

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Integrazione tra verde urbano ed edifici.
Aspetti progettuali e confronto tra soluzioni

Relatore:

Prof. Carlo Caldera

Candidato:

Milillo Marco

Matricola: 231864

Anno accademico 2016/2017

*Ai miei amici ed alla mia famiglia,
che non hanno mai smesso di credere in me.*

Indice

Abstract	7
Abstract	8
Introduzione	9
1. L'inquinamento atmosferico	11
1.1 Definizione di inquinamento atmosferico	11
1.2 Inquinanti primari e secondari	12
1.3 Principali cause d'inquinamento	12
1.4 Principali inquinanti	14
1.5 Effetti degli inquinanti sull'ambiente.....	16
2. Il rinverdimento urbano come soluzione per contrastare l'inquinamento.....	19
2.1 Il verde pensile	19
2.2 Verde verticale	21
2.3 Tipologie di verde verticale	27
2.4 Coperture verdi	29
2.4.1 Soluzioni di coperture verdi	30
2.4.2 Gli strati funzionali delle coperture verdi	39
2.5 Sistemi di fertirrigazione.....	41
3. Manutenzione del verde	44
3.1 La manutenzione delle opere a verde pensile nella vigente norma UNI 11235	44
3.2 Ambiti di responsabilità e garanzia per la manutenzione del verde pensile	48
3.3 Elenco e specifica degli interventi di manutenzione	49
3.3.1 Manutenzione dei sistemi tecnologici	50
4. Valutazione dei costi di intervento per la realizzazione di coperture verdi	53
5. I casi studio	56
5.1 25 Verde.....	56
5.1.1 Lo studio del verde.....	59
5.1.2 Costi di manutenzione.....	61
5.1.3 Altri esempi di opere di Luciano Pia.....	62
5.1.4 Dettagli costruttivi ed analisi dei nodi strutturali	66
5.2 Il bosco verticale	71
5.2.1 Realizzazione delle vasche e delle coperture verdi	77
5.2.2 L'impianto di irrigazione	82

5.2.3	Costi di gestione e manutenzione.....	84
5.2.4	Esempi di altre opere progettate da Stefano Boeri Architetti.....	85
5.2.5	Dettagli costruttivi ed analisi dei nodi strutturali	91
	Conclusioni	96
	Fonti delle figure.....	98
	Bibliografia e sitografia	100

Abstract

Questa tesi inizia con l'illustrare i vari problemi legati all'inquinamento atmosferico urbano, poi elenca e analizza le differenti tipologie di opere di rinverdimento urbano, intese come parziali soluzioni a questo problema. Verranno elencate le differenti tipologie, con relativi esempi antologici, i differenti metodi di costruzione e posa dei vari strati con relativa classificazione, saranno analizzati gli impianti coinvolti nella progettazione e svolto uno studio sulla fase di manutenzione, con una stima dei costi ad alloggio di essa. Vengono infine presentati e descritti due esempi caratteristici di queste tipologie, 25 Verde e il Bosco Verticale, analizzate le loro peculiarità, le differenze e gli aspetti costruttivi, e infine valutata la soluzione più efficace, sia dal punto di vista ambientale che economico.

Abstract

This thesis begins to illustrate the various problems of urban atmospheric pollution, lists and analyzes the different types of urban renewal works, intended as partial solutions to this problem.

The different typologies will be listed, with their anthological examples, the different methods of construction and laying of the various layers, classified by the various layers, analyzing the plants involved in the design and carrying out a study on the maintenance phase, with an estimate of the costs for a medium flat. Finally, two typical examples of these types are analyzed, 25 Verde and Bosco Verticale, analyzing the peculiarities, the differences and the constructive aspects, and finally evaluating the most effective solution, both from the environmental and the economical point of view.

Introduzione

Ho scelto come argomento di tesi l'integrazione tra verde urbano ed edifici tenendo conto dell'importanza funzionale che ha questo verde nelle città più inquinate (in Italia in genere consideriamo Roma, Milano e Torino), con un confronto finale tra due esempi costruttivi.

Questa tesi tratta le diverse soluzioni utili per contrastare e combattere l'inquinamento atmosferico. Sempre più frequentemente osserviamo un'urbanizzazione più selvaggia e più grande che ha spesso come unico fine il guadagno, non curando quindi i danni che essa può provocare all'ambiente. Il risultato di questa urbanizzazione è una cementificazione senza controllo che comporta quindi una riduzione se non addirittura scomparsa del verde nelle nostre aree urbane. Se per un attimo ci fermassimo a guardarci intorno, noteremmo che, soprattutto nel passato, si tendeva a eliminare grandi viali densi di alberi per far posto a centri commerciali, zone di parcheggio o altre strutture di cemento in generale, non curanti che il verde, soprattutto quello urbano, garantisce la vita ed il benessere per noi e qualsiasi altro essere vivente, poiché, tramite fotosintesi, forniscono ossigeno e filtrano gli inquinanti, andando a ridurre le percentuali di questi che troviamo al giorno d'oggi nell'aria..

Ad esempio, analizzando la zona centrale di Milano, se non considerassimo la zona di Parco Sempione e dei pochi viali alberati, notiamo che il verde, sebbene rappresenti sempre comunque una percentuale infinitesima del territorio in qualsiasi zona urbanizzata, è quasi sparito.

Per fortuna però in molte altre zone del mondo, il *concept* di verde urbano sta prendendo sempre più piede, tramite la realizzazione di giardini pubblici, viali alberati, tetti e pareti verdi, sia intensivi che estensivi. Ciò ha un riscontro sia dal punto di vista estetico sia da un punto di vista funzionale, per ovviare ai problemi dell'inquinamento atmosferico urbano.

L'Italia, per questo e anche altri aspetti, è indietro rispetto ad altri paesi del mondo: basti pensare che ci sono pochi esempi che si possono citare (i più famosi sono il Bosco Verticale, di Boeri, situato nello storico quartiere Isola di Milano, oppure 25 Verde,

nella città di Torino, a ridosso del Parco del Valentino, entrambi analizzati come soluzioni costruttive nei successivi capitoli di questo elaborato).

Molti italiani non sanno addirittura cosa sia un tetto verde o una parete verde, e soprattutto non rispettano il poco verde presente in città.

Negli Stati Uniti è stato creato addirittura un programma, chiamato UFORE che permette di calcolare i parametri necessari alla realizzazione ed allo sviluppo di un tetto verde. Esse sono opere molto complesse, sia per la realizzazione, che per la manutenzione e, soprattutto, per l'elevato costo iniziale di realizzazione, ma capirete l'importanza di queste soluzioni sapendo che basta un solo metro quadrato di tetto verde per compensare l'inquinamento prodotto da una singola automobile.

L'informazione, scarsa o addirittura assente, ci porta spesso sia a diventare indifferenti che a perdere interesse verso il mondo in cui viviamo, verso la natura e verso i meccanismi della vita. Bisogna prendersi cura del nostro ambiente, sui beni forniti dalla natura, che, sebbene grandi, non sono infiniti. E se non si pone la giusta attenzione su questi temi, sempre più attuali, tentando di limitare o idealmente di curare i danni già provocati e tutelare le risorse rimaste, potremmo diventare, sia noi che le prossime generazioni, vittime di noi stessi.

1. L'inquinamento atmosferico

L'inquinamento atmosferico nasce per lo più per colpa dell'uomo o, meglio, le attività svolte dall'uomo, che tramite le industrie, il riscaldamento e le emissioni dei mezzi a combustione interna provoca l'introduzione di gas tossici nell'atmosfera, quali biossido di zolfo, piombo, monossido di carbonio, biossido di azoto, ozono e particolato atmosferico. Questo è uno dei problemi che riguarda gli abitanti dei grandi centri urbani di tutto il mondo. A partire dagli anni '70 sono state messe in vigore in alcuni Paesi delle disposizioni di legge che miravano a ridurre la percentuale degli agenti chimici e di numerose altre sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera. Queste leggi, entrate in vigore per la salvaguardia dell'ambiente, comportarono una riduzione significativa delle concentrazioni di alcuni inquinanti, come ad esempio il biossido di zolfo, il piombo e il monossido di carbonio, ma per altri inquinanti, come il biossido di azoto, l'ozono e il particolato atmosferico, non hanno raggiunto gli obiettivi prefissati e, cosa ancor più grave, si sono studiate le conseguenze che essi possono avere sulla salute delle persone.

1.1 Definizione di inquinamento atmosferico

L'inquinamento atmosferico è definito come: “fattore o sostanza che determina l'alterazione di una situazione stazionaria attraverso:

- modifica dei parametri fisici e/o chimici;
- variazione di rapporti quantitativi di sostanze già presenti;
- introduzione di composti estranei deleteri per la vita, direttamente o indirettamente.”

Iniziamo dicendo che l'aria consiste in una miscela non omogenea formata da gas e particelle in sospensione, di varia natura e dimensioni, e la sua composizione in percentuale si può modificare sia nello spazio che nel tempo, per effetti naturali e non, così da rendere ostico stabilire le caratteristiche di qualità. Al giorno d'oggi è difficile

trovare un ambiente incontaminato di riferimento e questo comporta l'introduzione del concetto di inquinamento atmosferico, andando a stabilire uno standard convenzionale per la qualità dell'aria. Di conseguenza, definiamo l'aria inquinata quando la sua composizione supera dei limiti stabiliti per legge, volti a limitare o eliminare in alcuni casi gli effetti nocivi sulla salute dell'uomo, degli animali, della vegetazione, o danni sui materiali o sugli ecosistemi in generale.

1.2 Inquinanti primari e secondari

La caratteristica di reagire in atmosfera che gli inquinanti hanno comporta a effettuare una distinzione tra essi:

- inquinanti primari: “gli inquinanti che vengono emessi direttamente in atmosfera, cioè che non subiscono altre modifiche una volta emessi; il monossido di carbonio è un esempio d'inquinante primario, perché esso è un sottoprodotto della combustione, ma lo sono anche le polveri che si sviluppano da eventi naturali”;
- inquinanti secondari: “gli inquinanti che si formano in atmosfera tramite delle reazioni chimiche tra varie sostanze presenti (queste sostanze possono essere degli inquinanti primari oppure no); un esempio è la formazione di ozono nello smog”.

Esistono inoltre alcuni tipi di inquinanti, come ad esempio il particolato fine, in cui, le proporzioni tra primari e secondari si equivalgono.

1.3 Principali cause d'inquinamento

Ora bisogna effettuare una distinzione tra gli inquinanti in base alla loro natura.

- Inquinamento naturale: vulcani (SO₂), incendi (PM10), ghiaioni (amianto), processi biologici (allergeni);

- Inquinamento antropico: traffico veicolare, riscaldamento domestico, industrie e attività artigianali, veicoli *off road*, agricoltura e altre attività.

Di seguito vengono riportati i principali inquinanti antropici:

- Traffico veicolare: “le emissioni provocate dal traffico veicolare dipendono dal tipo di combustibile, dal tipo di veicolo e dalla sua età; tutti i motori termici, se alimentati a combustibili fossili, producono anidride carbonica (CO₂), mentre i veicoli alimentati a gasolio emettono principalmente particolato, come PM10 e inferiori, idrocarburi (HC), ossidi di azoto (NO_x) e biossido di zolfo (SO₂)”.

Un veicolo alimentato a benzina emette come inquinanti particolato, NO_x e CO, mentre i veicoli a metano e GPL emettono NO_x, particolato ultra fine e scarsi idrocarburi. Negli ultimi anni si è cercato di ridurre le emissioni inquinanti da parte dei veicoli con l'introduzione di fasce Euro 1, 2, 3, andando a rendere anche obbligatoria la marmitta catalitica e il filtro antiparticolato.

- Riscaldamento domestico: “gli inquinanti emessi dipendono essenzialmente dal combustibile utilizzato, dalla tipologia di riscaldamento, dalla vetustà e dalla manutenzione dello stesso”.
- Industria e artigianato: “gli inquinanti emessi sono i più svariati; questo avviene per le moltissime lavorazioni in campo industriale che vanno a determinare inquinanti molto diversi tra loro in base alla lavorazione eseguita e possono variare da solventi, nebbie acide, metalli, polveri e altro. In campo industriale le emissioni sono fortemente regolamentate e per questo le industrie devono utilizzare dei sistemi di abbattimento degli inquinanti che variano in base agli stessi”.

1.4 Principali inquinanti

Nell'atmosfera sono presenti tantissime sostanze, per questo sono stati proposti diversi metodi di classificazione: inizialmente si può classificare in base alla composizione chimica, quindi si trattano principalmente composti che contengono zolfo, composti che contengono azoto, altri che contengono carbonio e infine composti alogeni. In un secondo momento si può classificare in base allo stato fisico (solido, liquido o gassoso). Infine, la terza ed ultima definizione si basa sul grado di reattività in atmosfera, suddividendole in sostanze primarie o secondarie. Gli inquinanti primari possono essere di tipo gassoso o particolato.

Di seguito riporterò un riassunto dei più importanti inquinanti presenti nell'atmosfera.

Tra i gas troviamo:

- Composti dello zolfo: “i principali composti che contengono zolfo in atmosfera sono biossido di zolfo (SO_2), solfuro di carbonile (COS), solfuro di carbonio (CS_2), solfuro d'idrogeno (H_2S) e dimetilsolfato $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$. Principalmente provengono dalla decomposizione biologica, dalla combustione dei combustibili fossili, da materia organica, dallo spray marino e dalle eruzioni vulcaniche. Il biossido di zolfo, che costituisce il 95% del totale delle emissioni antropiche di zolfo, deriva da processi di combustione che dipendono dal contenuto di zolfo del combustibile usato. Esso è altamente solubile in acqua, perciò ha un tempo di residenza in atmosfera relativamente breve (da 12 ore a un massimo di 7 giorni), in quanto viene rimosso dalle precipitazioni attraverso la sua ossidazione ad anidride solforica in presenza di catalizzatori quali particelle carboniose, composti azotati, ferro e manganese”.
- Composti dell'azoto: “il più abbondante di questi in atmosfera è N_2O , che viene emesso principalmente per azione dei batteri nel suolo e secondariamente

attraverso reazioni chimiche nella parte più alta dell'atmosfera. Non viene considerato inquinante in quanto chimicamente inerte alle temperature ordinarie. Sono invece considerati inquinanti il monossido e il biossido di azoto (NO e NO₂); il primo viene prodotto da sorgenti sia naturali che antropiche, e in particolare in tutti i processi di combustione”.

- Composti del carbonio: “in questa categoria i principali composti inorganici sono il monossido di carbonio (CO) e il biossido o anidride carbonica (CO₂). L'anidride carbonica prodotta dalle attività umane deriva da processi di combustione. Fino a un secolo fa, le emissioni erano bilanciate dalla rimozione da parte della vegetazione attraverso la fotosintesi clorofilliana, ma a causa del brusco aumento delle emissioni e a una riduzione della vegetazione (provocata dall'ampio uso di combustibili fossili) si riscontra ad oggi un aumento delle concentrazioni di fondo. L'interesse che si è sviluppato attorno a questo composto è dovuto alle modificazioni climatiche su scala planetaria. Il monossido di carbonio è considerato invece altamente tossico, in quanto, avendo affinità con l'emoglobina, impedisce l'ossigenazione dei tessuti. La sua sorgente primaria sono i fumi di scarico delle auto e in parte minore le centrali termoelettriche e gli impianti di riscaldamento. Fanno parte di questa categoria numerosissimi composti che vengono catalogati in grosse classi, di cui le principali sono: gli idrocarburi (suddivisi a loro volta in alcani come il metano, alcheni come l'etene, alchini come l'acetilene), gli aromatici come il benzene, le aldeidi come la formaldeide, i chetoni come gli acetoni”.
- IPA: “idrocarburi policiclici aromatici, una larga gamma di sostanze prodotte dalla combustione di legna, nafta, gasolio, di cui il più importante e unico è il Benzo (a) Pirene, considerato un forte cancerogeno”.

Inquinante	Nome limite	Parametro statistico	Valore	Note	Data alla quale il valore deve essere raggiunto
C ₆ H ₆	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	5 µg/m ³	--	01 gennaio 2010
CO	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m ³	--	01 gennaio 2005
NO _x	Limite per la protezione della vegetazione	Media annuale	30 µg/m ³	--	--
NO ₂	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	Media 24 h	200 µg/m ³	Da non superare più di 18 volte per anno civile	01 gennaio 2010
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m ³	--	01 gennaio 2010
PM ₁₀	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	Media 24 h	50 µg/m ³	Da non superare più di 35 volte per anno civile	01 gennaio 2005
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m ³	--	01 gennaio 2005

Tabella 1: tabella dei valori limite accettabili di inquinanti nell'aria, D.Lgs 2010/155.

1.5 Effetti degli inquinanti sull'ambiente

I due effetti principali che l'inquinamento atmosferico può provocare all'ambiente sono l'effetto serra e le piogge acide.

- Effetto serra: “fenomeno climatico che consiste nel riscaldamento degli strati inferiori dell'atmosfera, per effetto della schermatura che offrono alcuni gas in essa contenuti (gas serra). Quest'ultimi risultano trasparenti alle radiazioni di lunghezza d'onda più corta e opachi a quelle con lunghezza d'onda più ampia; questo fa sì che le radiazioni con lunghezza d'onda minore riescano ad attraversare questi gas arrivando alla superficie terrestre, dove vengono in parte assorbite e in parte riflesse. La parte assorbita viene rilasciata sotto forma d'infrarossi, che hanno una lunghezza d'onda maggiore e quindi rimangono intrappolati dai gas serra. L'effetto serra di per sé non è un fenomeno negativo, perché senza di esso la superficie terrestre si presenterebbe con una temperatura media inferiore ai -18 °C, invece degli attuali +15 °C, ma può diventare dannoso nel caso si continui a emettere inquinanti in modo

incontrollato (gas serra regolamentati dal protocollo di Kyoto: CO₂, CH₄, N₂O, PF, HCF, SF₆)”.

- Piogge acide: “l’acqua piovana di norma ha un pH di circa 5,5 quindi leggermente acido, a causa della presenza di anidride carbonica (CO₂), che forma acido carbonico. A causa dell’inquinamento si disciolgono anche biossido di zolfo (SO₂) e vari ossidi di azoto, che formano rispettivamente acido solforico (H₂SO₄) e acido nitrico (HNO₃), i quali abbassano notevolmente il pH formando le piogge acide”.

Le piogge acide provocano gravissimi danni all’ambiente, tra i principali troviamo: deterioramento e in alcuni casi corrosione dei monumenti, deterioramento delle foglie delle piante, provocando quindi un danno nel processo di fotosintesi, inquinamento delle falde acquifere e degli specchi d’acqua, con intossicamento degli animali che vi abitano, distruzione dei batteri necessari alla decomposizione delle sostanze organiche, provocando un accumulo sui fondali di materiale tossico, aumento dell’acidità del suolo, andando ad avere conseguenze anche sul tipo di piante che possono crescere. Inoltre favorisce il passaggio in soluzione di metalli pesanti tossici, come ad esempio il mercurio.



Figura 1: danni da piogge acide su un monumento.

2. Il rinverdimento urbano come soluzione per contrastare l'inquinamento

2.1 Il verde pensile

Quando pensiamo al verde pensile la prima immagine che ci viene in mente è quella di terrazze o coperture. Negli anni, però, la tecnologia inizialmente usata si è sviluppata a tal punto da modificare la definizione di verde pensile, così riformulata “tecnologia per realizzare opere a verde su superfici non in contatto con il suolo naturale” (ISPRA 2012).

Le opere di verde pensile possono quindi essere, oltre alle classiche terrazze, coperture o tetti, anche gallerie, superfici inerti generali (anche in ambiente interno), garage interrati.

Le due più importanti caratteristiche che deve possedere un giardino pensile sono:

- permettere alla copertura di svolgere il suo scopo di protezione e difesa dalle intemperie, facendo particolare attenzione alla funzione di raccoglimento e drenaggio delle acque meteoriche;
- permettere lo sviluppo di una vegetazione duratura senza avere, in base alla destinazione d'uso della superficie, elevati costi di manutenzione.

Sono tantissimi i risvolti positivi dell'applicazione del verde pensile in contesto urbano. Ogni anno che passa le costruzioni nelle nostre città aumentano sempre di più, e per ogni nuova costruzione un pezzo di natura viene eliminato. Con la costruzione di nuovi edifici, e quindi con un uso intensivo del territorio, tendiamo a modificare il clima (i materiali di costruzione utilizzati in città, quali calcestruzzo, pietre ed asfalto, accumulano calore e producono polvere), la rete di smaltimento delle acque si sovraccarica, le superfici artificiali dei palazzi tendono a frenare l'azione del vento, impendendo così quindi i ricambi d'aria necessari. Inoltre le emissioni di gas da abitazioni, industrie e veicoli provocano la formazione di nuvole caligine sui centri urbani.

Al contrario, sulle aree verdi l'aria è più pulita, poiché la vegetazione presente in queste aree permette di fissare le micro polveri dei centri urbani, produrre nuovo ossigeno e rinfrescare l'aria. Nelle nostre città non ci sono sufficienti aree verdi e l'utilizzo di queste soluzioni può considerarsi necessario per la tutela del clima urbano.

Il verde pensile presenta aspetti positivi anche per i proprietari degli immobili, facendo aumentare la qualità della vita e il valore dell'immobile stesso. Inoltre presenta un isolamento termico aggiuntivo per gli edifici sul quale è installato. Le precipitazioni non hanno nessuna azione diretta sull'impermeabilizzazione e sulla struttura delle coperture. Quindi, durante il periodo estivo l'aria all'interno è più fresca, mentre d'inverno riesce a far abbassare i costi per il riscaldamento.



Figura 2: giardino pensile di un edificio di Losanna.



Figura 3: Nanyang Technological University (NTU), Singapore.

2.2 Verde verticale

Dall'inizio degli anni novanta il verde verticale ha raggiunto una sempre maggiore diffusione e sperimentazione, riferendosi all'insieme di soluzioni tecniche, in continua evoluzione, per la costruzione di facciate di edifici o manufatti rivestiti da vegetazione. A seconda di queste diverse modalità di costruzione, di coltivazione della vegetazione, di diverse applicazioni e di diverse classi di benefici, bisogna distinguere tre macro-categorie:

- verde parietale;
- muro vegetale;
- giardino verticale.

Per verde parietale si intende il rivestimento "naturale" di pareti o facciate di edifici o manufatti tramite l'utilizzo o di vegetazione rampicante, in genere piantata a terra nelle immediate vicinanze della superficie architettonica da ricoprire, o di vegetazione ricadente, piantata in vasi o vasche di calcestruzzo alla sommità della suddetta

superficie. In queste due categorie possiamo anche includere la “coltivazione a spalliera” di alberi da frutto, ancora largamente utilizzata in vari paesi europei per l'allevamento di piccoli alberelli a ridosso delle mura dell'edificio residenziale.

Il verde parietale prevede, nei casi più tecnologicamente complessi, l'installazione di apposite strutture di sostegno (quali telai, griglie ecc.). Questi interventi sono da considerarsi riusciti e ben progettati quando la fusione tra vegetazione e manufatto risulta equilibrata, in particolare quando la pianta viene collocata in aree climaticamente adatte alla sua specie, tenendo conto appunto di clima, luce, esposizione, terreno, acqua, e quando l'installazione del verde parietale non provoca il degrado della parete o manufatto su cui è installato.



Figura 4: esempio di installazione di verde parietale su edificio residenziale nell'astigiano.

Per questo, risultano di fondamentale importanza, nel processo di realizzazione di verde parietale, lo studio delle specie botaniche al fine di scegliere quella più idonea per ogni impianto, con persino l'analisi della morfologia di crescita, della capacità di sviluppo e della modalità di ancoraggio più idonea.

Per muro vegetale si intende l'insieme di soluzioni che prevedono l'utilizzo di prodotti industriali per realizzare elementi verticali, autoportanti o non, rivestiti di vegetazione tappezzante e arbustiva. Il substrato d'impianto consiste in un duplice strato di feltro sintetico e le piante sono collocate manualmente, una a una, dall'operatore, che le inserisce in apposite tasche ricavate nello spessore fra i due tessuti. Non viene utilizzato alcun tipo di struttura modulare o tecnica di prevegetazione. Il muro vegetale è di norma dotato di un impianto d'irrigazione automatico e integrato nella struttura. Lo scopo dei muri vegetali è, oltre al rinverdimento urbano, quello di mitigare l'impatto delle infrastrutture e dei servizi, poiché possono essere certificati come barriere acustiche fonoassorbenti e come elementi di protezione e divisione/separazione spaziale.



Figura 5: piantumazione manuale tra i due strati di feltro.



Figura 6: Oasis D'Aboukir, in Rue d'Aboukir (Parigi, 2013). Si tratta di un'installazione di una facciata verde su una facciata cieca di palazzo esistente, un'opera di riqualificazione definita dallo stesso Blank, per le innumerevoli specie utilizzate, "inno alla biodiversità".

Per giardino verticale intendiamo un'installazione polimaterica per la coltivazione di un gran numero di specie erbacee e arbustive che utilizza il piano verticale del costruito, dotato generalmente di impianto di irrigazione integrato e automatico. I giardini verticali possono essere realizzati sia interamente tramite elementi prefabbricati sia mediante assemblaggio di diversi componenti di produzione industriale. Questa soluzione sotto l'aspetto tecnico-costruttivo più complessa del solito rivestimento di facciate tramite piante rampicanti.

Il giardino verticale può essere inteso anche come un'espressione di natura adattata al contesto urbano, una natura specializzata, che nasce, cresce e si sviluppa mediante l'ausilio di strumenti e tecniche ben studiati, dando vita a dei quadri urbani dove edifici e natura si fondono in perfetta armonia.

Il giardino verticale include un'ampissima e diversificata gamma di soluzioni tecniche; è possibile individuare, in base ad una divisione tipologica, tre sottocategorie, diversificate ampiamente tra loro, che sono codificate tramite le modalità costruttive e gli esiti compositivi.

- a contenitori integrati: sono giardini realizzati collocando nella struttura architettonica o nel manufatto dei vasi, contenitori o vasche lineari per definire trame o partizioni in facciata di edifici, oppure per creare effetti plastici utili a caratterizzare manufatti. Questa soluzione, nella quale la vegetazione è distribuita in substrati organici, costituisce un'alternativa tecnologica agli interventi di rinverdimento urbano presenti nella tradizione vernacolare mediterranea, che prevedevano il collocamento di vasche di pietra di fronte alle facciate degli edifici, all'interno o di fronte alle cinta murarie, nelle quali venivano collocate piante rampicanti.
- a combinazione: sono quelle soluzioni realizzate tramite sistemi costruttivi che necessitano dell'installazione di cavi tesati, sostegni e impalcature abbinati a contenitori, vasche e fioriere.
I giardini verticali a combinazione risultano quindi assemblati tendenzialmente per sovrapposizione e interconnessione dei vari componenti. Come per il caso dei contenitori integrati, anche qui si tende ad utilizzare il verde in substrati organici.
- a estensione continua complanare: questa tipologia è basata sull'assemblaggio tra componenti di produzione industriale, in modo da essere interconnessi in maniera solidale tra loro (per incastro, accostamento di parti e componenti o per stratificazione), al fine di ottenere un piano verticale di coltivazione molto esteso e senza interruzioni.

Questi sistemi sono basati e sfruttano in maniera ottimale i principi della tecnica idroponica e prevedono sia l'uso di substrati inorganici (feltro o perlite) sia organici (terriccio alleggerito). Nel primo caso parliamo di sistemi leggeri e a strati, aventi spessore compreso tra i 12 e i 20 cm, in cui è previsto l'utilizzo di griglie o telai di alluminio, legno o acciaio e substrato tessile; nel secondo, invece, parliamo di sistemi pesanti, assemblati tramite moduli a cassoni o gabbioni, materiali espansi, fibra.

Un giardino verticale rimane comunque un'installazione vivente ma a regime di crescita controllata, cioè richiede una cura molto dettagliata, specifiche attenzioni nell'ambito della manutenzione e un controllo costante del funzionamento degli impianti (soprattutto quello d'irrigazione) che lo compongono. Quasi tutte le tecniche costruttive dei giardini verticali si basano sul principio dell'idroponica o fertirrigazione, una modalità di coltivazione che consente di sostituire la terra con un substrato inerte in termini biologici (perlite, materiale tessile o argilla espansa) su cui le piante, opportunamente irrigate con una miscela di acqua e sostanze nutritive minerali essenziali, possano radicare e svilupparsi al pari di piante dello stesso tipo coltivate in terra. La coltivazione idroponica, sostituendo il substrato inerte alla terra e avendo così un ambiente controllato, è basata sulla riduzione dei fattori di interferenza reciproci che ostacolerebbero la crescita e sviluppo del verde. Possono distinguersi in due tipi: nel primo caso la funzione di protezione dagli agenti atmosferici per le radici è svolta da un substrato asettico solido e inerte che non ha nessuna funzione di ancoraggio; l'unica caratteristica che deve avere è un elevato grado di porosità per permettere la circolazione della soluzione nutritiva nei capillari radicali. Nel secondo caso la funzione del terreno è sostituita per intero dall'apporto delle sostanze nutritive messe in circolo dall'impianto di fertirrigazione.

I benefici derivanti dall'inserimento di giardini verdi all'interno delle strutture architettoniche sono molteplici, specialmente se si riesce a coordinare diversi aspetti multidisciplinari secondo una ricerca tra bioarchitettura, ingegneria naturalistica, paesaggistica e agronomia. I giardini verticali riescono, rispetto alle realizzazioni outdoor, ad aumentare la biodiversità in ambiente urbano, comportare benefici a livello microclimatico nelle zone d'installazione, tramite la produzione di ossigeno e biomassa, con filtraggio delle sostanze inquinanti presenti nei centri urbani (polveri sottili). Permettono inoltre di riutilizzare le acque reflue mediante un impianto di recupero (assieme a quelle meteoriche), di ridurre l'impatto visivo delle costruzioni, e di avere anche funzione di isolamento termico, acustico, e di schermatura degli edifici mediante opera di filtraggio visivo, creando un micro habitat per faune di uccelli e microfaune. A questi benefici vanno aggiunti gli effetti positivi legati al miglioramento della qualità visiva della zona per mezzo

della diffusa presenza di vegetazione. I benefici dell'installazione indoor di giardini verticali non sono meno significativi di quelli appena elencati: isolamento acustico e miglioramento della qualità dell'aria e della temperatura, con l'eventualità di regolare l'umidità in ambienti riscaldati e/o climatizzati, senza tralasciare gli effetti positivi sulla salute dei fruitori.

Il giardino verticale si propone sia come una formula per la rinaturalizzazione delle superfici minerali (ergo facciate di edifici), sia come una superficie verde in grado di produrre un caleidoscopio di luce e di immagini ben distinte e meno abituarie rispetto a quelle del verde tradizionalmente in uso. Il verde verticale è una forma di verde in grado di lavorare per il riassetto delle superfici drenanti e per favorire l'ingresso della copertura vegetale in un tessuto urbano.

2.3 Tipologie di verde verticale

È necessario iniziare a distinguere le varie tipologie di verde verticale, che ad oggi è inserito nella vasta categoria del verde urbano, inteso come architettonico, poiché rappresenta una sorta di "pelle" verde direttamente appoggiata sull'edificio e qui montata tramite un sistema di fissaggio. Il primo che viene definito è il verde parietale: prevede la creazione di una parete verde dislocata a una certa distanza dalla parete da raffrescare. Il verde parietale può svolgere la funzione prevista di ombreggiamento della parete su cui è installato, che può essere realizzato sia tramite impianti discontinui con copertura parziale della parete, sia con sistemi continui, che permettono una copertura completa. Questa soluzione prevede l'utilizzo di specie rampicanti (in genere a foglie caduche per esposizioni a sud, sempreverde a nord) abbinata a piante da fiore e arbusti inseriti nel sistema di ancoraggio utilizzato per il rampicante.

Il controllo e la scelta dei materiali vegetali sono basati sulla corrispondenza a determinati standard qualitativi, suddivisi in aspetti qualitativi intrinseci ed estrinseci.

Per quanto riguarda gli aspetti intrinseci, ovvero tutti quei requisiti non immediatamente percepiti o evidenti in prima analisi della pianta, occorre fare particolare attenzione a:

- salute delle piante: esse devono presentarsi sane, esenti da parassiti o fitopatologie;
- apparato radicale: deve essere ben sviluppato e coerente con il tipo di pianta, la sua età e il tipo di substrato;
- per piante prodotte nei contenitori, le zolle devono essere attraversate in maniera compatta dalle radici, senza presentare un'eccessiva stratificazione delle stesse

Per quanto riguarda gli aspetti estrinseci, ovvero gli aspetti esteriori delle piante, dobbiamo focalizzarci su:

- i requisiti minimi dimensionali, a seconda della categoria merceologica scelta (diametro, altezza e circonferenza);
- le parti che compongono la pianta (fusto, rami o vegetazione) devono essere sane e non devono presentare danni che potrebbero pregiudicare l'estetica o lo sviluppo della pianta stessa;
- la parte aerea della pianta deve svilupparsi in maniera omogenea, distribuita per settori, mentre la parte ad accrescimento deve presentare un vertice predominante, così da lasciare inalterata la conformazione tipica della pianta scelta;
- il portamento della varietà della pianta deve rimanere invariato.

Data la vigente normativa bisogna ricordare che ogni pianta installata su manufatti o pareti deve essere dotata di apposito passaporto che ne certifichi il tipo, la provenienza e lo stato di salute. Può intendersi anche come garanzia relativa alla filiera di produzione.

2.4 Coperture verdi

Quando parliamo di tetti giardino possiamo in primo luogo fare una grande distinzione tra due macro-categorie: il verde estensivo e il verde intensivo.

- Il verde estensivo è il rivestimento semplice, economico e ideale sia per tetti piani che per tetti inclinati. Si caratterizza per la sua capacità di carico ridotta, in quanto la vegetazione utilizzata in questa tipologia è superficiale e presenta spessore pari a 15/20 cm di profondità.
- Il verde intensivo invece si può applicare qualora i solai di copertura abbiano una portanza superiore a 150 N/m^2 . Grazie proprio a questa caratteristica della copertura c'è la possibilità di convertirla in un vero e proprio terrazzo ricco di piante, panchine o addirittura campi da gioco. Di conseguenza la varietà vegetativa che è possibile piantumare sopra questa copertura è enorme.

Entrambe le due tipologie di copertura assicurano una forte azione coibente, garantendo una bassissima dispersione termica in inverno e mantenendo la temperatura in estate. Tutto questo permette un abbattimento dei costi di riscaldamento invernale e climatizzazione estiva e una vita più lunga del tetto stesso. Oltre a comportare vantaggi termici, queste coperture sono molto efficaci anche in termini di inquinamento acustico, poiché possiedono caratteristiche fonoassorbenti.

La scelta e il posizionamento degli strati funzionali possono caratterizzare diverse soluzioni tecnologiche. La scelta dello strato colturale non garantisce un corretto funzionamento della copertura verde: senza determinati strati inferiori (ad esempio quello drenante), infatti, si possono avere periodi, successivi alla creazione, di saturazione e siccità, che porterebbero la vegetazione a condizioni di vita non accettabili. Per questo motivo bisogna prevedere degli strati drenanti e degli impianti di irrigazione, in modo da garantire le condizioni ottimali alla vegetazione. Oltre a questi aspetti, le coperture verdi devono presentare determinate prestazioni meccaniche in diverse condizioni d'esercizio (stabilità sotto l'azione del vento,

controllo dei carichi statici e protezione degli strati sottostanti dalle azioni meccaniche delle radici).

2.4.1 Soluzioni di coperture verdi

Qui di seguito sono illustrate le diverse soluzioni tecnologiche tipiche dei sistemi di copertura verde. Queste soluzioni sono state sintetizzate in un albo dei vari sistemi come risultato di una ricerca basata sui prodotti attualmente sul mercato. Esse sono infine codificate in modo da rendere immediata la classificazione. I codici utilizzati sono elencati in questa tabella (figure prese da “Le coperture verdi, implicazioni tecnologiche, strutturali, energetiche e socio-economiche”, Paolo Rosato).

SISTEMA COPERTURA	Es	Estensivo
	Il	Intensivo leggero
	Ip	Intensivo pesante
SCHEMA FUNZIONALE	A	Copertura piana
	B	Copertura inclinata
STRATO DRENANTE	Dn	Strato drenante naturale
	Da	Strato drenante artificiale
STRATO DI ISOLAMENTO	Is	Strato di isolamento termico presente
	Ns	Strato di isolamento termico assente

Tabella 2: sigle per la descrizione delle coperture

Andiamo a vedere in dettaglio i diversi tipi di soluzioni.

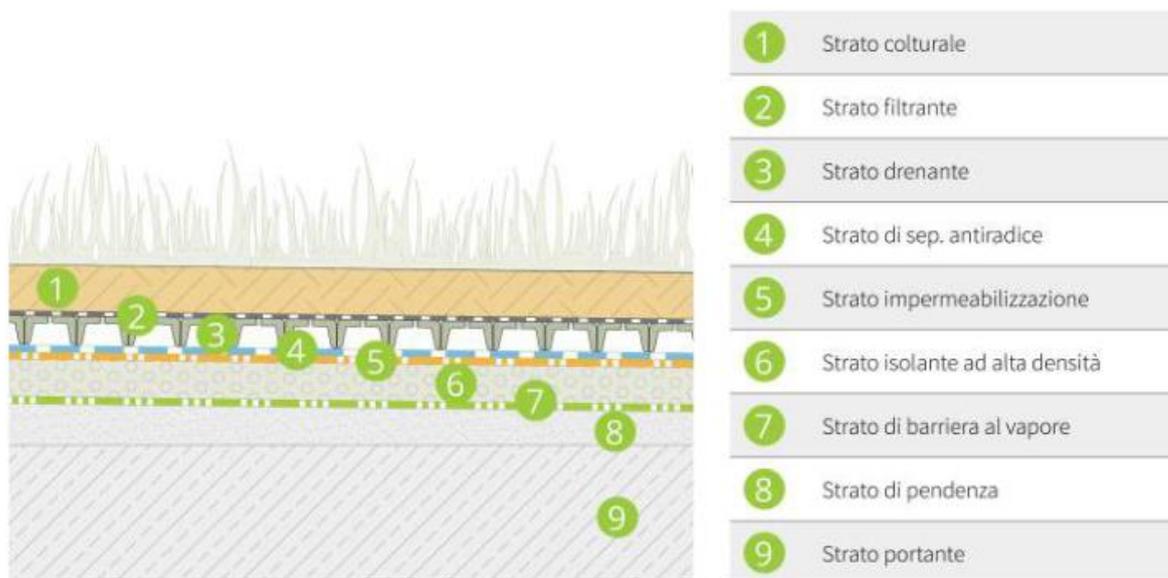
1. Sistema Es.A.Da.Is. e Es.B.Da.Is.

Figura 7: sistema Es.A.Da.Is. (estensivo, piano, drenaggio artificiale, isolato termicamente).

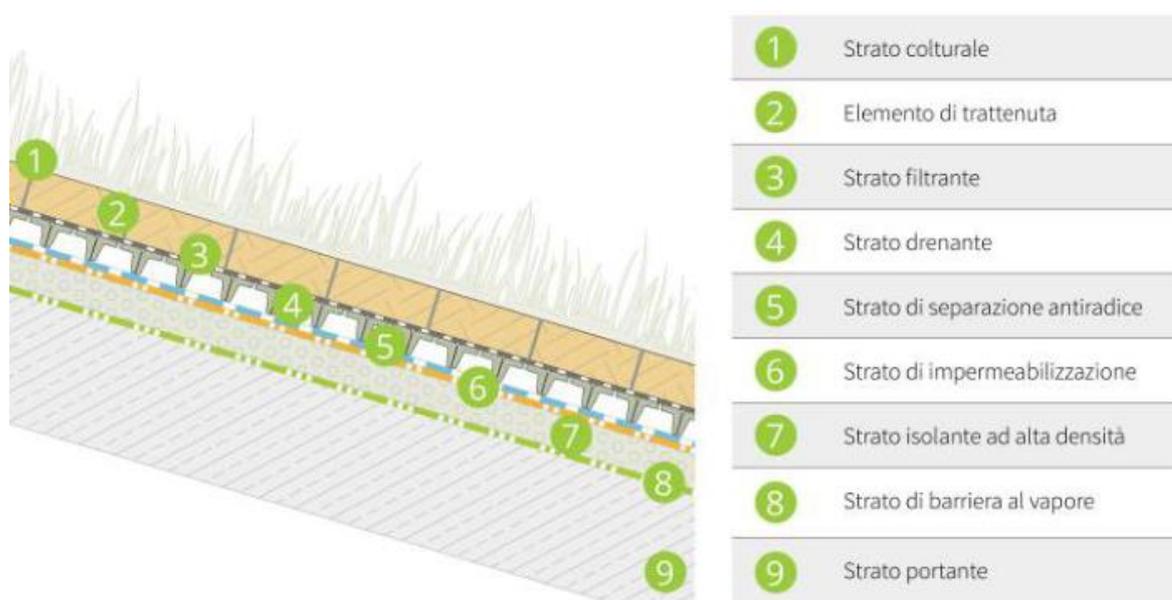


Figura 8: sistema Es.B.Da.Is. (estensivo, inclinato, drenaggio artificiale, isolato termicamente).

I sistemi Es.A.Da.Is ed Es.B.Da.Is. sono caratterizzati da spessori ridotti, pesi contenuti e ridotta manutenzione. La vegetazione utilizzata in questo tipo di copertura in genere è composta da una miscela di varietà di sedum, avente la capacità di adattarsi alle differenti condizioni climatiche del luogo nel quale viene realizzata l'opera. Infatti essa riesce a resistere a lunghi periodi di siccità e a propagarsi e rigenerarsi in maniera

autonoma. Per questo motivo è adatta a coperture di grandi dimensioni e in tutti i casi in cui non sia richiesto un impianto di irrigazione. Nel caso però di coperture inclinate la realizzazione di quest'opera si complica, con conseguente aumento degli oneri di manutenzione. Infatti vanno ad aggiungersi tutte le esigenze di stabilità e sicurezza del sistema, nonché di regolare smaltimento delle acque. Per questo, in fase di progettazione, bisognerà effettuare uno studio sui sistemi di trattenimento e di drenaggio in relazione alle falde e alla tipologia della vegetazione. Per questa soluzione la posa avviene in ordine seguendo le fasi qui elencate:

- verifica dell'integrità e della tenuta all'acqua dello strato termo-impermeabile;
- posa dello strato di drenaggio e di accumulo;
- posa del filtro di stabilizzazione sopra il precedente strato, con sovrapposizione di circa 10 cm, e risvoltato in verticale pari all'altezza dello spessore di substrato;
- posa di uno strato di ghiaia a protezione della stratigrafia impermeabile perimetrale;
- posa dello strato colturale dello spessore previsto con successivo livellamento;
- concimazione;
- semina di miscela di sedum tramite talee e successivo interrimento manuale.

Nel caso di coperture inclinate (Es.B.Da.Is.) il procedimento è lo stesso, ad eccezione per la posa dei componenti del sistema di trattenimento, che dovranno essere posizionati sopra lo strato filtrante prima della posa del substrato ed adeguatamente ancorati.

2. Sistema Il.A.Dn.Is. e Il.A.Dn.Ns.



Figura 9: sistema Il.A.Dn.Is. (intensivo leggero, piano, drenaggio naturale, isolato termicamente).

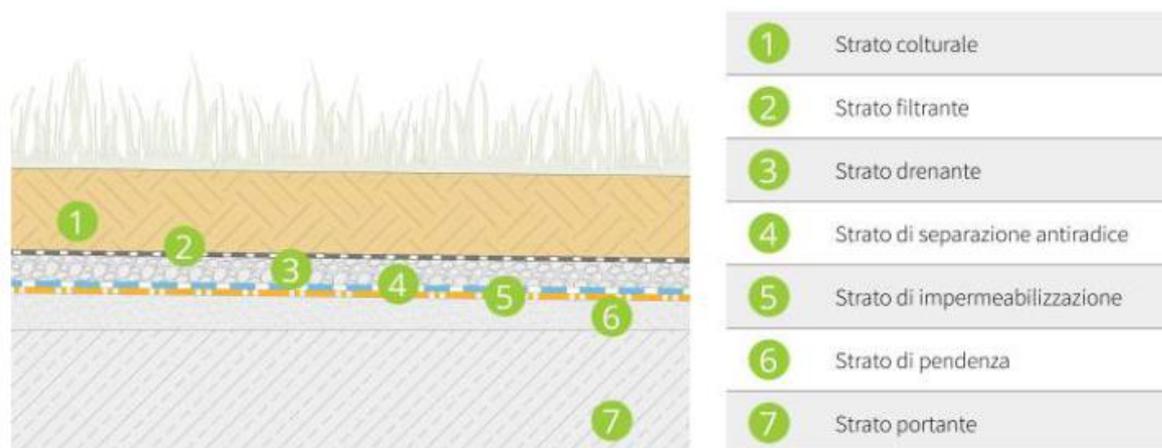


Figura 10: sistema Il.A.Dn.Ns. (intensivo leggero, piano, drenaggio naturale, non isolato).

Queste prime tipologie di verde intensivo leggero, differenti tra loro per lo strato di isolamento termico, presentano una resa estetica nettamente migliore rispetto alle tipologie estensive precedentemente viste, richiedendo però interventi di manutenzione frequente e costante irrigazione. Sono due tipi di soluzioni molto più accessibili e fruibili, al costo però di spessori e di peso complessivo più elevati rispetto alle soluzioni estensive.

È possibile piantare su questa tipologia una miscela di graminacee, ma per spessori di substrato sempre maggiori queste soluzioni riescono anche a ospitare arbusti e alberature, permettendo così un'ottima resa estetica paesaggistica.

La posa avviene secondo queste fasi:

- verifica dell'integrità e della tenuta all'acqua dello strato termo-impermeabile;
- posa dello strato di drenaggio e di accumulo;
- posa del filtro di stabilizzazione sopra il precedente strato, con sovrapposizione di circa 10 cm, e risvoltato in verticale pari all'altezza dello spessore di substrato;
- posa dello strato colturale dello spessore previsto in progetto;
- concimazione;
- installazione dell'impianto di irrigazione;
- semina o posa del verde.

3. Sistema Il.A.Da.Is. e Il.A.Da.Ns.

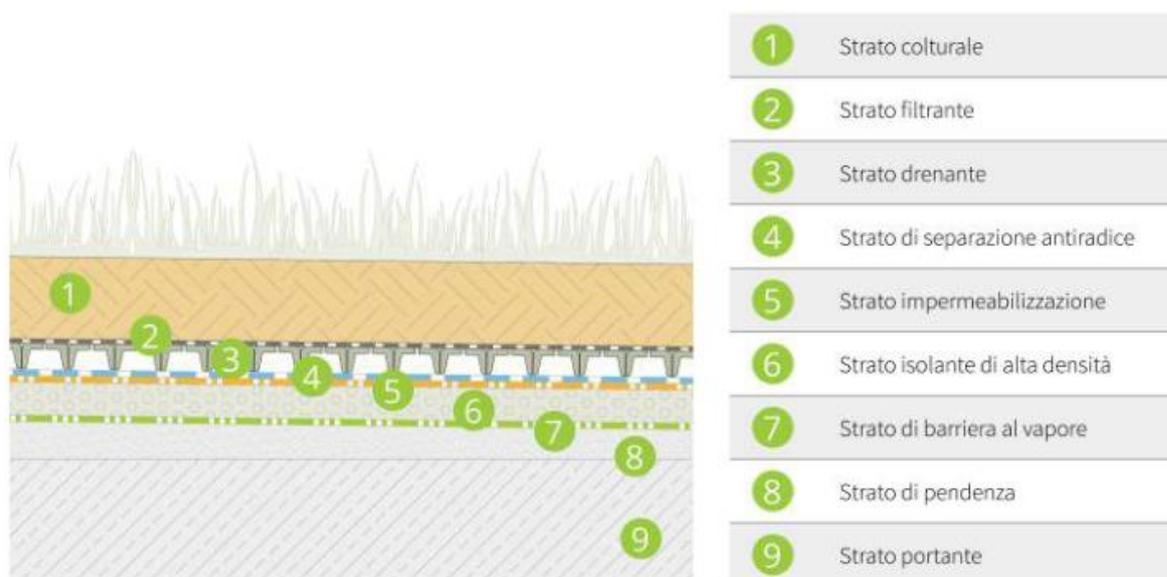


Figura 11: sistema Il.A.Da.Is. (intensivo leggero, piano, drenaggio artificiale, isolato termicamente).

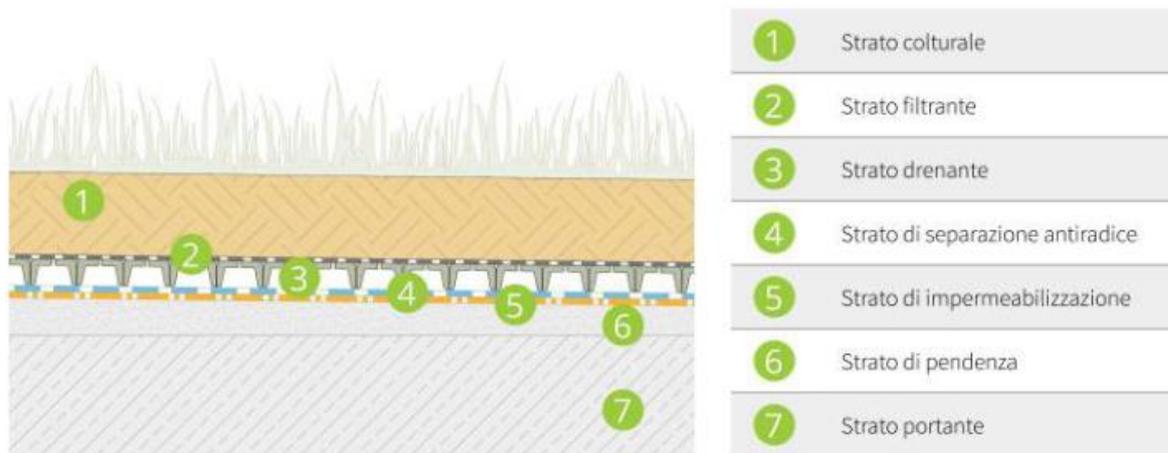


Figura 12: sistema Il.A.Da.Ns. (intensivo leggero, piano, drenaggio artificiale, non isolato).

Questi due sistemi, di cui abbiamo appena visto la stratigrafia, differiscono unicamente da quelli analizzati al punto 2. per lo strato drenante, che in questi ultimi due casi è di tipo artificiale.

Questo strato è composto di polistirene espanso sinterizzato e ha in genere spessore di circa 62 mm. Di conseguenza il metodo di posa è del tutto analogo a quello trattato al punto 2.

4. Sistema Il.B.Dn.Is. e Il.B.Dn.Ns.



Figura 13: sistema Il.B.Dn.Is. (intensivo leggero, inclinato, drenaggio naturale, isolato termicamente).



Figura 14: sistema II.B.Dn.Ns. (intensivo leggero, inclinato, drenaggio naturale, non isolato).

I sistemi a verde intensivo leggero su una copertura inclinata che abbiamo appena visto in queste stratigrafie differiscono tra loro solo per la presenza di uno strato di isolamento termico. Queste coperture richiedono interventi di manutenzione molto frequenti, di conseguenza sono idonee per pendenze massimo di 35 gradi. Infine, a causa del loro peso, sono di fondamentale importanza e devono essere dimensionati in maniera corretta i sistemi di trattenimento del substrato.

Il metodo di posa è identico a quello visto per le coperture verdi intensive leggere piane, fatta eccezione per gli elementi del sistema di trattenimento, la cui posizione è tra lo strato filtrante e lo strato colturale.

5. I sistemi Il.B.Da.Is. e Il.B.Da.Ns.



Figura 15 :sistema Il.B.Da.Is. (intensivo leggero, inclinato, drenaggio artificiale, isolato termicamente).

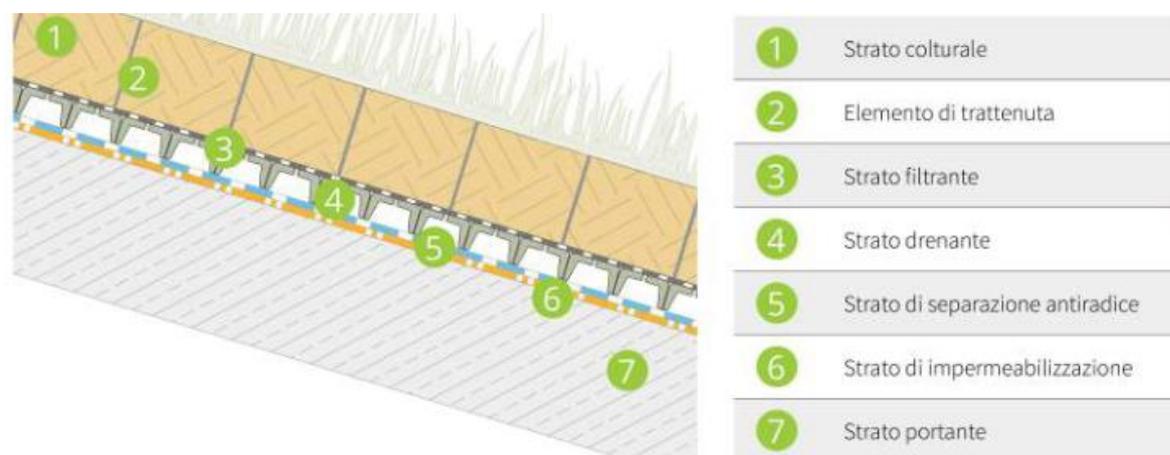


Figura 16: sistema Il.B.Da.Ns. (intensivo leggero, inclinato, drenaggio artificiale, non isolato).

Le caratteristiche di questi due sistemi differiscono tra di loro solo per la presenza di uno strato di isolante termico. Le modalità di posa sono identiche a quelle viste nel punto 4), con l'unica differenza nello strato di drenaggio, in questo caso artificiale, fatto di polistirene espanso sinterizzato.

6. Sistema Ip.A.Dn.Ns. e Ip.A.Da.Ns.



Figura 17: sistema Ip.A.Dn.Ns. (intensivo pesante, piano, drenaggio naturale, non isolato).



Figura 18: sistema Ip.A.Da.Ns. (intensivo pesante, piano, drenaggio artificiale, non isolato).

Queste due soluzioni differiscono tra loro solo per la tipologia di strato drenante installato: la prima presenta uno strato drenante naturale, mentre la seconda uno strato drenante artificiale. Consideriamo inoltre solo il caso di una copertura non isolata poiché queste due tipologie sono in genere applicate alle autorimesse interrato. Esse prevedono spessori e pesi elevati, con conseguente manutenzione frequente e

regolare. Inoltre non è previsto un impianto di riserva idrica, poiché, avendo spessori elevati, la risalita capillare risulta più difficile rispetto a substrati leggeri.

2.4.2 Gli strati funzionali delle coperture verdi

Le coperture verdi a partire dal 1980 circa, sono state oggetto di una continua revisione progettuale e realizzativa, che comportò l'evoluzione delle tecniche costruttive, grazie all'utilizzo di materiali da costruzione sempre più leggeri oppure al controllo dello stato di saturazione. Questa evoluzione ha comportato anche una regolamentazione delle prestazioni globali e in scala di ogni singolo strato componente delle coperture verdi. La norma a cui fanno riferimento è la UNI 11235, che, ad oggi, è il principale riferimento tecnico per progettare, realizzare e gestire le coperture verdi.

Individuate le esigenze della committenza e la classificazione in opere di verde intensivo o estensivo, si procede alla definizione dei vari strati funzionali che compongono l'opera. L'importanza di questi strati si nota valutando la corrispondenza tra requisiti e strati funzionali. Questa non è biunivoca né diretta, in quanto le prestazioni attese possono essere attribuibili o a un unico strato oppure all'interazione tra più strati nella soluzione conforme. Inoltre uno strato può offrire più di una prestazione. Per questo motivo la norma UNI 11235 fa una distinzione individuando tre categorie di strati (primari secondari e accessori) tipiche solo di alcune soluzioni di copertura verde (gli strati accessori in genere sono strati che garantiscono la stabilità nel caso di coperture verdi inclinate, oppure strati per il controllo dell'afflusso idrico su coperture pesanti di tipo intensivo).

La successione degli strati funzionali di queste coperture deve inizialmente garantire delle condizioni ideali di crescita della vegetazione sia in termini di adeguato sostegno meccanico delle piante, sia di controllo del regime idrico dello strato colturale (importanza fondamentale dello strato drenante), sia di confinamento dell'apparato radicale, garantendo contemporaneamente tutte le prestazioni di una copertura di tipo tradizionale.

La norma UNI 11235, nella progettazione e realizzazione di coperture verdi, definisce inoltre le soglie di accettabilità funzionale e prestazionale della copertura,

individuando le varie norme di riferimento per la determinazione dei requisiti minimi di ogni strato funzionale, con le adeguate modalità di posa e la progettazione in dettaglio. È riferita solo alla progettazione in territorio italiano, in modo da prevenire errori in termini di adozioni di soluzioni tecnologiche non adatte al contesto climatico e tecnologico del nostro paese.

STRATI FUNZIONALI PRIMARI O FONDAMENTALI	<ul style="list-style-type: none">• vegetale superficiale• colturale o di materia organica• di separazione o filtrante• drenante• di accumulo idrico• di protezione meccanica o antiradice• di tenuta all'acqua• termoisolante• di isolamento acustico• portante
STRATI FUNZIONALI SECONDARI O COMPLEMENTARI	<ul style="list-style-type: none">• di ventilazione• di barriera al vapore• di continuità e regolarizzazione• di pendenza• di supporto• di ripartizione dei carichi
STRATI FUNZIONALI ACCESSORI	<ul style="list-style-type: none">• impianto di irrigazione• impianto di smaltimento delle acque meteoriche• di ancoraggio per la vegetazione• per il trattenimento dello strato colturale• di compartimentazione antincendio

Tabella 3: tipologia degli strati, UNI 11235.

2.5 Sistemi di fertirrigazione

Poiché l'agricoltura moderna è sviluppata in maniera considerevole negli ultimi anni, bisogna rivedere il concetto di irrigazione e fertirrigazione. La grande diffusione d'uso degli impianti a goccia di microirrigazione comporta un nuovo metodo di gestione non solo idrico, ma riguardante anche gli elementi nutritivi e la loro distribuzione. Infatti, è chiaro che l'adozione di questi nuovi processi comporta risparmi notevoli nell'uso sia dei fertilizzanti sia dell'acqua, e un miglioramento complessivo sia in termini di resa sia di qualità del prodotto, poiché viene effettuato un controllo molto più accurato delle sostanze nutritive utilizzate, ponendo un'attenzione particolare anche ad aspetti ambientali legati a un uso scorretto e/o eccessivo di questi prodotti. Per tale ragione molte ditte hanno studiato con attenzione ogni minimo componente dell'impianto, ovvero non solo i gocciolanti e i micro-irrigatori, ma anche i sistemi di filtrazione, le valvole di controllo, i sistemi di iniezione dei fertilizzanti, la gestione automatica e il monitoraggio di tutto il processo. Questo perché tutti questi componenti sono essenziali per ottimizzare il sistema di alimentazione della coltura che, attraverso l'irrigazione, riesce a veicolare anche tutto il nutrimento necessario.

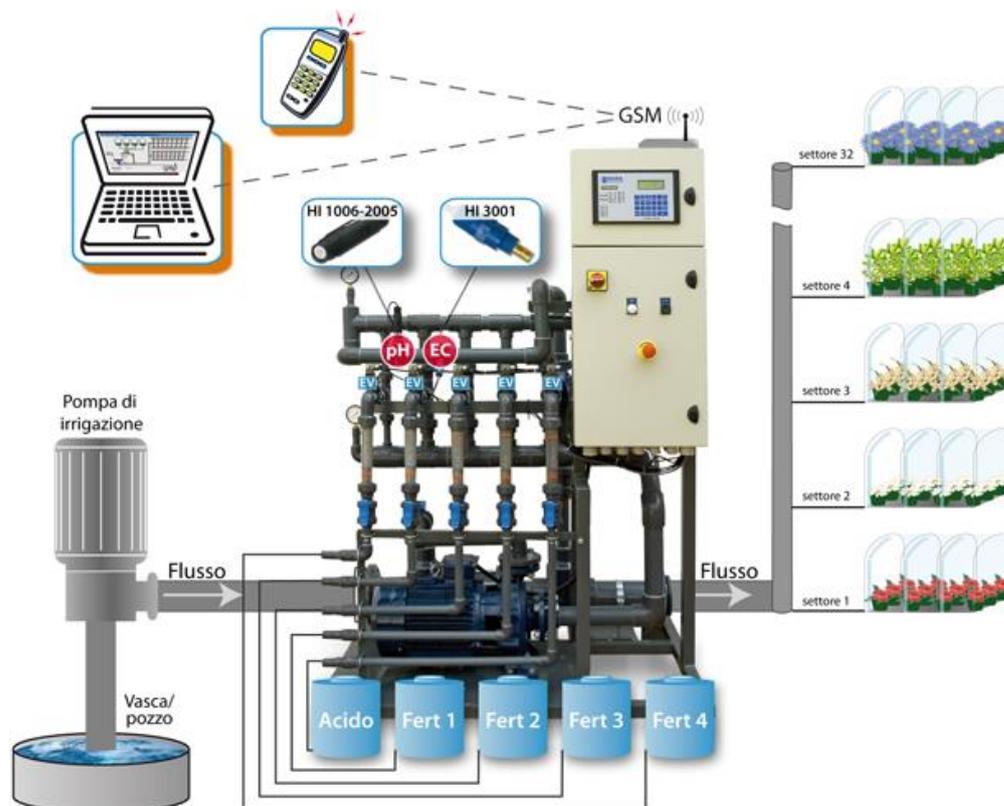


Figura 19: schema di un impianto di fertirrigazione.

I sistemi di fertirrigazione sono generalmente composti da tre sottosistemi:

- sistema di iniezione;
- sistema di monitoraggio;
- sistema di controllo.

Sistema di iniezione

Quando parliamo di sistema d'iniezione intendiamo tutta la parte idraulica del sistema, ossia tutti quegli elementi che permettono appunto l'iniezione nella condotta degli elementi nutritivi, oppure gli elementi necessari a correggere l'acidità nella rete di distribuzione.

In base alle specifiche necessità di ogni impianto di ogni coltura possiamo scegliere tra diverse modalità di gestione, iniziando con l'uso di strumenti più elementari (ad esempio il Venturi o Mixirite) per iniezioni qualitativo-proporzionali di un'unica soluzione nutritiva, fino a sistemi più complessi e articolati, come le unità fertilizzanti che permettono l'iniezione simultanea di più elementi nutritivi in diverse concentrazioni. Lo strumento di iniezione più idoneo si può scegliere in primo luogo a seconda del tipo di tecnica agronomica che dobbiamo utilizzare, ad esempio se stiamo lavorando in pieno campo sul suolo oppure su colture protette fuori suolo. Infatti, sebbene le modalità irrigazione e fertirrigazione tendano a somigliarsi, la risposta di vari substrati delle culture può essere differente. Nel terreno, infatti, la maggiore importanza viene data alla capacità di mantenere iniezioni proporzionali di fertilizzante corrette, ossia una distribuzione costante del fertilizzante lungo tutta la linea di irrigazione (senza avere zone dove c'è più o meno concentrazione rispetto allo standard), ed evitare lunghi periodi di dilavamento. Questi sistemi sono montati in bypass e possono essere utilizzati sia in maniera automatica che manuale. Vengono scelti in base alla portata del sistema, si possono avere quindi capacità di iniezioni da pochi centilitri a migliaia di litri al metro cubo. Di conseguenza coprono con versatilità tutte le esigenze del mercato, da piccoli appezzamenti di terra a grandi colture estensive.

Nelle coltivazioni su colture protette l'attenzione è data all'uniformità della soluzione erogata, costringendo i sistemi a essere dotati di strumenti che non solo abbiano la caratteristica della proporzionalità, ma soprattutto della precisione di misurazione della velocità nella correzione della stessa.

Sistema di monitoraggio

Al fine di verificare la precisione dell'iniezione, e come sostegno degli strumenti di iniezione nel loro lavoro, abbiamo la necessità di inserire nella linea componenti di monitoraggio, essenziali tanto quanto la precisione del lavoro richiesto.

In primo luogo abbiamo il contatore dell'acqua, che non solo comunica al sistema l'esatto volume d'acqua nel quale fare l'iniezione, ma fornisce una serie di istruzioni essenziali sul corretto funzionamento di tutto il sistema. Infatti, grazie al monitoraggio, è possibile monitorare ed eventualmente individuare perdite d'acqua, rotture di tubazioni e malfunzionamento delle elettrovalvole o dei sistemi di pompaggio, incluse eventuali occlusioni. I sensori di elettroconducibilità e di pH possono essere intesi sia come indicatori di soglie di allarme sia per definire una particolare concentrazione dei fertilizzanti e permettono di valutare la sostenibilità della fertirrigazione in relazione alle diverse capacità di assorbimento delle colture e alla loro sensibilità alla concentrazione salina distribuita.

Sistema di controllo

Il sistema di controllo è il cervello del sistema di fertirrigazione. Questo ha il compito di attivare ogni componente sulla linea e di verificarne il funzionamento rispetto a dei risultati attesi.

3. Manutenzione del verde

Secondo il dizionario la manutenzione è: “un’operazione per mantenere in stato di efficienza uno strumento, una struttura o un complesso funzionale, mediante l’effettuazione regolare e tempestiva dei controlli e degli interventi necessari e opportuni”.

Secondo le norme UNI 10147 e UNI 9910, la manutenzione si definisce come “combinazione di tutte le azioni tecniche e amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare un’entità in uno stato in cui possa eseguire le funzioni richieste”.

Nella prima definizione sono evidenziati alcuni concetti molto importanti: l’efficienza deve essere mantenuta e deve essere garantita la regolarità dei controlli, che devono essere opportuni, cioè adeguati in qualità, quantità e tempistica.

Nella seconda definizione, invece, è introdotta una nozione anch’essa molto importante, quella di mantenimento delle funzioni richieste. Un’adeguata manutenzione, infatti, non può prescindere da una giusta valutazione delle prestazioni richieste e fornite dall’oggetto.

Infine, un altro significato intrinseco nel concetto di manutenzione è il concetto di diminuzione degli sprechi.

3.1 La manutenzione delle opere a verde pensile nella vigente norma UNI 11235

L’entrata in vigore della norma UNI 11235:2007 è riuscita a colmare delle gravi lacune in questo ambito, andando a definire in modo molto preciso quali sono le categorie di manutenzione che bisogna adattare e applicare nel caso di gestione di una copertura a verde e quali sono i principali interventi da considerare.

Qui viene riportato quanto inserito nella norma UNI, mentre in seguito verranno fornite indicazioni più dettagliate per la gestione delle operazioni di manutenzione applicate ai sistemi per verde pensile.

- Manutenzione delle opere a verde

Le tipologie di manutenzione possono essere le seguenti:

- 1) manutenzioni del verde;
- 2) manutenzione del sistema di drenaggio;
- 3) manutenzione del sistema di smaltimento e recupero delle acque meteoriche;
- 4) manutenzione del sistema di impermeabilizzazione;
- 5) manutenzione dell'impianto di fertirrigazione.

- Manutenzione del verde

Sono da considerare quattro tipologie di sotto-manutenzione:

- 1) manutenzione di avviamento per il collaudo (solo per verde estensivo);
- 2) manutenzione di avviamento al regime;
- 3) manutenzione ordinaria;
- 4) manutenzione straordinaria.

- 1) Manutenzione di avviamento al collaudo

Le lavorazioni che fanno parte della manutenzione di avviamento al collaudo sono tutte quelle opere e forniture necessarie a raggiungere lo stato di collaudo, e sono incluse tutte le misure idonee a proteggere lo stato colturale e la vegetazione da eventuali fenomeni atmosferici come erosione idrica o eolica.

I punti che la manutenzione di avviamento al collaudo deve comprendere sono:

- A) Tutte le lavorazioni agronomiche strettamente necessarie nella fase di avviamento, in modo diverso in funzione del tipo di inverdimento previsto, dalle condizioni stagionali, dall'andamento climatico, ad esempio:

- il controllo dello spessore dello strato di terreno con un'eventuale successiva reintegrazione;
- il controllo del costipamento a seguito di gelate con successiva ed eventuale operazione di arieggiamento o integrazione;
- rincalzatura di piante erbacee arbusti e arboree;
- controllo dell'efficienza degli ancoraggi con un eventuale ripristino;
- controllo dell'efficienza degli impianti di irrigazione e fertirrigazione;
- controllo e pulizia degli impianti di irrigazione e fertirrigazione (o di parti di essi).

B) Tutte le lavorazioni agronomiche ordinarie, relative al solo periodo tra la realizzazione e il collaudo, e richieste in modo diverso in funzione della tipologia di inverdimento prevista, delle condizioni stagionali dell'andamento climatico, quali:

- irrigazioni;
- concimazioni;
- eliminazione degli infestanti;
- rasature di tappeti erbosi;
- potature;
- sfalci di associazioni prative;
- trattamenti fitosanitari.

2) Manutenzione di avviamento a regime

La manutenzione di avviamento a regime è costituita da tutte le lavorazioni di tutte le opere e forniture necessarie al fine di raggiungere lo stato di manutenzione ordinaria previsto in progetto. In particolare questo tipo di manutenzione prevede le stesse attività della manutenzione di avviamento a collaudo ma con diversa frequenza e intensità.

3) Manutenzione ordinaria

La manutenzione di avviamento è seguita quindi dalla manutenzione ordinaria, senza soluzione di continuità.

Lo scopo di questo tipo di manutenzione consiste nel mantenimento nel tempo della funzionalità della tipologia di inverdimento prevista, mediante le lavorazioni agronomiche ordinarie. Queste lavorazioni hanno sì gli stessi scopi degli analoghi interventi nelle opere a verde ordinarie, ma devono essere effettuate adeguando i metodi alla copertura verde, al fine di non pregiudicare il mantenimento della stratigrafia esistente e la funzionalità dell'elemento di tenuta. Specialmente sono da evitare sovraccarichi dovuti a macchinari e/o materiali pesanti, urti e impiego di utensili a taglio con punta non adeguata.

La manutenzione ordinaria comprende tutte le lavorazioni necessarie al mantenimento funzionale delle opere a verde, quali:

- irrigazione;
- concimazione;
- eliminazione di eventuale vegetazione indesiderata o infestante arborea;
- rasatura di tappeti erbosi;
- sfalci di associazioni prative;
- potatura di contenimento;
- potatura a scopi estetici/funzionali;
- trattamenti fitosanitari.

È necessario controllare il mantenimento nel tempo della capacità drenante e di arieggiamento del substrato. Questa operazione è particolarmente importante quando per qualsiasi motivo non siano stati utilizzati specifici substrati minerali miscelati a norma UNI.

4) Manutenzione straordinaria

È un particolare tipo di manutenzione effettuato quando particolari situazioni si presentano durante la vita del sistema, ad esempio eventi meteorologici avversi di carattere straordinario, insorgenza straordinaria di fitopatologie o altro.

5) Manutenzione del sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche, e dell'elemento di tenuta

È necessario, con cadenza annuale e solitamente prima della stagione invernale, effettuare un'ispezione dei terminali del sistema e un'eventuale pulizia dei bocchettoni di scarico, al fine di evitare delle occlusioni. Contestualmente, è necessario effettuare una pulizia delle parti raggiungibili dell'elemento di tenuta.

3.2 Ambiti di responsabilità e garanzia per la manutenzione del verde pensile

Tutto quanto indicato nella norma UNI 11235:2007 rappresenta, a tutti gli effetti, un ambito applicativo fondamentale per la garanzia, in quanto va a definire, da un punto di vista temporale, la competenza di responsabilità e manutenzione.

Quando parliamo di manutenzione di avviamento al collaudo, che termina quindi col collaudo stesso e lo svincolo della garanzia, salvo diversi accordi, è ovvio sia totalmente di competenza dell'impresa realizzatrice, che quindi dovrà farsi carico di tutte le operazioni di manutenzione prima descritte, in funzione della norma.

Il committente, quindi, in questa fase non è ancora direttamente responsabile della manutenzione (ovviamente qualora non siano stati presi accordi differenti), ma a tutti gli effetti è l'impresa esecutrice che ne risponde.

Discorso a parte si fa per la fase di manutenzione di avviamento al regime.

Questa fase può avere durata variabile, secondo le tipologie di inverdimento, la vegetazione adottata e le condizioni climatiche e di esposizione.

È di fondamentale importanza che specialmente il committente conosca e capisca l'importanza dell'esistenza e necessità di questo periodo di manutenzione, il cui scopo è quello di portare il rinverdimento pensile, appena realizzato, alle sue condizioni di prestazione a regime, ovvero quelle di manutenzione ordinaria previste dalla singola tipologia.

Questo è un tipo di manutenzione richiesto soprattutto nel caso del verde estensivo, poiché è dettato dalla necessità di attendere che la vegetazione acquisisca il grado di copertura sufficiente a contrastare lo sviluppo di piante infestanti e il livello minimo previsto per la specifica tipologia.

Per gli intensivi, invece, si considera che la manutenzione al regime, ovvero l'ordinaria, segua immediatamente, senza soluzione di continuità, la manutenzione di avviamento al collaudo.

È importante anche definire in maniera chiara l'attribuzione dell'esecuzione e il costo di questa manutenzione alla ditta realizzatrice o al committente. Questo avviene ancor prima dell'appalto dell'opera, meglio se in sede di progettazione e di redazione di capitolato.

Si tratta di una questione di fondamentale importanza, poiché, nel caso di competenza dell'impresa esecutrice, va a ricadere nel contratto di appalto o di assegnazione dei lavori, oppure è soggetto di apposito contratto successivo ed è regolata nell'ambito di questi, tra il committente e l'impresa esecutrice, mentre, se resta di competenza della committenza, ricade negli oneri di manutenzione a suo carico e diventa un semplice preambolo alla manutenzione ordinaria.

La manutenzione ordinaria, infine, e normalmente a carico del committente o da questo direttamente subappaltata a terzi, e riguarda il normale sviluppo nel tempo dell'opera.

3.3 Elenco e specifica degli interventi di manutenzione

Di seguito verranno elencati tutti gli interventi di manutenzione necessari per lasciare inalterata la piena efficienza di una copertura a verde, estensiva o intensiva. Il fine non è quello di fornire un corso di manutenzione per giardinieri, bensì quello di fornire al progettista necessarie e importanti indicazioni per trasferire queste regole nel

particolare ambito delle coperture a verde, poiché non tutti gli interventi che vengono fatti a terra si possono applicare a questo particolare tipo di copertura.

3.3.1 Manutenzione dei sistemi tecnologici

Gli interventi successivamente descritti sono fondamentali per mantenere invariata nel tempo la funzionalità dei sistemi a verde pensile, soprattutto per ciò che concerne l'efficienza del sistema drenante.

Sia per i sistemi intensivi che per quelli estensivi tutte le operazioni di manutenzione da porre in atto sono quelle sottoelencate.

Alcune operazioni potranno avere cadenza e intensità diverse a seconda della tipologia di inverdimento utilizzata.

- 1) Mantenimento di ogni tipo di elemento e accessorio tecnico libero da fogliame e vegetazione

Quest'operazione include anche i vari sistemi ed elementi di fissaggio e ancoraggio dell'impermeabilizzazione, i sistemi di drenaggio a vista e le strisce in ghiaia. Spesso questi vespai sono utilizzati anche nei sistemi intensivi. Sono da pulire non solo le strisce perimetrali di ghiaia, ma anche quelle collocate a ridosso dei pozzetti di ispezione o di altri elementi del sistema. Queste non sono aree di zavorramento contro l'effetto del vento, ma sono zone privilegiate di drenaggio e soprattutto di aereazione per lo strato drenante, e possono avere anche funzione tagliafuoco. Per questo motivo devono risultare per sempre perfettamente efficienti.

- 2) Controllo dello sviluppo indesiderato di apparati radicali

Questo controllo è effettuato soprattutto nelle aree perimetrali e degli accessori tecnici, nei pozzetti di protezione e controllo degli scarichi, o in ogni posto dove la tenuta all'acqua potrebbe essere messa a rischio o dove si potrebbero originare danni o malfunzionamenti a sistemi e infrastrutture.

3) Controllo della funzionalità delle infrastrutture tecniche e dei sistemi per il drenaggio e l'irrigazione

In questa fase bisogna controllare tutte le infrastrutture e i sistemi, partendo dagli elementi contenuti nei pozzetti fino ad arrivare agli elementi esterni. Sono compresi quindi anche gli elementi di erogazione dell'irrigazione, quali programmatori, irrigatori e sistemi di gocciolamento, e gli elementi di drenaggio. Occorre tenere sotto controllo la tendenza alla sinterizzazione degli scarichi, cioè all'occlusione dovuta al deposito di carbonato di calcio.

4) Pulizia periodica con eliminazione di depositi di residui organici o inorganici

Va effettuata nei pozzetti di protezione e controllo vicino agli erogatori dell'impianto di irrigazione oppure in corrispondenza degli scarichi dei sistemi di drenaggio localizzati.

5) Pulizia pluriennale di depositi accumulati nelle strisce di protezione in ghiaia

Questi depositi possono ridurre le prestazioni delle strisce in ghiaia in corrispondenza dei dispositivi di fissaggio e ancoraggio, come vespai in ghiaia in corrispondenza di elementi tecnici. Per questo la pulizia di essi è di fondamentale importanza.

6) Verifica della stabilità di contenimento e ancoraggi delle piante

7) Controllo e verifica di sistemi anticaduta

Nel caso di giardini verdi pensili, dove non sono previsti i parapetti di protezione perimetrali, è obbligatorio installare dispositivi permanenti di ancoraggio (a norma UNI EN 795:2002) per la messa in sicurezza degli operai che provvederanno alla manutenzione al bordo di queste coperture piane. L'installazione di questi dispositivi dovrà assicurare nella successiva fase di manutenzione l'accesso, il transito e

l'esecuzione dei lavori su queste coperture in condizioni di sicurezza. Per i controlli e le verifiche si rimanda a quanto previsto dalla norma.

4. Valutazione dei costi di intervento per la realizzazione di coperture verdi

I giardini verticali e le coperture verdi interessano ambiti applicativi molto specifici e diversificati, per questo sono difficilmente sintetizzabili con poche singole voci di prezzo. Per una definizione di prezzo più precisa (dal verde agli impianti ad esempio) può essere utile il confronto con le ditte specializzate nel settore.

In questo capitolo viene trattata dal punto di vista economico la realizzazione del verde solo sulle superfici orizzontali (predisposte con una lieve pendenza continua del 1,5-2% per permettere il deflusso delle acque sia meteoriche che di irrigazione, funzione supportata da bocchettoni di deflusso correttamente dimensionati). Nel caso di coperture verdi su ambienti riscaldati, bisognerà provvedere all'installazione di un adeguato isolamento termico. Questa prima valutazione economica tiene in considerazione tutte le lavorazioni edili, dalla realizzazione dello strato impermeabile fino alla messa in opera del verde. Per la formulazione di questi prezzi si è ipotizzato di lavorare in buone condizioni di lavoro, in particolare si è assunta come zona di stoccaggio dei materiali della copertura il tetto stesso e per il posizionamento si sono considerate le normali attrezzature (gru o autogru già presenti in cantiere).

I valori di costi di costruzione sono stati dedotti dal prezziario Assoverde e sono i seguenti, a seconda della tipologia (verde intensivo o estensivo):

DESCRIZIONE	U.D.M	PREZZO
"Fornitura e posa in opera di manto impermeabile sintetico in PVC/FPO, armato in velo di vetro, spessore minimo 1,5 mm, ottenuto in monostrato mediante procedimento di spalmatura diretta sulle due facce dell'armatura. Avente le caratteristiche di resistenza alle radici: conforme a norma SIA 280/10, certificata secondo il test FLL. Posa a secco con sovrapposizione teli di almeno 10 cm e saldatura per termofusione dei sormonti a tenuta idraulica. Compreso fornitura e posa del sottostante strato di compensazione realizzato con tessuto non tessuto di polipropilene 100% del peso di almeno 400 g/m2. posato a secco con sovrapposizione dei teli di 10 cm. La posa è comprensiva di tutte le lavorazioni accessorie per il fissaggio meccanico perimetrale i relativi risvolti e i raccordi con i bocchettoni di scarico delle acque."		
per superfici fino a 200 m ²	m ²	€ 38,05
per superfici da 200 a 500 m ²	m ²	€ 36,96
per superfici da 500 a 2000 m ²	m ²	€ 32,84
per superfici oltre 2000 m ²	m ²	€ 29,75

DESCRIZIONE	U.D.M	PREZZO
" Formazione di tetto verde realizzato con il sistema completo per tetti verdi di tipo estensivo , secondo le disposizioni e specifiche contenute nella norma UNI 11235. In particolare si dovrà garantire il rispetto dei requisiti relativi alla capacità drenante del sistema e alla capacità agronomica dell'elemento di accumulo idrico e del substrato di coltivazione, in modo da favorire il corretto sviluppo delle specie vegetali ospitate. Le caratteristiche della stratigrafia: strato drenante e riserva idrica, in lastre di polietilene o in elementi di schiuma di polietilene dallo spessore da 25 a 40 mm, strato di separazione/filtro costituito da tessuto non tessuto, in grado di garantire passaggio all'acqua 0,1 cm/sec. - strato di coltivo adatto alla costruzione dei tetti verdi, conforme alla norma UNI 11235, per uno spessore medio compattato di 10 cm costituito da miscuglio di torba bionda, lapillo vulcanico, sostanza organica humificata, fibre vegetali e concime complesso. Il substrato dovrà essere esente da infestanti con PH neutro o subacido; Porosità totale > 60%, Capacità di ritenzione idrica > 35% vol. Fornito in opera con esclusione di impianto d'irrigazione e trasporto in quota dei materiali."		
per superfici fino a 200 m ²	m ²	€ 68,20
per superfici da 200 a 500 m ²	m ²	€ 62,86
per superfici da 500 a 2000 m ²	m ²	€ 57,15
per superfici oltre 2000 m ²	m ²	€ 53,78
" Formazione di tetto verde realizzato con il sistema completo per tetti verdi di tipo intensivo , secondo le disposizioni e specifiche contenute nella norma UNI 11235. In particolare si dovrà garantire il rispetto dei requisiti relativi alla capacità drenante del sistema e alla capacità agronomica dell'elemento di accumulo idrico e del substrato di coltivazione, in modo da favorire il corretto sviluppo delle specie vegetali ospitate. Le caratteristiche della stratigrafia: - strato drenante e riserva idrica, in lastre di polietilene o in elementi di schiuma di polietilene dallo spessore compreso tra 40 a 60 mm; - strato di separazione/filtro costituito da tessuto non tessuto, in grado di garantire passaggio all'acqua 0,1 cm/sec; - strato di drenaggio e compensazione idrica in materiale naturale per uno spessore di 10 cm.; strato di separazione/filtro costituito da tessuto in grado di garantire passaggio all'acqua 0,1 cm/sec; strato di coltivo adatto alla costruzione dei tetti verdi, conforme alla norma UNI 11235, per uno spessore medio compattato di 25 cm costituito da miscuglio di torba bionda, lapillo vulcanico, sostanza organica humificata, fibre vegetali e concime complesso. Il substrato dovrà essere esente da infestanti con PH neutro o sub-acido; Porosità totale > 60% Capacità di ritenzione idrica > 35% vol. Fornito in opera con esclusione di impianto d'irrigazione e trasporto in quota dei materiali."		
per superfici fino a 200 m ²	m ²	€ 120,00
per superfici da 200 a 500 m ²	m ²	€ 110,00
per superfici da 500 a 2000 m ²	m ²	€ 104,00
per superfici oltre 2000 m ²	m ²	€ 98,00
" Fornitura e stesa in opera di substrato di coltivo , adatto alla costruzione dei tetti verdi, conforme alla norma UNI 11235, costituito da miscuglio di torba bionda, lapillo vulcanico, sostanza organica humificata, fibre vegetali e concime complesso. Il substrato dovrà essere esente da infestanti con PH neutro o subacido; porosità totale > 60%; capacità di ritenzione idrica > 35% vol. Fornito in opera con esclusione trasporto in quota dei materiali."	m ³	€ 149,00
" Messa a dimora, in talee, di sedum o altre crassulacee , nella dose di 50 g/mq. Compreso manutenzione ordinaria e di avviamento per un anno dalla messa a dimora della vegetazione"	m ²	€ 6,50
" Fornitura e posa di stuoia precoltivata , con supporto geotessile biodegradabile, tipologia vegetale: Sedum, in non meno di 4 specie diverse (esempio indicativo delle specie: Sedum album, Sedum reflexum, Sedum floriferum, Sedum sexangulare). idoneo per coperture a verde di tipo estensivo, su strato portante della vegetazione adeguatamente preparato e livellato, posa con stretto accostamento dei bordi, annaffiamento con almeno 30 l/m ² per 2-3 volte, mantenendo comunque umido il substrato fino alla completa radicazione, incluso sfrido e ripristino di eventuali mancanze di substrato."	m ²	€ 42,00
" Idrosemina potenziata con collanti e ammendanti - Realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la tecnica dell'idrosemina consistente nell'aspersione di una miscela formata da acqua, miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito (40 gr./mq), concime organico, collanti e sostanze miglioratrici del terreno; il tutto distribuito in un'unica soluzione con speciali macchine irroratrici a forte pressione (idroseminatrici), tutto compreso, esclusa solo la preparazione del piano di semina."	m ²	€ 7,50
" Formazione di copertura a verde tipo prato naturale composto da piante annuali di media altezza (30-50 cm - almeno 5 specie selezionate e idonee al sito 5gr/mq), sono compresi tutti i lavori preparatori del terreno. Compresa prima innaffiatura e manutenzione di avviamento."	m ²	€ 8,00

Tabella 4: valori ricavati dal prezziario Assoverde

N.B.: In questi prezzi non sono inclusi quelli dell'impianto di irrigazione o fertirrigazione, indispensabile per le tipologie di verde intensivo.

Poiché oggi la maggior parte dei grandi centri urbani del Nord Italia è caratterizzata da elevati tassi d'inquinamento, i giardini verticali e le coperture verdi possono essere una delle soluzioni per combattere questo fenomeno, ma spesso, appunto per i costi, non vengono presi in considerazione. Per ovviare a ciò, il governo ha da poco annunciato l'entrata in vigore di un "bonus verde" per incentivare condomini e privati alla creazione e la riqualificazione di giardini, terrazze o aree verdi. Francesco Mati, il presidente della Federazione di prodotto florovivaistico di Confagricoltura, ha precisato che a partire dal 2018 "chi ha una casa con giardino dove fare grosse potature, o ha una siepe malata da sostituire con una sana, o anche un impianto irriguo da installare o sostituire" può usufruire di alcuni sgravi fiscali. Questo bonus verde è stato inserito all'interno della legge di bilancio del 2018, ed esso concede ai condomini o ai cittadini proprietari di singole unità immobiliari di detrarre il 36% delle spese sostenute per la realizzazione o manutenzione di aree verdi dalle tasse, con un tetto massimo di € 5000 per immobile. Questa è una grandissima novità, che si andrà a sommare alla proroga della già vigente Econobonus, con cui è possibile detrarre il 65% dei lavori che mirano alla riqualificazione energetica degli edifici e il 50% per le ristrutturazioni e gli interventi riguardanti finestre o installazione di caldaie a condensazione e a biomassa.

Come detto sopra il bonus verde sarà applicabile sia per i condomini sia per i privati proprietari di appartamenti, ville o unità indipendenti che abbiano investito in giardini, terrazze o più genericamente in verde pensile, con messa a dimora di piante e arbusti in copertura. Più specificamente chi godrà di questi benefici saranno tutti i soggetti in grado di documentare le spese realmente sostenute in seguito alla creazione di nuove aree verdi o al recupero di quelle già esistenti.

Questo incentivo ha come scopo quello di aumentare il verde urbano, che stando agli ultimi dati pubblicati dall'Istituto nazionale di statistica (Istat) presenta ancora valori molto bassi, corrispondenti a soli 31 m² per abitante, cioè il 2,7% del territorio dei capoluoghi di provincia. Inoltre, secondo Mati, questo incentivo fornirebbe diverse soluzioni a molte problematiche che affliggono il settore florovivaistico e non solo, dall'aumento dell'occupazione all'aumento del valore immobiliare, nonché la riqualificazione energetica degli immobili esistenti, la riqualificazione delle aree edificate, il miglioramento della qualità dell'aria e della vita.

5. I casi studio

In questo elaborato di tesi ho scelto di porre a confronto due recentissimi esempi di costruzione di verde verticale: 25 Verde, sito nella città di Torino, e il Bosco Verticale, sito nella città di Milano. Questi hanno una grossa differenza costruttiva, il primo è realizzato mediante l'applicazione di verde in vasi, il secondo invece in vasche di calcestruzzo.

Vediamo in dettaglio i due esempi.

5.1 25 Verde

25 Verde è un edificio-foresta, progettato dall'architetto Luciano Pia, e sorge a Torino, in via Chiabrera, in una zona adiacente al Parco del Valentino e al Centro Storico Fiat. Questo edificio ha stupito sin da subito gli abitanti del posto e ha richiamato l'attenzione a livello nazionale e internazionale: è come un polmone verde nel capoluogo piemontese, città con un altissimo tasso di inquinamento atmosferico, che regala davvero una ventata di freschezza e ossigeno a un centro urbano parecchio congestionato. 25 Verde è un complesso residenziale di 63 appartamenti pensato come un bosco abitabile ed è un edificio speciale, perché sembra un organismo vivente che cresce, respira e cambia nel tempo. Questa caratteristica gli viene conferita dai suoi terrazzi, che sono costellati da 150 alberi ad alto fusto i quali, insieme alle 50 piante nella corte, producono ogni ora circa 150.000 litri di ossigeno, mentre nella notte assorbono circa 200.000 litri di anidride carbonica all'ora. Inoltre abbattano le polveri sottili provocate dalle autovetture, proteggono dal rumore, seguono il naturale ciclo delle stagioni, crescono giorno dopo giorno, creano un microclima ideale all'interno dell'edificio mitigando gli sbalzi di temperatura in estate e inverno. I listelli di legno massello, che pavimentano i terrazzi irregolari, filtrano i raggi del sole in estate, mentre in inverno lasciano penetrare la luce all'interno delle abitazioni. Il rivestimento in scandole di larice delle facciate, crea una superficie morbida e vibrante.



Figura 20: 25 Verde, vista angolare.

L'innovazione proposta dal progetto di 25 Verde si riesce a cogliere anche solo guardando l'involucro esterno dell'edificio: il verde ha un ruolo da protagonista nella facciata, gli elementi strutturali a forma di albero in Cor-Ten, che contornano l'edificio, nascono dal piano terra e crescono fino al tetto, sorreggendo le strutture in legno dei terrazzi; si fondono ed intrecciano con la vegetazione, fino a formare la facciata dell'edificio, unica nel suo genere. Uno degli obiettivi dell'intervento è il raggiungimento di una buona efficienza energetica. Per questo sono state adottate numerose soluzioni integrate nell'edificio: l'isolamento "a cappotto", le pareti con le intercapedini ventilate, la protezione dall'irraggiamento solare diretto, gli impianti di riscaldamento e di raffrescamento, che utilizzano l'acqua di falda unita ad un sistema con pompa di calore, il recupero delle acque piovane, lo stoccaggio e il riutilizzo per l'irrigazione del verde. Il fabbricato ospita 63 unità immobiliari indipendenti, tutte diverse tra loro, e dotate sui due lati di grandi terrazze dalla pianta irregolare, che

avvolgono la vegetazione, e di ampie pareti vetrate che si affacciano sia sulla strada che verso il giardino interno.

L'architetto Pia chiarisce così il concept del suo progetto torinese: *"Non avendo la possibilità di costruire una casa in mezzo a un parco abbiamo pensato di costruire un parco in mezzo a una casa, ricreare la sensazione di vivere dentro a un bosco"*.

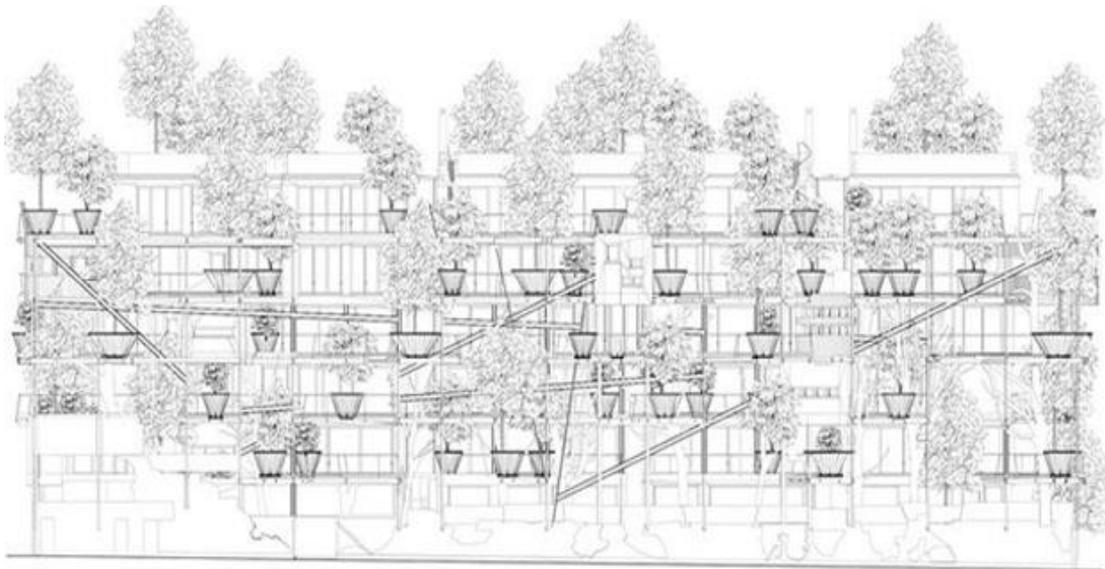


Figura 21: bozza del progetto di facciata di 25 Verde.

Il sistema del verde è caratterizzato da una geometria multiforme: si parte dalle fioriere fino ad arrivare al giardino, dal verde pensile in copertura al verde verticale in facciata, caratterizzando l'edificio con forme, colori ed essenze uniche.

L'involucro è stato studiato attentamente per garantire le migliori prestazioni energetiche all'edificio e la durata nel tempo dello stesso: l'isolamento a cappotto, continuo su tutte le superfici esterne esposte, garantisce un buon isolamento termico generale, e, unito ai serramenti ad alto isolamento termico, con un sistema di telaio in legno e vetrocamera doppio, garantiscono elevate prestazioni.

Gli impianti lavorano simultaneamente all'edificio per garantire il raggiungimento di elevati standard energetici: produzione del calore e del freddo con pompe di calore ad

acqua di falda, recupero del calore per l'abbattimento dei costi di raffrescamento, risparmio idrico tramite la raccolta dell'acqua piovana, risparmio sia idrico che energetico tramite gli economizzatori d'acqua, risparmio idrico ed energetico tramite i doppi attacchi (freddo e caldo) per gli elettrodomestici, in modo da consentire la regolazione delle condizioni di comfort.



Figura 22: vista in dettaglio di 25 Verde e delle sue terrazze.

5.1.1 Lo studio del verde

Il 25 Verde è caratterizzato da diverse tipologie di verde, infatti, gli ambiti di intervento sono molteplici: sono state progettate le fioriere sui terrazzi, il giardino-corte interna, il verde pensile nella zona del soppalco, dove si affacciano i loft, ed il verde pensile in copertura.

In particolare, le fioriere in acciaio a forma di tronco di cono rovesciato ospitano, a seconda delle dimensioni, alberi o arbusti; infatti anche le altezze a disposizione sono diverse e vanno da 2,5 metri di altezza a oltre gli 8 metri. Sono state scelte principalmente specie decidue, per permettere l'irraggiamento solare durante il periodo invernale.

“Tenuto conto dell’esposizione specifica di ogni terrazzo e degli spazi a disposizione, sono state utilizzate differenti piante per portamento ed habitus. In base alle dimensioni della fioriera e alle altezze disponibili sono stati scelti, ad esempio, alberi a sviluppo conico quali *Liquidambar styraciflua* e *Carpinus betulus*; alberi policormici, più bassi (*Cercidiphyllum japonicum*, *Lagerstroemia indica*, *Punica granatum*). In altri vasi, arbusti quali *Viburnum tinus*, *Osmanthus aquifolium*, *Elaeagnus x ebbingei* e *Physocarpus opulifolius*. Alla base delle alberature sono state piantumate specie coprisuolo, di facile manutenzione e con esigenze agronomiche affini.

La corte giardino, circondata su tre lati dall’edificio, è caratterizzata da alberi più grandi e viene attraversata dai passaggi pedonali, realizzati in trincea: il verde risulta essere rialzato di oltre un metro rispetto al piano di calpestio e non risulta accessibile se non per le cure manutentive. Il verde, studiato per ricreare un bosco in miniatura si sviluppa, su quattro livelli: alberature di prima e seconda grandezza (*Ginkgo biloba*; *Liquidambar styraciflua*; *Carpinus betulus*; *Acer x freemanii* “Autumn blaze”; *Acer platanoides* “Crimson king”); alberature di terza grandezza (*Acer japonicum* “Palmatum”); arbusti autoctoni (*Euonymus europaeus*; *Viburnum opulus*; *Crataegus monogyna*); sottobosco di tappezzanti (*Vinca minor*; *Polystichum* in varietà; *Epimedium x rubrum* e tanti altri)

L’ultimo piano dell’edificio è un giardino pensile, suddiviso in tante proprietà quanti sono gli appartamenti dell’ultimo piano. Questi giardini sono infatti privati ed una scala a chiocciola in corten ne facilita l’accesso dai terrazzi del quinto piano. Ogni proprietario ha dato libero sfogo a gusti e desideri, per godere al meglio questi piccoli paradisi: pergole, tende, vele, alberi, frutteti, orti, aromatiche, roseti, bordure di erbacee, ... il giardino è una stanza che come tetto il cielo (Pietro Porcinai...).”

(Fonte: www.lineeverdi.com)

Per abbassare il rischio di una crisi da trapianto ed assicurare la sopravvivenza delle piante dopo la messa in vaso nell’edificio, tutte le specie di verde dei terrazzi e del sopralco sono stati raggruppati all’inizio del 2010 presso i Vivai Reviplant (in zona collina di Torino) e controllati per più di un anno. È stata fatta particolare attenzione all’irrigazione, alla concimazione, ai funghi dannosi, ai batteri simbiotici, al substrato

di terra, che deve essere bilanciato a seconda delle caratteristiche di ogni specie. Questo controllo, fin troppo minuzioso, ha permesso una crescita rigogliosa dei diversi esemplari messi in dimora in 25 Verde. In questo periodo di pre-coltivazione gli esemplari sono stati alloggiati in *air-pot*: sono particolari mastelli aerati che hanno consentito alle radici di queste piante di crescere rigogliosamente, tanto che, nel momento della messa a dimora, la porzione di terra era tutta ben innervata di radici, segnale di una pianta in ottima attività vegetativa che assorbono attivamente nutritivi e acqua.

Il cantiere del verde ha avuto inizio nell'autunno del 2011 e, nel corso dell'inverno, sono state messe a dimora circa un terzo delle specie previste nel progetto. Tra la primavera e l'estate si sono conclusi i lavori e le piante sono cresciute rigogliose, monitorate dagli operatori del verde che le hanno messe a dimora.

Quasi tutto il verde dell'edificio è a gestione condominiale, tranne i giardini pensili del piano di copertura. La ditta che ha realizzato il progetto effettuerà la manutenzione per i primi due anni.

5.1.2 Costi di manutenzione

La manutenzione del verde in questo progetto è stata affidata per i primi due anni alla ditta che ha realizzato i lavori. Si è pensato di effettuare due sopralluoghi mensili, uno ogni quindici giorni, dove un team di lavoratori controllerà che l'impianto centralizzato di fertirrigazione mantenga i suoi standard di costruzione, grado di umidità del terreno ed effettuerà un'analisi della salute delle piante, qualora queste dovessero contrarre parassiti o malattie. Nella manutenzione ordinaria non è però prevista l'operazione di potatura.

Per quanto riguarda i costi di questa manutenzione ordinaria, ogni proprietario provvederà al pagamento per la manutenzione di tutto il verde all'interno del condominio, considerando la totalità di piante del condominio, e quindi non solo quelle di pertinenza all'alloggio stesso, ai giardini condominiali a piano terra ed ai tetti verdi, il tutto basato sulla propria percentuale d'incidenza, ricavata dalle tabelle millesimali

del condominio. Alla fine dei calcoli, per i primi due anni, è stato stimato un costo medio ad appartamento pari a 500 € l'anno.

Scaduti questi primi due anni è stata effettuata una gara d'appalto per la concessione dei servizi di manutenzione.

5.1.3 Altri esempi di opere di Luciano Pia

Hollywood House era un piccolo teatro popolare costruito nel XIX secolo e ora diventato un edificio residenziale. Si trova fuori dalle mura romane e dal centro storico, proprio di fronte ai Giardini Reali, in una posizione molto importante ed avente una vista mozzafiato sul centro della città, sulle colline e sulle Alpi, ma rimanendo comunque in una delle strade più trafficate di Torino (Corso Regina Margherita).

Gli elementi vincolanti erano la vecchia struttura del palcoscenico e del backstage, la facciata del teatro, la necessità di mantenere sia l'allineamento con la strada adiacente che con gli edifici accanto a Hollywood House (aventi altezza di 6 e 10 piani), hanno caratteristiche di modellazione diverse e si trovano in un lotto irregolare tra due vie non perpendicolari tra loro. Inoltre, era estremamente importante proteggere la Hollywood House dal rumore e dall'inquinamento proveniente dalla strada, senza però ostacolare la vista.

Gli appartamenti duplex sono stati inseriti nel volume del palcoscenico del XIX secolo e nel backstage. Il piano terra è stato trasformato in un open space interno, un giardino che ricorda completamente il proscenio e le bancarelle teatrali.

Gli appartamenti duplex si affacciano sul giardino interno, mentre gli appartamenti di fronte alla strada vanno dai 12 ai 35 metri di altezza e si affacciano sui Giardini Reali. La facciata di vetro esposta a sud è protetta dall'irraggiamento diretto e dall'effetto serra da una doppia "pelle" (superficie smaltata).

C'è spazio vuoto per la ventilazione tra le due superfici smaltate, che prendono aria dal giardino a nord di fronte, dove l'aria è più pulita e fredda. L'aria passa sotto l'edificio in un doppio pavimento e poi tra le due "pelli" (1 m lontane l'una dall'altra) per scaricare la sua energia termica.

Sia la prima pelle, che non è una superficie continua, che le griglie di schermatura solare impediscono l'irradiazione diretta sulla seconda pelle.

Le due pelli proteggono le “serre bioclimatiche”, che sono smaltate su sei lati, e si affacciano a sud.

Attraverso le “pelli” si ha una splendida vista della città senza sentire il rumore proveniente dalla strada. Le pelli sono realizzate in doppia vetroresina isolante per ottenere la conservazione energetica e, in inverno, per trasmettere una radiazione termica profonda nelle unità abitative.

La facciata sud è totalmente vetrata per offrire una bella vista sulla città e sulle montagne.

La facciata nord invece è coperta da piastre di zinco-titanio (fatte in loco) che lo proteggono. La facciata è curva sia in basso che in alto per diventare parte del tetto.

La facciata sud ha una doppia curva (anche se le lastre di vetro sono piatte) per migliorare l'efficienza dell'esposizione solare e per ammorbidire il volume.

Entrambe le facciate al di sopra della sala principale descrivono un volume simile a una sfera, il cui elevato rendimento energetico è sottolineato dalla forma stessa, dalle pareti di doppio vetro sul lato meridionale, dai sistemi per la protezione passiva e dalla ventilazione dell'intercapedine. Grazie alla doppia curvatura, il primo volume di Hollywood House (quello che è contiguo ad un edificio risalente agli anni '50) può passare da 10 a 6 piani, che è l'altezza del secondo volume di Hollywood House (quello che è comune ad un edificio del XIX secolo).

La facciata sud ha una struttura regolare e si basa sulla stessa linea orizzontale degli edifici accanto a Hollywood House su entrambi i lati. La facciata nord è caratterizzata da fori irregolari sfalsati all'interno della superficie compatta del volume sferoidale.

Al piano terra e accanto al marciapiede c'è un lungo vetro trasparente per vedere il tappeto di piante sempreverdi che crescono nel corridoio.

Hollywood House dispone di ottimi sistemi di insonorizzazione, riscaldamento e raffreddamento con pompe di calore dell'aria, che permettono i ricambi d'aria con recupero di potenza, pannelli solari per l'acqua calda sanitaria; tutta l'acqua piovana viene raccolta per provvedere all'irrigazione del verde. Il fabbisogno energetico è inferiore a 30 KW/m² per anno, che concede la migliore classe in Italia per l'efficienza energetica.



Figura 23: Casa Hollywood, Corso Regina Margherita, Torino.

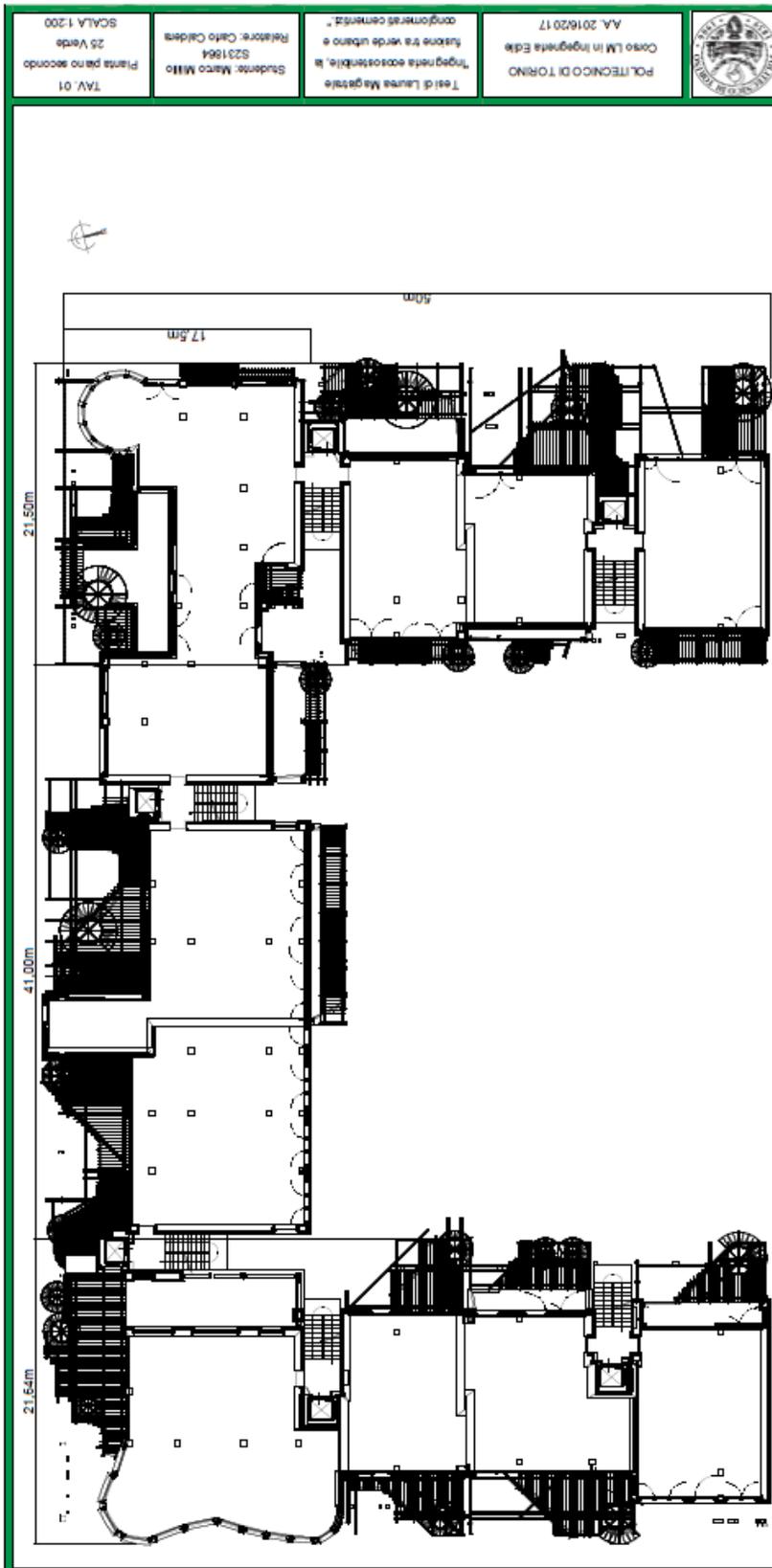


Figura 24: vista della facciata del teatro restaurata di Casa Hollywood, Torino.

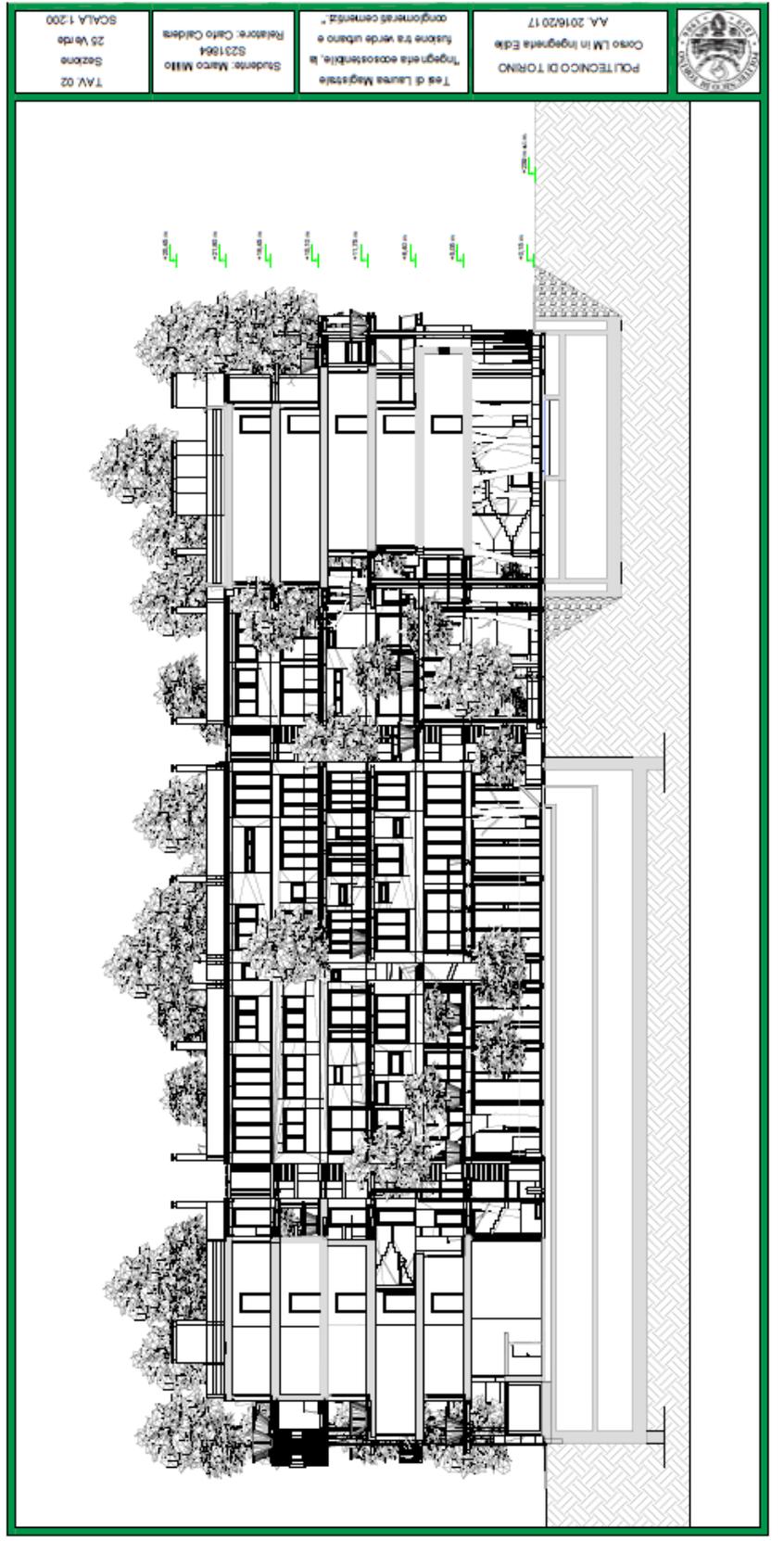
5.1.4 Dettagli costruttivi ed analisi dei nodi strutturali

In questo capitolo sono state analizzati diversi aspetti costruttivi, con presa in esame di un nodo caratteristico ricavato dalle piante dei pavimenti e dalla sezione del fabbricato, in seguito allegate. È stato scelto il nodo del balcone, che comprende un solaio interpiano, una parete confinante con l'ambiente esterno, una terrazza in legno ed un vaso a forma di cono rovesciato, contenitore tipico per arbusti utilizzato in quest'opera.

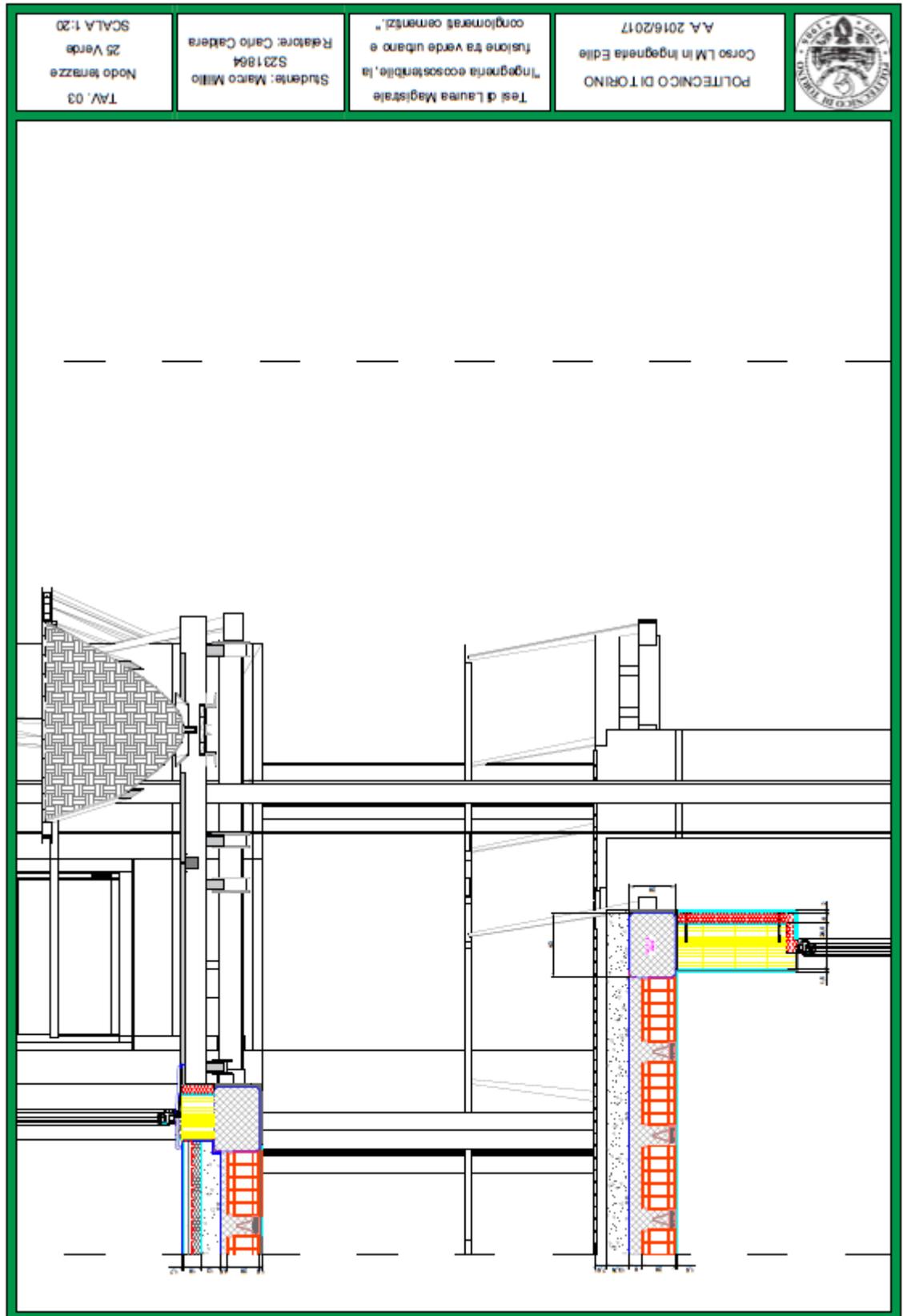
5.1.4.1 Tavola 1: pianta piano quarto (scala 1:200)



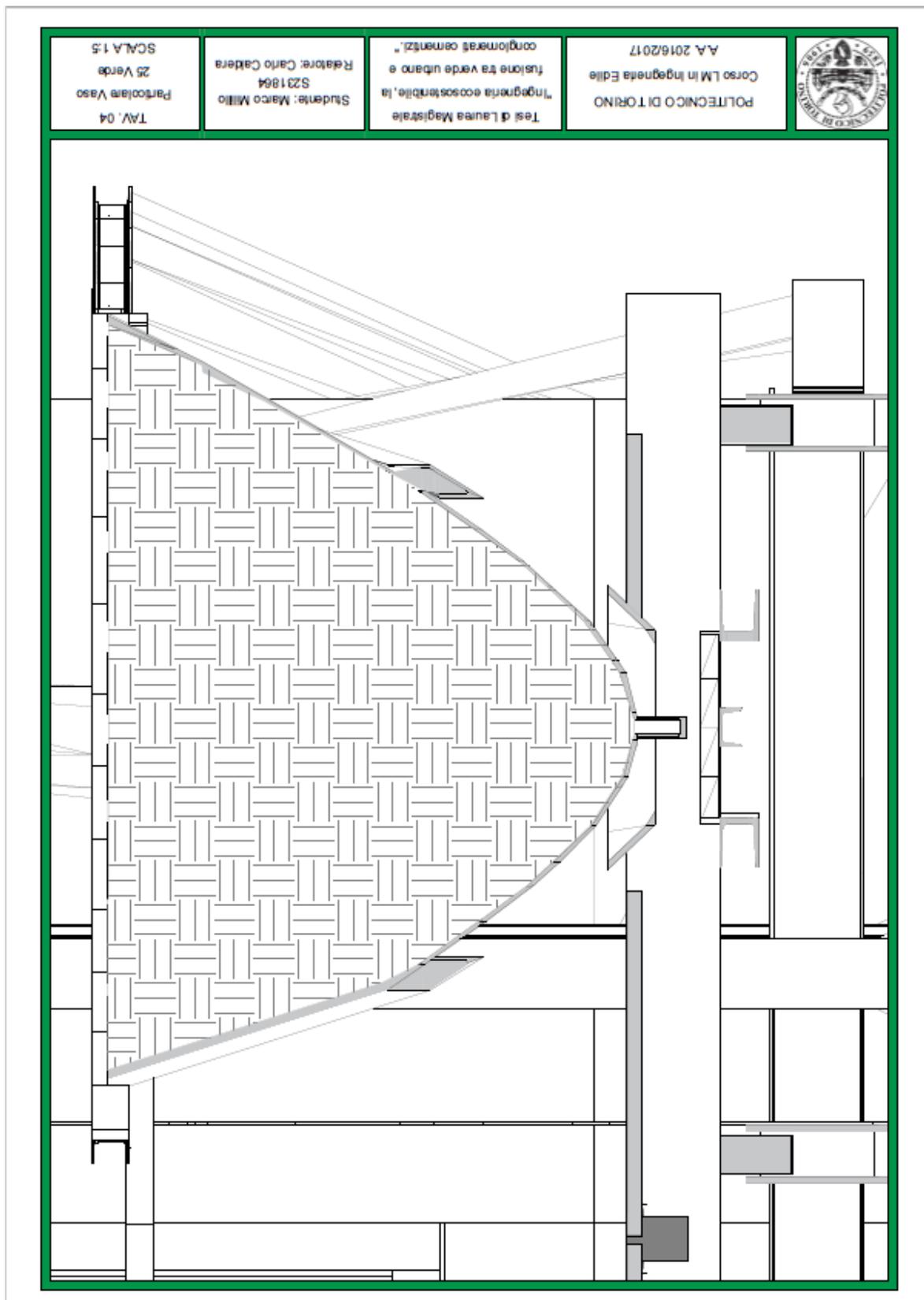
5.1.4.2 Tavola 2: sezione (scala 1:200)



5.1.4.3. Tavola 3: nodo costruttivo (scala 1:20)



5.1.4.4 Tavola 4: nodo costruttivo (scala 1:5)



5.2 Il bosco verticale

Il riassetto dell'area Porta Nuova, adiacente alla stazione di Milano centrale, è il progetto di riqualificazione urbana e architettonica più importante d'Europa, oltre ad aver cambiato completamente l'immagine e la destinazione d'uso di un'area collocata nel pieno centro di Milano e, in passato, destinata all'industria leggera e all'artigianato. L'intervento è distribuito su una superficie complessiva di 340.000 m², e porta le firme di più di una ventina di architetti di fama internazionale, tra cui Cesar Pelli e Nicholas Grimshaw. Questa riqualificazione ha richiesto un investimento complessivo di oltre due miliardi di euro e ospita edifici commerciali, residenziali, culturali e ricreativi. Proprio in questo contesto si sviluppa il Bosco Verticale, promosso da Hines Italia e sostenuto da importanti investitori istituzionali, quali Unipol Sai, fondi pensione statunitensi e canadesi, banche tedesche e il fondo del sovrano del Qatar.

Il complesso residenziale, che è stato progettato da Stefano Boeri (studio Stefano Boeri Architetti, SBA), Gianandrea Barraca e Giovanni La Varra, con il contributo ovviamente non secondario di Arup per le strutture, è costituito da due edifici a torre alte rispettivamente 112 e 80 m (27 e 19 piani), raccordate alla base da una porzione di edificio a L, di due piani fuori terra e uno sviluppo interrato di tre livelli. Le facciate dell'edificio sono caratterizzate dalla presenza di imponenti e irregolari balconi che, con una soletta strutturale di 28 cm e parapetti pieni di 130 cm, hanno un aggetto di 3,35 m su tutti e quattro i lati delle torri.

Il complesso sistema di torri, che si affaccia su via de Castillia e via Confalonieri, oltre che per la qualità costruttiva e dei materiali utilizzati, colpisce per l'impiego inusuale della vegetazione, che propone un nuovo modo di abitare, in grado di assecondare l'esigenza odierna di vivere immersi nella natura, senza però rinunciare ai comfort, alla centralità e alla sicurezza offerti da un centro città. Inoltre, i 113 appartamenti sono caratterizzati da ampie superfici e finiture di elevata qualità, oltre che dalla possibilità di usufruire di spazi condivisi come il grande spazio polifunzionale collocato all'ingresso.



Figura 25: vista aerea del bosco verticale sito nel quartiere Isola.

Il progetto ha adottato molte soluzioni tecnologiche avanzate, quali la vegetazione in facciata e il sistema di isolamento alla base (per smorzare le vibrazioni prodotte dal tracciato metropolitano passante sotto di essa), e soluzioni di consolidata affidabilità, quali i tamponamenti in laterizio celato.

Che si tratti di piante ad alto fusto, piuttosto che di soluzioni di inverdimento a raso, la volontà di integrare e valorizzare il verde nei centri urbani e nelle architetture ha radici antiche: basti ricordare le marcite milanesi che sono prati stabili con l'erba tutto l'anno perché sommersi da un velo d'acqua in perenne movimento ottenuto da un sistema di irrigazione complesso e antico ideato dai monaci cistercensi, oppure la medievale Torre Guinigi a Lucca (in laterizio non "celato") che presenta in sommità un giardino pensile realizzato da un cassone murato riempito di terra nel quale sono messi a dimora sette lecci o le più recenti opere di Friedensreich Hundertwasser in cui gli alberi collocati in appositi cassoni interni escono dalle finestre e dalle terrazze invadendo le facciate.

Ogni appartamento, in entrambe le torri di Bosco Verticale, è dotato di almeno una terrazza, paragonabile a un piccolo giardino, che offre ai residenti un miglioramento della qualità di vita e un contatto diretto con la natura, seppure siti ad alta quota. Complessivamente queste terrazze-giardino sono la dimora di 900 alberi di 3-6 m di fusto (betula alba, ciliegio, albero di Giuda, melograno, etc.), 5.000 arbusti (bambù, mirto, etc.) e 11.000 piante perenni floreali e tappezzanti (margherita gialla, lavanda, gelsomino, etc.), arrivando ad un totale di circa 100 diverse specie, che cambiano i propri colori e quelli dell'architettura del bosco seguendo l'alternanza delle stagioni: tutti questi alberi corrispondono a 20.000 m² tra bosco e sottobosco, che densificano, per la prima volta in altezza, il verde del capoluogo lombardo. L'irrigazione delle piante avviene per larga parte attraverso il filtraggio, la depurazione e il riutilizzo delle acque grigie prodotte dall'edificio, permesso grazie ad un impianto di recupero.

La stabilità degli alberi (fondamentale soprattutto per quelli posti ad alta quota) è stata studiata attraverso diverse analisi, che hanno tenuto conto sia delle specie adottate che delle loro geometrie: in particolare, una prima serie di test è stata effettuata nella galleria del vento del Politecnico di Milano e ha valutato le forze agenti sugli alberi attraverso l'adozione di un modello in scala 1:100, mentre una seconda serie di test è stata eseguita nell'impianto a flusso-aperto dell'Università Internazionale della Florida, con l'obiettivo di controllare l'azione delle forze a cui sono soggetti gli alberi veri. A seguito delle verifiche, sono state proposte tre soluzioni:

- tutti gli alberi devono essere muniti da fascette che collegano il bulbo della radice a una rete di acciaio conficcata nel terreno;
- gli alberi medio-grandi devono essere provvisti di un cavo di sicurezza per evitare la caduta in caso di rottura del tronco;
- gli alberi più grandi, in particolare quelli che si trovano in posizioni maggiormente esposte all'azione del vento, devono presentare intorno al bulbo una gabbia di acciaio di mantenimento.

I vantaggi ottenuti con l'adozione di uno schermo vegetale sono numerosi: contribuisce alla mitigazione del microclima, a filtrare le polveri sottili in ambiente urbano, ad assorbire anidride carbonica e produrre ossigeno e umidità, a contribuire alla

ridensificazione vegetale e animale spontanea, ed infine a proteggere i residenti dall'irraggiamento e dall'inquinamento acustico.

Secondo il progettista, Stefano Boeri, il Bosco Verticale è *“una nuova idea di grattacielo, che arricchisce di biodiversità vegetale e faunistica la città che lo accoglie, in cui alberi e umani convivono”*.

Il progetto paesaggistico terminerà con la creazione di un parco di futura realizzazione che circonda l'intera zona e avrà un forte impatto, integrando le aree verdi residenziali, le passeggiate e le piste ciclabili con lo sviluppo boschivo verticale delle torri.

Il complesso, inoltre, è stato pensato con un sistema di isolamento alla base in grado di smorzare le eventuali azioni di eventi sismici e, soprattutto, di ridurre le vibrazioni causate dal tracciato della metropolitana. Infatti, nonostante il suolo presenti delle buone caratteristiche ed una limitata influenza della falda acquifera, le maggiori difficoltà da affrontare è stata la presenza del tunnel della Metro M2, che passa sotto la porzione nord dell'area del bosco, e del nuovo tunnel della Metro M5, che passa sotto la costruzione sul lato est.

Il percorso metropolitano, su rotaie, genera una vibrazione a terra in parte dovuta alla irregolarità della guida delle ruote e in parte alle dinamiche della struttura dei binari e dei veicoli: la trasmissione di tali vibrazioni alla struttura delle due torri avrebbe costituito, se non ben gestita, una fonte di peggioramento del comfort acustico percepito dalle persone all'interno del fabbricato. La soluzione a tale interferenza è stata raggiunta con un sistema di isolamento, che consente il galleggiamento della struttura attraverso un assortimento di elementi elastici e resistenti: sono state previste frequenze di isolamento pari a 3,5 Hz ottenute tramite molle elicoidali di acciaio.

Durante la costruzione degli edifici, i tunnel sono stati controllati per registrare ogni possibile variazione e per stabilire che il comportamento effettivo corrispondesse a quello previsto durante la fase di progettazione. In particolare, il comportamento dei due tunnel è stato analizzato in relazione all'effetto diretto e indiretto delle nuove strutture, per la realizzazione dei muri-diaframma e per l'escavazione.

Il risultato finale è la mancanza di trasmissione di vibrazioni al Bosco Verticale, nonostante che i due tunnel presentino una distanza dalle fondazioni della struttura inferiore ai 4 m.

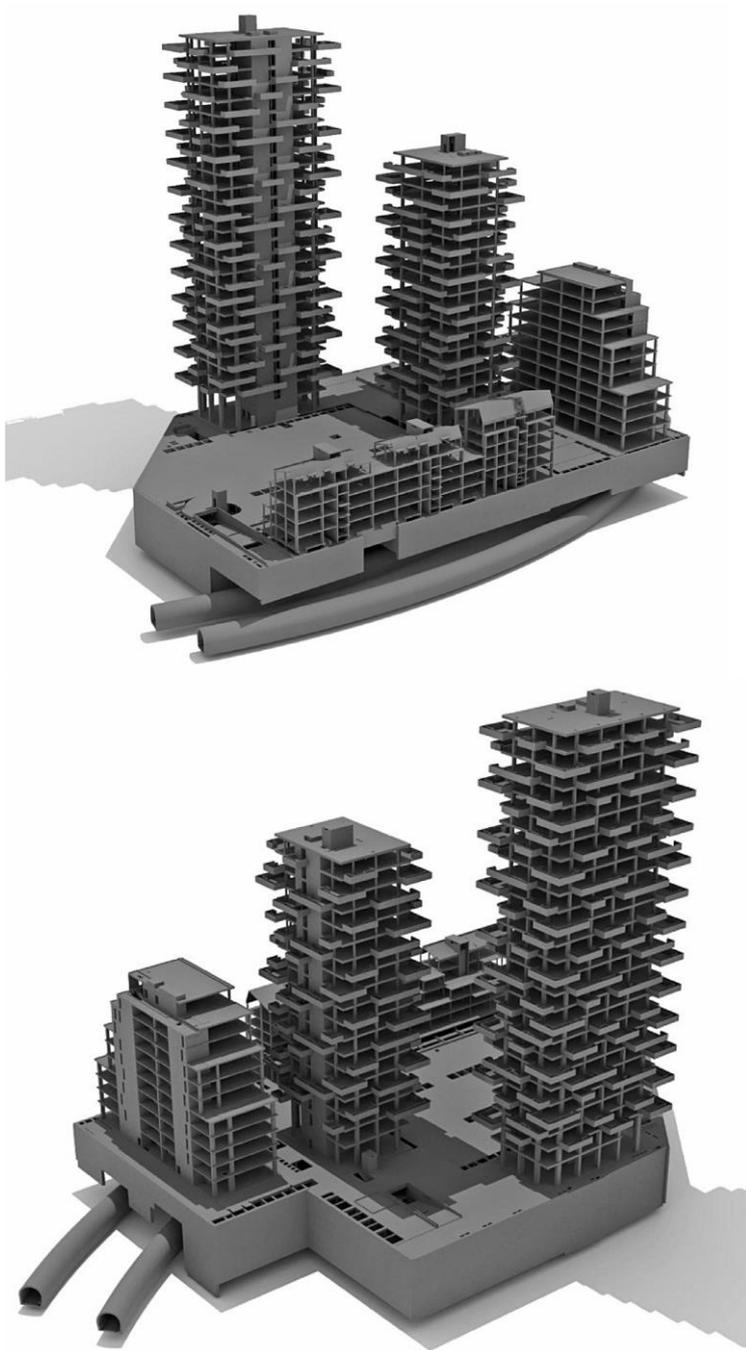


Figura 26: 3D illustrativo del tracciato della metropolitana rispetto al bosco verticale.

Le pareti di tamponamento sono stratificate, con paramento in laterizio alleggerito in pasta (25,0 cm) intonacato (1,5 cm), isolante termico in polistirene estruso (10,0 cm), intercapedine d'aria e schermo avanzato in lastre di gres porcellanato (55x120x1,4 cm)

montato su una sottostruttura costituita da montanti in alluminio. Le pareti di separazione, poste tra le unità residenziali e il vano scale, sono invece a cassetta, con paramento in laterizio alleggerito in pasta (8,0 cm) rivestito con lastre di cartongesso (1,5 cm), intonaco di rinzafo (1,0 cm), isolante termico minerale (80% di vetro riciclato, 6,0 cm), paramento in laterizio alleggerito in pasta (12,0 cm) intonacato (EI 120, 3,0 cm).

La sottostruttura del rivestimento esterno, con diversa sezione in funzione delle differenti situazioni di montaggio, è ancorata alle pareti di laterizio tramite delle staffe di ancoraggio a T, mentre le lastre sono fissate mediante l'applicazione di quattro ganci che trovano riscontro, da un lato, sulla scanalatura del profilo di alluminio e, dall'altro, nelle fresate scavate nelle coste delle lastre di ceramica. Per evitare che la dilatazione dei montanti in alluminio trasferisse delle sollecitazioni alle lastre, è stato realizzato un giunto a pettine negli elementi in alluminio ogni 3,6 o 4,8 m (3-4 lastre). Infine, per regolarizzare il contatto tra i due elementi e garantire un'omogenea distribuzione dei carichi di vento, è stata aggiunta una striscia di adesivo strutturale tra il retro della lastra e il fronte del profilo.

Il paramento in laterizio è stato realizzato con dei blocchi alleggeriti in pasta (25,0x19x48 cm) rettificati, aventi peso specifico 800 kg/m^3 , con un giunto verticale a incastro maschio-femmina e un giunto orizzontale sottile, posati con malta-colla. Con tale soluzione, il laterizio offre un'adeguata resistenza a ancoraggi e fissaggi perché è sufficientemente robusto per resistere all'azione fuori piano innescata dal rivestimento esterno e per non danneggiarsi a causa di eventuali meccanismi di piano e/o fuori piano. Le prove di trazione assiale eseguite in opera sui sistemi di ancoraggio con barre filettate in acciaio e bussola a rete in plastica hanno evidenziato che il carico applicato, di circa 7kN, rappresenta un valore medio limite ultimo a rottura. Da un punto di vista energetico, per non compromettere le prestazioni dell'isolante termico, sono stati impiegati elementi in acciaio inossidabile austenitico (18% cromo, 8% nichel) che, così come gli elementi in acciaio zincato, in polipropilene o in lega, presentano una minore conducibilità termica, caratterizzati da una leggera pendenza verso l'esterno e sono muniti di una rondella "rompigoccia", al fine di evitare che l'acqua entri in contatto con lo strato interno.

I due edifici del Bosco Verticale sono particolari anche per l'utilizzo di soluzioni tecnologiche ecosostenibili: sfruttano fonti di energia rinnovabili, come ad esempio quella solare, con l'introduzione di pannelli fotovoltaici, isolamento termico e acustico, o con la scelta di materiali da costruzione ecocompatibili e a bassissimo livello di inquinanti, o anche un sistema per la raccolta delle acque piovane, utilizzate per l'irrigazione delle aree pubbliche. La fusione di tutte queste tecniche è riuscita a far ottenere la certificazione Gold LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) al Bosco verticale, ovvero il più alto grado di certificazione energetica. Per ottenere questa certificazione è stata di fondamentale importanza anche la scelta dei tamponamenti. Il Bosco Verticale è stato premiato nell'edizione 2014 col titolo di "International Highrise Award", assegnato ogni due anni dal Museo di Architettura di Francoforte (DAM) all'edificio sviluppato in altezza (quindi grattacielo) più bello e innovativo al mondo. Nell'ultima edizione, il DAM ha valutato oltre 800 grattacieli per selezionare la *shortlist* dei 5 finalisti: oltre al Bosco Verticale, hanno raggiunto la finale il "De Rotterdam" a Rotterdam (NL) di Office for Metropolitan Architecture, il "One Central Park" a Sydney (AUS) e il "Renaissance Barcelona Fira Hotel" a Barcellona (E) entrambi di Jean Nouvel, il "Sliced Porosity Block" a Chengdu (RC) di Steven Holl. Come indicato dal prof. Felix Semmelroth, capo del Dipartimento per la cultura e la scienza della città di Francoforte e membro della giuria guidata da Christoph Ingenhoven, la scelta del Bosco Verticale è ascrivibile alla *"sostenibilità e integrazione nel contesto urbano oltre che al forte senso di identità dell'opera stessa"*. Il successo del Bosco Verticale è in parte attribuibile anche al corretto utilizzo del laterizio e alle sue prestazioni che, seppure "celati", sono tali da garantire la qualità anche senza essere visti, addolcendo così l'immagine dell'edificio.

5.2.1 Realizzazione delle vasche e delle coperture verdi

L'edificio composto da due torri, la torre De Castillia, alta 110 m per 28 piani, e la torre Confalonieri, alta 76 metri per 18 piani, entrambe caratterizzate dalla presenza di balconi sfalsati in calcestruzzo armato che, grazie alla loro soletta strutturale spessa 28 cm e ai parapetti pieni, aventi altezza di 130 cm, riescono ad avere un aggetto di 3,25 m permettendo l'installazione efficace della sua caratteristica peculiare, la vegetazione

composta da alberi alti fino a 9 m, e creando dinamicità al profilo delle torri. Le torri, a differenza del 25 Verde, prevedono la creazione di vasche in calcestruzzo anziché di vasi per il raggiungimento dello scopo finale. Ogni vasca è stata pensata per non condizionare molto la crescita radicale al suo interno, evitando l'insorgere di difetti di radicazione. Le dimensioni in genere sono state studiate in funzione delle esigenze idriche e radicali della singola pianta messa a dimora. Ad esempio nel caso di alberi parliamo di una dimensione di circa 1,10 m, sia in lunghezza che larghezza, per arbusti e cespugli invece 0,50 m.



Figura 27: vasche di calcestruzzo in fase di costruzione.

Per la progettazione delle vasche è stato fatto inizialmente un calcolo strutturale valutando i carichi dei pesi agenti sulle terrazze, quindi sia materiali da costruzione sia materiali vegetativi (terra ed arbusti stessi) considerando il peso di questi ultimi in caso

di massima saturazione idrica. Questa tabella riassume i carichi utilizzati.

ELEMENTO	PESO ASCIUTTO (kg/m ²)	MAX SATURAZIONE (kg/m ²)	ELEMENTO	SPESSORE SUBSTRATO CM	PESO VEGETAZIONE (kg/m ²)
Protezione meccanica	0,45	5,45	Perenni	Da 8 a 15	Da 10 a 15
Strato drenante	3,00	11,00	Tappeto erboso	25	30
Strato filtrante	0,20	0,40	Perenni ed arbusti < 3mt	Da 15 a 40	Da 20 a 30
Substrato	900	1.350	Alberi fino a 10 mt	Da 40 a >100	Da 60 a 150

Per la pendenza della soletta sono state rispettate le seguenti direttive:

- la pendenza ideale della soletta è compresa tra 1 – 3%;
- per coperture piane la pendenza può arrivare al 5%;
- per coperture inclinate deve essere maggiore del 5%.

Successivamente si passa alla stesura dei vari strati di assemblaggio, che rivestiranno le vasche in calcestruzzo. Queste vasche sono state gettate in opera e poi rivestite con i seguenti materiali:

- 1) per proteggere la struttura in calcestruzzo armato abbiamo due possibili soluzioni: o si utilizza una guaina impermeabilizzante unita ad una guaina anti radice oppure uno strato integrato che esplica le funzioni di entrambe. La guaina anti radice è prodotta con sostanze sintetiche quali PVC e polietilene. L'associazione tedesca per il verde pensile ha effettuato una classificazione delle specie che possono causare danni a questa guaina anti radice facendo riferimento alla norma. Si utilizza l'FLL, ovvero il protocollo che permette di determinare la resistenza alla penetrazione delle radici nei materiali impermeabilizzanti;
- 2) strato di separazione, accumulo e protezione meccanica, in genere TNT. Serve principalmente per proteggere l'impermeabilizzazione sottostante da danni e/o sollecitazioni meccaniche (anche in fase di cantiere), per formare uno strato di scorrimento e per permettere l'accumulo di acqua di riserva per le radici da sfruttare nei periodi di massimo stress idrico. La posa deve avvenire sopra tutta la superficie dell'elemento di tenuta, con sovrapposizione dei bordi minima di 10 cm, anche in corrispondenza dei bordi di contenimento verticale;

- 3) strato drenante in materiale sfuso: è composto da inerti vulcanici quali argilla espansa, pomice, perlite, lapillo vulcanico o ghiaia. La sua funzione, come indicato dal nome, è quella di drenaggio equilibrato. Lo spessore di posa cambia in funzione della granulometria degli inerti utilizzati. Il vantaggio dell'utilizzo di questi inerti consiste nel suo ridotto peso e nella sua reperibilità e lavorabilità. Un'altra possibile soluzione drenante consiste nell'utilizzo di elementi in piastre o rotoli realizzati in materiale sintetico (polietilene, polistirolo o materiali termoisolanti). Questi forniscono una protezione aggiuntiva, permettono l'aerazione, hanno una buona resistenza a compressione e a parità di spessore hanno capacità drenanti superiori a quelle dei materiali sfusi con pesi contenuti;
- 4) strato filtrante di geotessili: consiste nell'evitare che le particelle riescano a raggiungere lo strato drenante. Vengono posate tra strato drenante e substrato di coltivazione con sovrapposizione dei bordi minima di 10 cm;
- 5) substrato di coltivazione: questo garantisce una quantità di acqua disponibile superiore ai suoli tradizionali, presenta diverse caratteristiche, quali peso ridotto a massima saturazione idrica, bilanciato rapporto aria/acqua, elevata capacità di ritenzione idrica, stabilità fisica e chimica, resistenza al gelo, ridotto compattamento, assenza di infestanti, bilanciato rapporto di frazione minerale e frazione organica.

Tutti i materiali utilizzati devono essere conformi alla norma UNI corrispettiva. È stato previsto anche un sistema di ancoraggio delle piante, installando un telaio di acciaio saldato per assicurare efficacemente la porzione di substrato di coltivazione coinvolta dalla radicazione. Nel caso in cui le dimensioni di un albero raggiungano valori elevati, è stato previsto un ulteriore sistema di aggancio aereo in acciaio. Questi due sistemi non coinvolgono solo le vasche ma anche la pianta stessa (protetta da dispositivi di vincolo temporanei, di base e ridondanti) in modo da prevenire un

eventuale ribaltamento o caduta in condizioni ambientali estreme o impreviste (ad esempio le forti raffiche di vento ai piani alti delle due torri).



Figura 28: posa del substrato. Si notano anche gli elementi di ancoraggio.



Figura 29: posa dell'arbusto ed ancoraggio.

5.2.2 L'impianto di irrigazione

L'irrigazione della totalità del verde avviene mediante un sistema d'irrigazione a goccia centralizzato. Per abbattere i consumi, l'acqua utilizzata dal suddetto impianto non è quella potabile, bensì quella fornita dall'installazione di un altro impianto, quello di recupero delle acque grigie prodotte sia dall'edificio sia dalla falda acquifera. Questa si accumula inizialmente in una cisterna, successivamente viene fatta defluire attraverso una fitta rete di condotte per l'irrigazione intelligente, poiché qualora le temperature scendessero sotto gli 0°C, queste condotte bloccano in automatico il flusso d'acqua. Questo è possibile grazie all'inserimento nell'impianto di sonde a monitoraggio remoto che, oltre a svolgere questa funzione, possono individuare e segnalare eventuali malfunzionamenti. L'erogazione finale alle singole piante avviene tramite un dispositivo di controllo composto da una valvola di scarico, un regolatore di pressione ed un'unità filtrante. Questa è azionata per mezzo di un impulso elettrico ed è calibrata rispetto al fabbisogno idrico della pianta alla quale è destinata, in modo da garantire un deflusso ideale delle acque. Infine vi è una valvola di sfogo dell'aria ed un'ala gocciolante che permette l'innaffiatura del substrato.

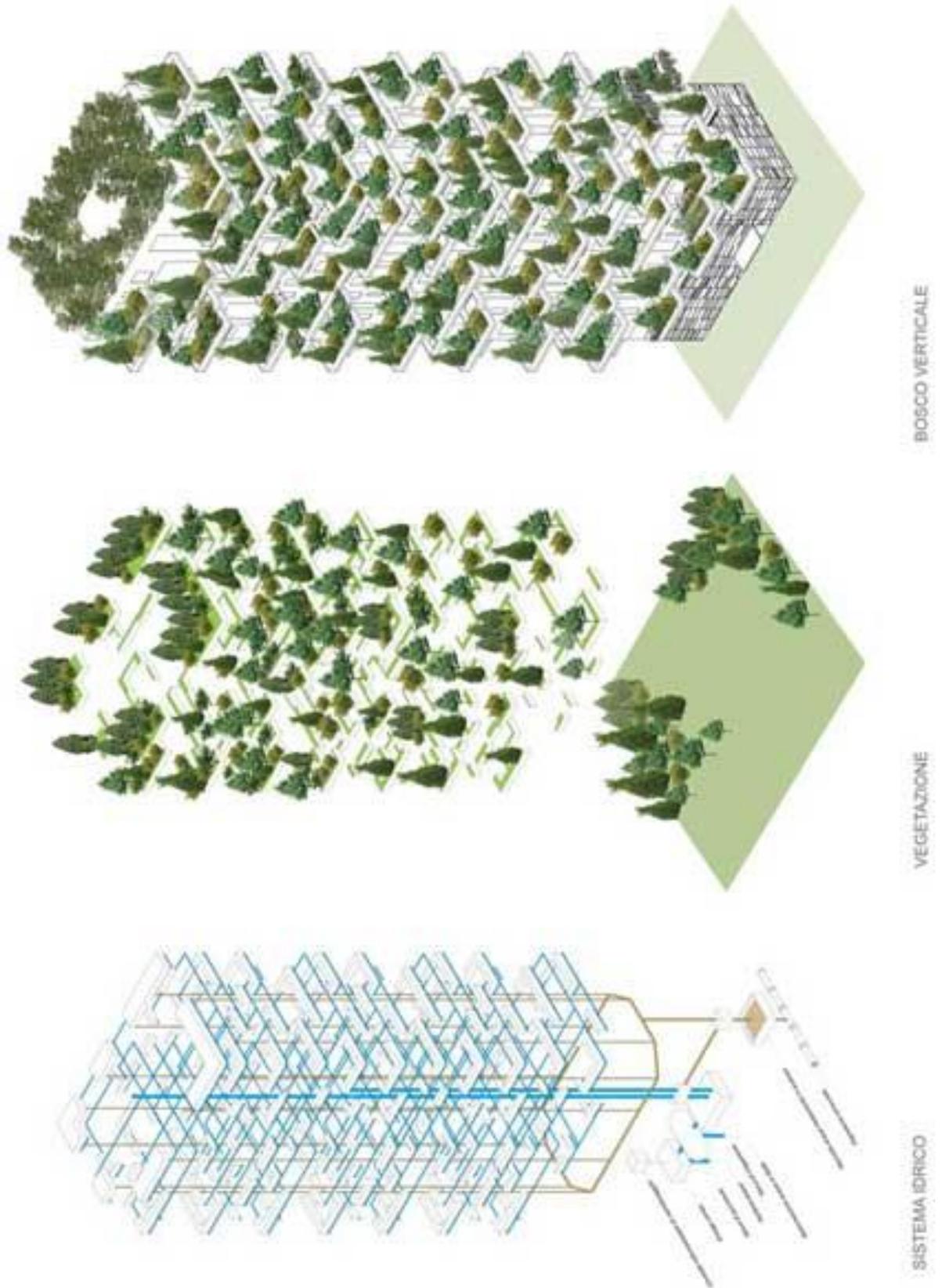


Figura 30: schema dell'impianto idrico.

5.2.3 Costi di gestione e manutenzione

La manutenzione del verde in questo progetto è stata affidata per i primi due anni alla ditta che ha realizzato i lavori. Si è pensato di effettuare un sopralluogo, con cadenza mensile, dove un team di lavoratori controllerà che l'impianto centralizzato di fertirrigazione mantenga i suoi standard di costruzione, grado di umidità del terreno ed effettuerà un'analisi della salute delle piante, qualora queste dovessero contrarre parassiti o malattie. Oltre all'ordinaria manutenzione, il rivestimento vegetale necessita infatti di periodiche potature da parte di specialisti in arboricoltura. Il lavoro di potatura è toccato a una squadra composta dalla Peverelli spa, l'azienda che ha coltivato in vivaio le piante del Bosco verticale e che le ha messe a dimora sugli edifici. Il gruppo si è occupato della potatura degli alberi, mentre sui terrazzi dei due palazzi sono intervenute altre squadre per operare sugli arbusti. Per tenere in ordine la vegetazione del Bosco metropolitano, sono state previste due potature, due interventi piuttosto leggeri: uno a cavallo tra novembre e dicembre, di conformazione delle piante, e uno in estate, di selezione.

Per quanto riguarda i costi di questa manutenzione ordinaria, ogni proprietario provvederà al pagamento per la manutenzione di tutto il verde all'interno del condominio, considerando la totalità di piante del condominio, e quindi non solo quelle di pertinenza all'alloggio stesso. Il tutto è basato sulla propria percentuale d'incidenza, ricavata dalle tabelle millesimali del condominio. Alla fine dei calcoli, per i primi due anni, è stato stimato un costo medio ad appartamento pari a 8000 € l'anno.

5.2.4 Esempi di altre opere progettate da Stefano Boeri Architetti

- Torre dei Cedri, Losanna

Sarà il primo edificio al mondo di alberi sempreverdi e si chiamerà Les Terrasses des Cedres, ovvero Torre dei cedri. Dopo il Bosco Verticale di Milano, lo studio di architetti di Stefano Boeri (SBA) continua la sua sfida per migliorare la qualità urbana atmosferica ed aumentare la biodiversità direttamente in città.

Sarà un edificio alto 117 m ed avrà 100 alberi di 4 specie di cedro, 6000 arbusti, e 18000 piante perenni ricadenti e tappezzanti, per un totale di 24000 piante. Sarà un edificio capace di innestare una significativa biodiversità di specie vegetali nel cuore di un importante città europea, creando un polmone verde che fornisce un importante contributo ecologico sia per fissare le polveri sottili che per assorbire CO₂ e produrre O₂. Questo combatterà l'effetto isola di calore del centro urbano e favorirà la biodiversità. L'edificio sarà caratterizzato da forme ortogonali della facciata, che ospiteranno al loro interno terrazzo e ricche di verde. Grazie alle forme di questa torre ed ai colori cangianti dei cedri e delle altre piante nel corso delle stagioni, si riesce ad arrivare ad un ottimo risultato estetico. Infatti l'80% della vegetazione sarà composta da alberi sempreverdi, e la scelta è ricaduta sui cedri per le loro caratteristiche peculiari. Questi alberi infatti sono considerati tra i più maestosi al mondo, sono in grado di vivere fino a 2500 anni e sono capaci di adattarsi a condizioni climatiche estreme. Il progetto include nel intorno del grattacielo anche la costruzione di un centro commerciale ed un parco, circondato da una serie di palazzine più basse.

La torre sarà realizzata a partire dal 2017 dal costruttore svizzero verde Bernard Nicod e sarà costituita da 36 piani destinati non solo a residenze private ma anche uffici e saranno incluse anche una palestra e un ristorante panoramico.

Questo risulta un progetto molto simile al Bosco Verticale di Milano poiché si tratta sempre di torri con forma della pianta regolare e costante per i piani, ad eccezione dell'inserimento di numerose ed ampie terrazze. Infine, a causa del clima più rigido, è stata scelta una differente tipologia di vegetazione.



Figura 31: Torre dei Cedri, Losanna.

- Il Bosco Verticale di Nanchino.

Successivamente ai progetti di Milano e Losanna, anche la Cina avrà il suo bosco verticale. Il primo progetto è stato affidato sempre a Stefano Boeri, e sarà sito nella città di Nanchino.

Il progetto ha come data di conclusione prevista per il 2018 e sarà composto da due torri situate nel distretto Nanjing Pukou, un'area destinata essere promotore del processo di modernizzazione di Jiangsu Sud. Le due torri ricordano molto il progetto di Bosco Verticale di Milano per l'alternanza di balconi e vasche verdi. La torre più alta raggiungerà una quota di 200 m, la cui sommità sarà coronata da una "lanterna verde". Sarà in parte adibito ad uffici, dall'ottavo al trentacinquesimo piano, ed includerà anche un museo, una scuola sull'architettura verde ed un club privato all'attico. La seconda Torre alta 108 m prevede inoltre l'inclusione di una funzione alberghiera, avente 247 camere dal diverso taglio ed una piscina all'ultimo piano. Il basamento di queste due torri, alto circa 20 m, ospiterà funzioni commerciali ricreative ed educative, tra cui negozi, ristoranti, spazi per conferenze e mostre ed infine *food market*. Lungo le facciate di queste due torri verranno installati 600 alberi dalle grandi dimensioni, 500 alberi dal taglio medio, per un totale di 1100 alberi e 23 specie autoctone. Inoltre circa 2500 arbusti e piante a caduta andranno a coprire una superficie delle facciate di circa 6000 metri quadri. Questa grandissima concentrazione di verde contribuirà a ridurre le emissioni di CO₂ di circa 25 tonnellate ogni anno e a produrre ogni giorno circa 60 kg di O₂, considerando anche il fatto che contribuirà in maniera significativa a rigenerare la biodiversità locale.



Figura 32: Bosco Verticale, Nenchino.



Figura 33: Bosco Verticale (2), Nenchino.

- Il Bosco Verticale olandese, Utrecht.

L'edificio consiste in una torre alta 90 m progettato da Stefano Boeri architetti e punta a creare nel centro di Utrecht una stretta connessione di tra città e natura. Questo edificio è chiamato Torre dei Biancospini ed ospiterà sulle sue facciate circa 10000 piante, divise tra 360 alberi, 9640 arbusti e fiori, rappresentanti circa un ettaro di bosco. Grazie all'installazione di tutto questo verde la Torre dei Biancospini ha la capacità di assorbire circa 5,4 tonnellate di CO₂. Al centro della torre, direttamente connesso con il giardino al sesto piano, ci sarà il Vertical Forest Hub, un centro di informazione, documentazione e ricerca riguardo gli ambiti di forestazione urbana nelle città del mondo. In questo posto si possono conoscere le diverse soluzioni tecniche e botaniche scelte per questo edificio e monitorare gli stati di avanzamento dei lavori degli altri Boschi Verticali nel mondo. Questo edificio rappresenterà un nuovo polo di benessere per la città di Utrecht perché è uno “*smart building*” capace di dialogare con la città circostante grazie sia al piano terra aperto verso l'esterno e contigua al quartiere, sia allo sviluppo in altezza dello stesso che rispetta e valorizza le caratteristiche del isolato in cui è costruito. L'inizio dei lavori è previsto entro il 2019, con data di fine entro il 2022. La tipologia di costruzione è molto simile al Bosco Verticale del quartiere Isola, in Milano, sia per le modalità di impianti, che per le modalità di piantumazione del verde, ad eccezione per la differenza nella forma dell'edificio. Infatti, mentre il Bosco Verticale milanese consiste in due torri dalla forma regolare parallelepipedica, fatta eccezione per i balconi che sono sfalsati, la Torre dei Biancospini presenta una forma assai irregolare, data dalla sovrapposizione di trapezi scaleni e parallelepipedi, di dimensioni via via inferiori rispetto a l'altezza crescente. Inoltre sarà condotto uno studio per verificare quali tipologie e specie di verde adottare in un clima abbastanza rigido come quello olandese.



Figura 34: Torre dei Biancospini, Utrecht.

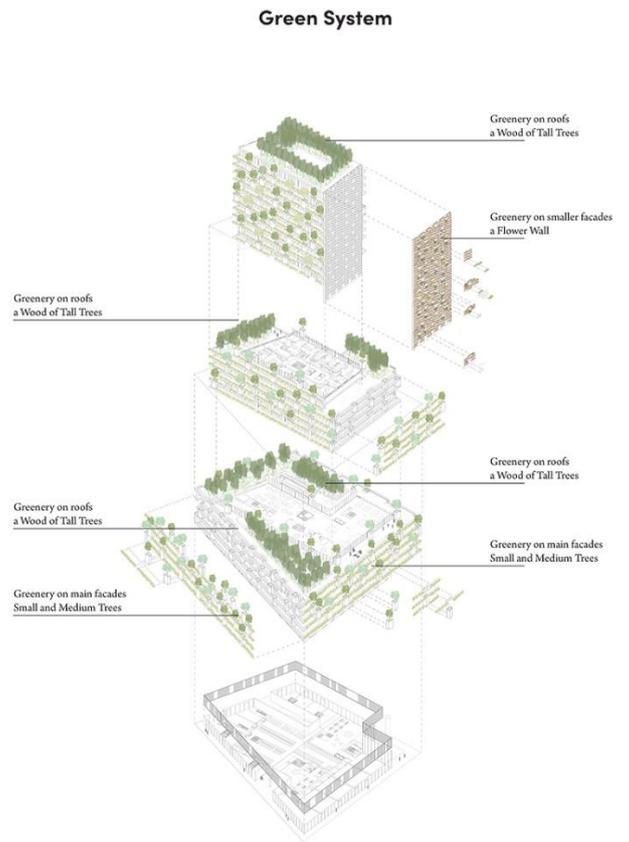


Figura 35: studio del verde.



Figura 36: Torre dei Biancospini (2), Utrecht.

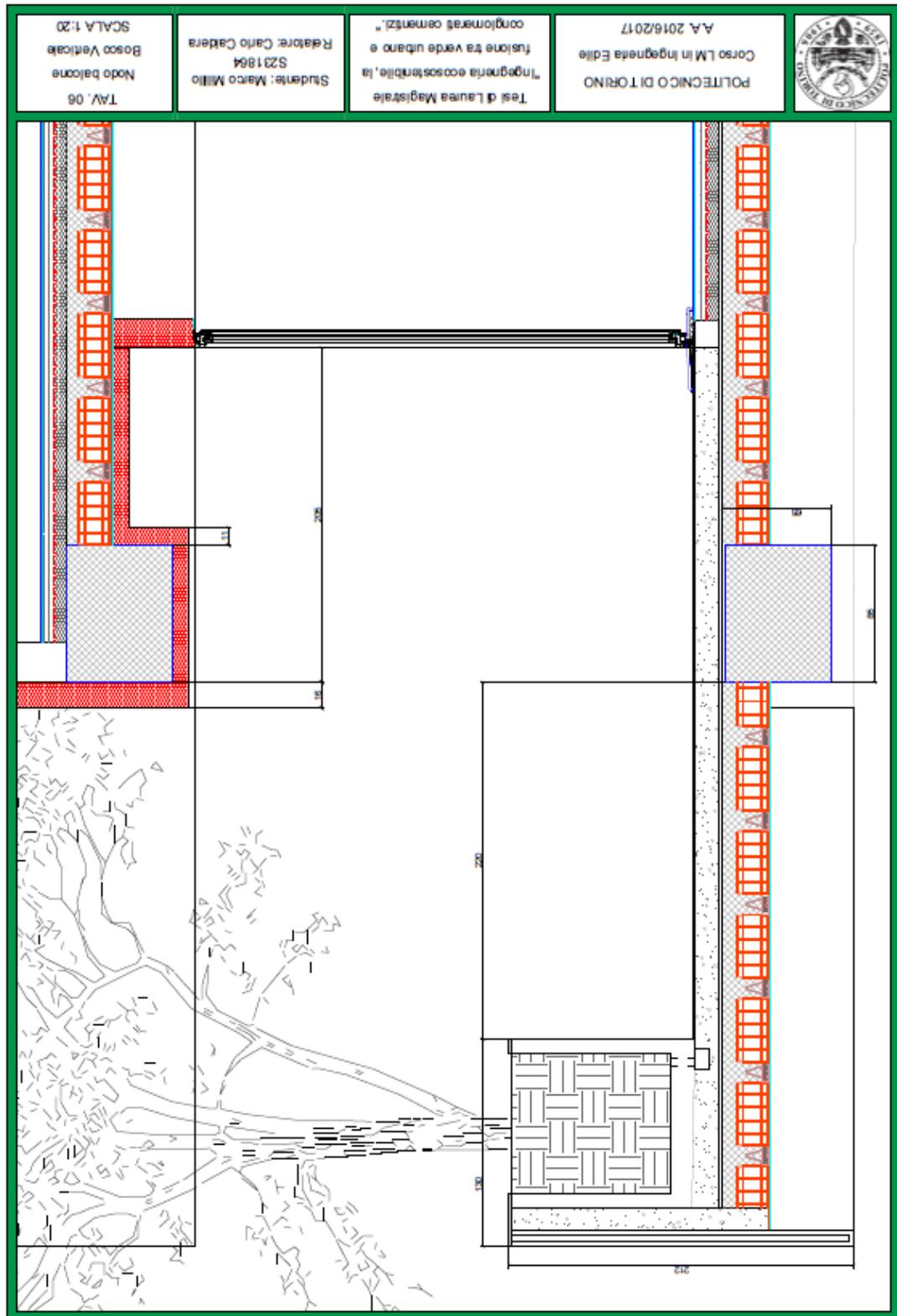
5.2.5 Dettagli costruttivi ed analisi dei nodi strutturali

È stato scelto un nodo caratteristico, comprensivo di vasca in cls per il verde, al fine di analizzare le modalità di realizzazione dell'edificio in esame, partendo da piante e sezioni dello stesso.

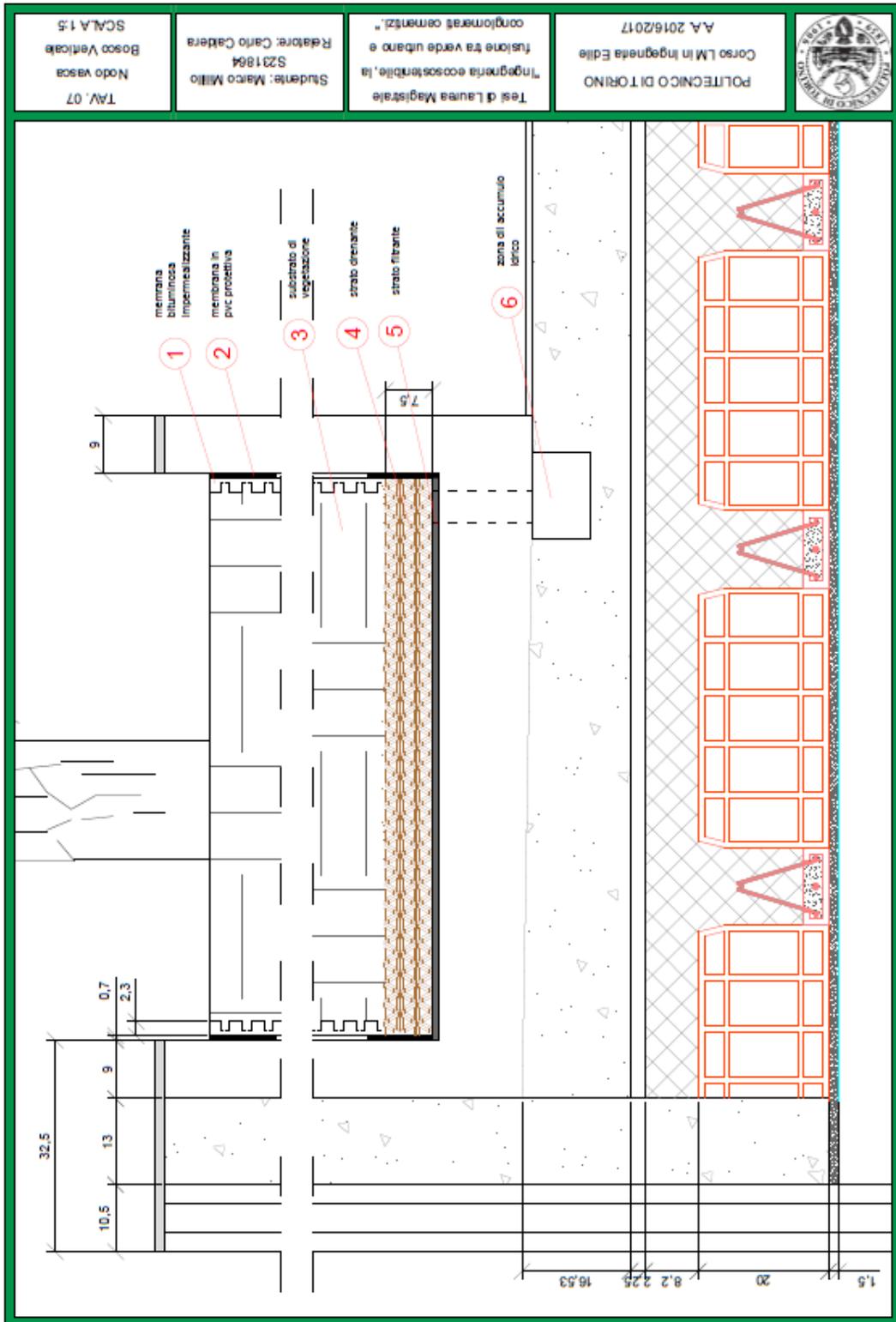
5.2.4.1 Tavola 5: pianta dei pavimenti (scala 1:200)



5.2.4.2 Nodo costruttivo (scala 1:20)



5.2.4.3 Nodo costruttivo (scala 1:5)



Conclusioni

Dopo l'analisi di queste diverse tipologie costruttive possiamo valutare qual è la soluzione migliore sia in termini di resa estetica che funzionale ed economica. Sebbene la realizzazione di 25 Verde sia molto curiosa per le sue forme, per i materiali utilizzati, per i tipi di piante ecc., è una soluzione che, se non adottata su larga scala, risulta tra virgolette poco incisiva, poiché, a differenza del Bosco Verticale, presenta un'ampia superficie in pianta e uno sviluppo in altezza limitato. Rimane un progetto perfettamente collocato in quella zona di Torino, ma se dovessimo pensare ad altri grandi centri urbani italiani o addirittura del mondo, la soluzione del bosco verticale, che si sviluppa prettamente in altezza, può essere più efficace in termini di creazione di un polmone verde, perché riesce a ridensificare di verde ma utilizzando una esigua porzione di area in pianta. L'aspetto negativo di Bosco Verticale è ovviamente l'aspetto economico poiché, essendo un grattacielo, ha costi molto più elevati, a partire dalla costruzione della struttura fino ad arrivare agli aspetti di manutenzione. Ogni operazione di manutenzione, gestione e anche installazione viene effettuata in quota quindi ha bisogno di operai specializzati, di diversi meccanismi di sicurezza salvavita e una diversa tipologia di vegetazione capace di resistere ai forti venti dei piani alti di questi edifici.

Rimane comunque di fondamentale importanza che questo tipo di nuove costruzioni e quest'idea di rinverdimento urbano prenda sempre più piede nella cultura di tutto il mondo, avendo visto da un lato i danni all'ambiente provocati dall'uomo e dall'altro i benefici che essa comporta.

Fonti delle figure

Figura 1) http://www.virtualscience.it/uomo_ambiente/images/pioggeacide2.jpg

Figura 2) http://www.giardininviaggio.it/wp-content/uploads/2014/07/Lausanne-generale-201406-0025_ridimensionare.jpg

Figura 3) http://www.greenroofs.com/projects/ntu_singapore/ntu_singapore7.jpg

Figura 4) [http://www.osservatoriodelpaesaggio.org/images/2008/Convegno%20Progettazione%20innovativa%20\(Canelli%208%2011%202008\)/Foto/Esempi%20di%20verde%20parietale%20su%20Edifici%20residenziali/slides/Verde%20parietale%20su%20Edifici%20residenziali_01.jpg](http://www.osservatoriodelpaesaggio.org/images/2008/Convegno%20Progettazione%20innovativa%20(Canelli%208%2011%202008)/Foto/Esempi%20di%20verde%20parietale%20su%20Edifici%20residenziali/slides/Verde%20parietale%20su%20Edifici%20residenziali_01.jpg)

Figura 5) <https://www.architetturaecosostenibile.it/images/stories/2014/muro-vegetale-b.jpg>

Figura 6) <https://www.architetturaecosostenibile.it/images/stories/2013/muro-vegetale-e.jpg>

Da Figura 7) a Figura 18) “Aspetti tecnologici, culturali ed economici di coperture a verde per il miglioramento della qualità ambientale delle aree produttive”, Rosato, Università di Trieste.

Figura 19) <http://www.hanna.it/wp-content/uploads/2013/06/schemaHI1000.jpg>

Figura 20) <http://www.lineeverdi.com/wp-content/uploads/2014/11/bg-25Verde-0171-e1415114031503.jpg>

Figura 21) <https://www.architetturaecosostenibile.it/images/stories/2015/25-verde-torino-h.jpg>

Figura 22) <https://www.architetturaecosostenibile.it/images/stories/2015/25-verde-torino-e.jpg>

Figura 23) <https://i.pinimg.com/736x/e1/8c/b6/e18cb6509dfc43b6724b66b6b5750f01--hollywood.jpg>

Figura 24) http://exmedia.teknoring.it/immagini/news/26456_572324.jpg

Figura 25) https://a0.muscache.com/im/pictures/4f92151d-080b-4b6d-8762-03b052bea731.jpg?aki_policy=xx_large

Figura 26) <http://www.ilnuovocantiere.it/files/2015/09/Clipboard02.jpg>

- Figura 27) https://www.domusweb.it/content/domusweb20/it/news/archive/2011/10/24/bosco-verticale-in-cantiere/_jcr_content/main_content/article_image1.img.rmedium.jpg
- Figura 28) http://www.ioarch.it/filecaricati/piccola_2012010815_05bis_IMG_6389.jpg
- Figura 29) <https://www.area-arch.it/wp-content/uploads/sites/6/2015/09/DSC-2135-francesco-de-felice.jpg>
- Figura 30) <https://www.studiolegalebordogna.it/wp-content/uploads/2016/02/bosco-verticale.jpg>
- Figura 31) <https://www.stefanoeriarchitetti.net/wp-content/uploads/ext-vue-dx-copy-721x1024-721x1024.jpg>
- Figura 32) <http://static2-living.corriereobjects.it/wp-content/uploads/2017/02/2-reduced.jpg>
- Figura 33) <http://static2-living.corriereobjects.it/wp-content/uploads/2017/02/3-reduced.jpg>
- Figura 34) https://www.architetti.com/wp-content/uploads/2017/07/webUTRECHT_SBA2017_1.jpg
- Figura 35) https://www.architetti.com/wp-content/uploads/2017/07/UTRECHT_SBA2017_07web.jpg
- Figura 36) <https://www.lifegate.it/app/uploads/UTRECHT-bosco-verticale.jpg>

Bibliografia e sitografia

www.lineeverdi.it

www.wikipedia.it

www.hanna.it

www.stefanoeriarchitetti.net

www.architetto.info

www.architectural-review.com

<https://www.lifegate.it/persone/stile-di-vita/bonus-verde-incentivi-fiscali-giardini-terrazzi>

“Aspetti tecnologici, culturali ed economici di coperture a verde per il miglioramento della qualità ambientale delle aree produttive”, Rosato, Università di Trieste.

“Il verde pensile”, Paolo Abram.

“Assoverde - prezzi informativi per opere a verde”, Associazione italiana costruttori del verde.