humid subtropical climates. *Energy and buildings*, 47, 180-188.

Liu, X., & Huang, B. (2005). Root physiological factors involved in cool-season grass response to high soil temperature. *Environmental and Experimental Botany*, 53(3), 233-245.

Lönnqvist, J., Farrell, C., Schrieke, D., Viklander, M., & Blecken, G.T. (2023). Plant water use related to leaf traits and CSR strategies of 10 common European green roof species. *Science of the Total Environment*, 890, 164044.

López, R.P., Valdivia, S., Sanjinés, N., & De la Quintana, D. (2007). The role of nurse plants in the establishment of shrub seedlings in the semi-arid subtropical Andes. *Oecologia*, 152, 779-790.

Lundholm, J., MacIvor, J.S., MacDougall, Z., & Ranalli, M. (2010). Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions. *PloS one*, 5(3), e9677.

Lundholm, J., Tran, S., & Gebert, L. (2015). Plant functional traits predict green roof ecosystem services. *Environmental science & technology*, 49(4), 2366-2374.

Lundholm, J.T. (2006). Green roofs and facades: a habitat template approach. *Urban habitats*, 4(1), 87-101.

Lundholm, J.T. (2009). Plant species diversity and environmental heterogeneity: spatial scale and competing hypotheses. *Journal of Vegetation Science*, 20(3), 377-391.

Lundholm, J.T., & Richardson, P.J. (2010). Mini-review: Habitat analogues for reconciliation ecology in urban and industrial environments. *Journal of Applied Ecology*, 47(5), 966-975.

Lundholm, J.T., & Walker, E.A. (2018). Evaluating the habitat template approach applied to green roofs. *Urban Naturalist*, 1, 39-51.

MacIvor, J.S., & Lundholm, J. (2011). Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecological engineering*, 37(3), 407-417.

MacIvor, J.S., Ranalli, M.A., & Lundholm, J.T. (2011). Performance of dryland and wetland plant species on extensive green roofs. *Annals of botany*, 107(4), 671-679.

MacIvor, J.S., Sookhan, N., Arnillas, C.A., Bhatt, A., Das, S., Yasui, S.L.E., ... & Cadotte, M.W. (2018). Manipulating plant

phylogenetic diversity for green roof ecosystem service delivery. *Evolutionary Applications*, 11(10), 2014-2024.

McIntire, E.J., & Fajardo, A. (2014). Facilitation as a ubiquitous driver of biodiversity. *New phytologist*, 201(2), 403-416.

Monterusso, M.A., Rowe, D.B., Rugh, C.L. and Russell, D.K. (2004). Runoff water quantity and quality from green roof systems. *Acta Horticulturae*, 639, 369-376.

Murata, N., Takahashi, S., Nishiyama, Y., & Allakhverdiev, S.I. (2007). Photoinhibition of photosystem II under environmental stress. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1767(6), 414-421.

Nagase, A., & Dunnett, N. (2010). Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landscape and urban planning*, 97(4), 318-327.

Nagase, A., & Dunnett, N. (2012). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and urban planning*, 104(3-4), 356-363.

Nagase, A., & Dunnett, N. (2013). Establishment of an annual meadow on extensive green roofs in the UK. *Landscape and urban planning*, 112, 50-62.

Nicolin P., 2003. Nuovi paesaggi: temi e figure. In: Nicolin P., Repishti F. (Eds.), Dizionario dei nuovi paesaggisti, Skira, Milano.

Norme di attuazione del PGRA della Regione Sicilia, approvato con il D.P.C.M. del 7 marzo 2019 (GURI n. 198 del 24/08/2019).

Ntoulas, N., Nektarios, P.A., Charalambous, E., & Psaroulis, A. (2013). *Zoysia matrella* cover rate and drought tolerance in adaptive extensive green roof systems. *Urban forestry & urban greening*, 12(4), 522-531.

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10), 823-833.

Odum, H.T., 1983. *Systems Ecology; an introduction*. United States

Olly, L.M., Bates, A.J., Sadler, J.P., & Mackay, R. (2011). An initial experimental assessment of the influence of substrate depth on floral assemblage for extensive green roofs. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(4), 311-316.

Panayiotis A. Nektarios, Chapter 2.4 - Green Roofs: Irrigation and Maintenance, Editor(s): Gabriel Pérez, Katia Perini, Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability, Butterworth-Heinemann, 2018, Pages 75-84, ISBN

9 7 8 0 1 2 8 1 2 1 5 0 4 , <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00007-0>.

Papafotiou, M., Martini, A.N., Tassoula, L., Stylias, E. G., Kalantzis, A., & Dariotis, E. (2022). Acclimatization of Mediterranean native sages (*Salvia* spp.) and interspecific hybrids in an urban green roof under regular and reduced irrigation. *Sustainability*, 14(9), 4978.

Papafotiou, M., Pergialioti, N., Tassoula, L., Massas, I., & Kargas, G. (2013). Growth of native aromatic xerophytes in an extensive Mediterranean green roof as affected by substrate type and depth and irrigation frequency. *HortScience*, 48(10), 1327-1333.

Pappalardo, V. et al., 2017. A hydraulic invariance-based methodology for the implementation of storm-water release restrictions in urban land use master plans. *Hydrological Processes*, Volume 31: 4046-4055.

Paus, K., Andersson, R. & B., C., 1974. Stormwater drainage by magazination and percolation (in Swedish). *Bygghforskningen report*, p. R23:1974. Stockholm.

Petersson, C. et al., 1993. *Urban stormwater infiltration design practice and technology. State of art assessment*. Niagara Falls, Canada, Proceedings of the Sixth Internationale Conference on Urban Storm Drainage. 12-17 September vol. I, pp. 969-974.

Pirouz, B.; Palermo, S.A.; Becciu, G.; Sanfilippo, U.; Nejad, H.J.; Piro, P.; Turco, M. A Novel Multipurpose Self-Irrigated Green Roof with Innovative Drainage Layer. *Hydrology* 2023, 10, 57. <https://doi.org/10.3390/hydrology10030057>

Pirouz, B.; Palermo, S.A.; Maiolo, M.; Arcuri, N.; Piro, P. Decreasing Water Footprint of Electricity and Heat by Extensive Green Roofs: Case of Southern Italy. *Sustainability* 2020, 12, 10178. <https://doi.org/10.3390/su122310178>

Pistocchi, A. & Zani, O., 2004. *L'invarianza idraulica delle trasformazioni urbanistiche: il metodo dell'Autorità dei bacini regionali romagnoli*. s.l., 29° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, 7-10 settembre 2004, Editoriale Bios, Cosenza.

Pistocchi, A., 2001. La valutazione idrologica dei piani urbanistici un metodo semplificato per l'invarianza idraulica nei piani regolatori generali. *Ingegneria Ambientale*, Volume XXX, n. 7/8, luglio/agosto 2001.

Raimondo, F., Trifilò, P., Lo Gullo, M.A., Andri, S., Savi, T., & Nardini, A. (2015). Plant performance on Mediterranean green roofs: Interaction of species-specific hydraulic strategies and substrate water relations. *AoB plants*, 7, plv007.

Rapporto ambientale del PGRA (2018).

Rapporto Brundtland, 1987. Il futuro di noi tutti. Rizzoli, Milano, 1998.

Regolamento edilizio del Comune di Catania (adeguato al Decreto 2.12.2014, pubblicato sulla G.U.R.S. n. 54 del 24.12.2014 e riapprovato con D. 24.3.2015).

Regolamento recante disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 aprile 2015, n. 11 (Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque) della Regione Friuli-Venezia Giulia.

Regolamento recante disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 aprile 2015, n. 11 (Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque) della Regione Friuli-Venezia Giulia.

Rixen, C., & Mulder, C.P.H. (2005). Improved water retention links high species richness with increased productivity in arctic tundra moss communities. *Oecologia* 146, 287–299.

Romano D., (2004). Strategie per migliorare la compatibilità del verde ornamentale con l'ambiente mediterraneo, pp. 363-404. In: Pirani A. (Ed.). *Il verde in città. La progettazione del verde negli spazi urbani*. Edagricole, Bologna.

Rowe, D.B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2100-2110.

Sage, R.F. (2004). The evolution of C4 photosynthesis. *New phytologist*, 161(2), 341-370.

Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., & Lim, C. H. (2013). A Review of Energy Aspects of Green Roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 155-168.

Santamouris, M. (2014). Cooling the Cities – A Review of Reflective and Green Roof Mitigation Technologies to Fight Heat Island and Improve Comfort in Urban Environments. *Solar Energy*, 103, 682-703.

Savi, T., Boldrin, D., Marin, M., Love, V. L., Andri, S., Tretiach, M., & Nardini, A. (2015). Does shallow substrate improve water status of plants growing on green roofs? Testing the paradox in two sub-Mediterranean shrubs. *Ecological Engineering*, 84, 292-300.

Savi, T., Dal Borgo, A., Love, V. L., Andri, S., Tretiach, M., & Nardini, A. (2016). Drought versus heat: What's the major constraint on Mediterranean green roof plants?. *Science of the Total Environment*, 566, 753-760.

Schulze-Ardey, C., & Schroder, M. (2008). Guidelines for the planning, construction and maintenance of green roofing-green

roofing guideline. The Landscape Development and Landscaping Research Society, Bonn, Germany.

Schwinning, S. (2010). The ecohydrology of roots in rocks. *Ecohydrology: Ecosystems, land and water process interactions, Ecohydrogeomorphology*, 3(2), 238-245.

Serra, G. (1993). La pianta nel giardino: aspetti agroecologici nella scelta della specie vegetale. Atti Giornata di studio su “La pianta nel giardino”. Torino, 30 settembre.

Shafique, M., Kim, R., & Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 757-773.

Sieker, F., 1984. *Stormwater infiltration in urban areas*, Goteborg, Svezia: Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, 4-8 June; pp. 1083-1091.

Snodgrass, E.C., & Snodgrass, L.L. (2006). Green roof plants: a resource and planting guide (No. 04; SB419. 5, S5.). Portland, OR: Timber Press.

Soulis, K.X., Ntoulas, N., Nektarios, P.A., & Kargas, G. (2017). Runoff reduction from extensive green roofs having different substrate depth and plant cover. *Ecological Engineering*, 102, 80-89.

Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2012). Urban Particulate Pollution Reduction by Four Species of

Green Roof Vegetation in a UK City. *Atmospheric Environment*, 61, 283-293.

Stewart, K.E.J., Bourn, N.A.D., & Thomas, J.A. (2001). An evaluation of three quick methods commonly used to assess sward height in ecology. *Journal of Applied ecology*, 38(5), 1148-1154.

Stovin, V., Poë, S., De-Ville, S., & Berretta, C. (2015). The influence of substrate and vegetation configuration on green roof hydrological performance. *Ecological Engineering*, 85, 159-172.

Stovin, V., Vesuviano, G., & Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of hydrology*, 414, 148-161.

Strosser, P. et al., 2014. A guide to support the selection, design and implementation of Natural Water Retention Measures in Europe - Capturing the multiple benefits of nature-based solutions. *European Commission, Brussels*.

Taherkhani, R., Shaahnazari, S., Hashempour, N., & Taherkhani, F. (2022). Sustainable cities through the right selection of vegetation types for green roofs. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 13(3), 365-388.

Tardieu, F. (2005). Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(1-2), 57-67.

Thuring, C.E., Berghage, R.D., & Beattie, D.J. (2010). Green roof plant responses to different substrate types and depths under various drought conditions. *HortTechnology*, 20(2), 395-401.

Tilman, D., Kinzig, A.P., & Pacala, S. (Eds.). (2013). *The functional consequences of biodiversity: Empirical progress and theoretical extensions (mpb-33)*. Princeton University Press.

Tomasella, M., De Nardi, E., Petruzzellis, F., Andri, S., Castello, M., & Nardini, A. (2022). Green roof irrigation management based on substrate water potential assures water saving without affecting plant physiological performance. *Ecohydrology*, 15(4), e2428. <https://doi.org/10.1002/eco.2428>

Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2019). Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*, 5(1), 6.

Urbanization Statistics UN 2018 Revision of World Urbanization Prospects (New York: UN DESA).

Van Mechelen, C., Dutoit, T., & Hermy, M. (2015). Vegetation development on different extensive green roof types in a Mediterranean and temperate maritime climate. *Ecological engineering*, 82, 571-582.

Van Mechelen, C., Dutoit, T., Kattge, J., & Hermy, M. (2014). Plant trait analysis delivers an extensive list of potential green roof

species for Mediterranean France. *Ecological engineering*, 67, 48-59.

Vanuytrecht, E., Van Mechelen, C., Van Meerbeek, K., Willems, P., Hermy, M., & Raes, D. (2014). Runoff and vegetation stress of green roofs under different climate change scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 122, 68-77.

Varela-Stasinopoulou, D.S., Nektarios, P.A., Ntoulas, N., Trigas, P., & Roukounakis, G.I. (2023). Sustainable growth of medicinal and aromatic Mediterranean plants growing as communities in shallow substrate urban green roof systems. *Sustainability*, 15(7), 5940.

Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and sustainable energy reviews*, 57, 740-752.

Villarreal, E.L., & Bengtsson, L. (2005). Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 25(1), 1-7.

White, J.W., & Snodgrass, E. (2003). Extensive green roof plant selection and characteristics. In *Proceedings of the 1st Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference* (Vol. 1, pp. 166-76).

Williams, N.S., Rayner, J.P., & Raynor, K.J. (2010). Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop

greening in Australia. *Urban forestry & urban greening*, 9(3), 245-251.

Wolf, D., & Lundholm, J.T. (2008). Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecological Engineering*, 33(2), 179-186.

Woods Ballard, B. et al., 2015. *The SUDs Manual*, London, UK, ISBN: 978-0-86017-760-9: CIRIA Report C753, RP992.

Xiao, M., Lin, Y., Han, J., & Zhang, G. (2014). A review of green roof research and development in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 633-648.

Yang J., Kumar D.I.M., Pyrgou A., Chong A., Santamouris M., Kolokotsa D., Lee S.E, (2018). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate, *Sol. Energy* 173, 597–609, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.006>.

Yazdani H., Baneshi M., (2022) Building energy comparison for dynamic cool roofs and green roofs under various climates, *Sol. Energy* 230 (2021) 764–778, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.076>

Yeang, K. (2006). *Ecodesign: A Manual for Ecological Design*. Wiley-Academy.

Zandalinas, S.I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination

of drought and high temperatures. *Physiologia plantarum*, 162(1), 2-12.

Zinzi M., Agnoli S.(2021). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential building in the Mediterranean region, *Energy Build.* 55 (2012) 66–76, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.024>.