

INDICE

ABSTRACT.....	3
INTRODUZIONE	4
1. CARATTERIZZAZIONE DELL'INQUINAMENTO URBANO	6
1.1. INQUINAMENTO OUTDOOR	8
1.2. INQUINAMENTO INDOOR	17
2. INTERAZIONE INQUINANTI URBANI – VERDE.....	24
3. CONFRONTO TRA SISTEMI VERDI, TIPO FACCIATE VERDI. RICERCA DATI SU SISTEMI DI GESTIONE DEL VERDE, EVENTUALI PROBLEMATICHE (INSETTI, INNAFFIATURA, CRESCITA, MANUTENZIONE).....	26
3.1. CONFRONTO FRA SISTEMI VERDI.....	27
3.1.1. I MURI VEGETALI DELL'HOTEL DU	27
3.1.2. FACCIATA VERDE DEL MUSEO QUAI BRANLY	29
3.1.3. SPORTPLAZA MERCATOR.....	31
3.2. ESEMPI STRATIGRAFICI DI PARETI VEGETATE.....	34
4. ALTRE SOLUZIONI VERDI DA UN PUNTO DI VISTA ARCHITETTONICO	39
5. PROGETTO ARIA3.....	45
6. PROVE DI LABORATORIO	47
6.1. METODOLOGIA.....	48
6.1.1. PROVA DI TENUTA	48
6.1.2. PROVA MISURAZIONE ABBATTIMENTO INQUINANTI	50
6.2. DESCRIZIONE APPARATO SPERIMENTALE.....	55
6.2.1. FS e PRI.....	55
6.2.2. ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE PER SISTEMI DI COLTIVAZIONE INDOOR	57

6.2.3.	SUBSTRATO DI CRESCITA	59
6.2.4.	GENERALITÀ SUI SENSORI.....	63
6.2.5.	INDICE DI AREA FOGLIARE	68
7.	CASI STUDIO DI INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA	70
	TAVOLA_1: APPLICAZIONE PROTOTIPO SU CASI ESISTENTI	74
7.1.	APPLICAZIONE PROTOTIPO PROGETTO DI MILANO	75
	TAVOLA_2: PIANTA MONOLOCALE	79
	TAVOLA_3: PIANTA PIANO RIALZATO.....	80
	TAVOLA_4: PIANTA PRIMO PIANO	81
	TAVOLA_5: PIANTA SECONDO PIANO	82
	TAVOLA_6: PIANTA GARAGE_CANTINE.....	86
	TAVOLA_7: PIANTA LOCALE TECNICO_CANTINE_LOCALE UTENSILI GIARDINAGGIO	87
	TAVOLA_8: SEZIONE ORIZZONTALE PROTOTIPO.....	89
	TAVOLA_9: SEZIONE TRASVERSALE PROTOTIPO	90
	TAVOLA_10: SEZIONE PROSPETTICA PROTOTIPO	91
	TAVOLA_11: PARTICOLARE COSTRUTTIVO NODO PILASTRO_MURO	92
	TAVOLA_12: PARTICOLARE COSTRUTTIVO PARETE OPACA VERTICALE ESTERNA	93
8.	CONCLUSIONE.....	95
	BIBLIOGRAFIA.....	96
	INDICE DELLE FIGURE.....	100

ABSTRACT

Oggi giorno, si è continuamente alla ricerca di nuove tecnologie, in grado di supportare il progresso evitando ulteriori degradi ambientali. Quindi risulta di primaria importanza lo sviluppo di prototipi finalizzati a tale scopo.

L'obiettivo di questo studio è creare la consapevolezza comune, che non è più possibile pensare al settore dell'ingegneria/ architettura come un ambito separato dall'ambiente. È indispensabile integrare questi settori per permettere lo sviluppo di nuove tecnologie a zero impatto ambientale.

Il prototipo Aria3 è stato ideato allo scopo di limitare la produzione di energia non rinnovabile durante la ventilazione di un ambiente interno. Aria3 è, appunto, un sistema di ventilazione che sfrutta le proprietà delle piante per purificare l'aria indoor.

L'intera tesi si focalizza su Aria3, analizzando i test di laboratorio compiuti per accertarsi dell'abbassamento degli inquinanti nell'aria, una volta attivato il dispositivo, e successivamente, applicandolo a edifici già esistenti e di nuova costruzione.

I risultati ottenuti dai test, anche se non definitivi e completi, appaiono positivi, si nota un lieve calo degli inquinanti presenti nell'aria. Per quanto riguarda l'applicabilità del prototipo è favorita dalla modularità del sistema, disponibile in varie misure, e adattabile a differenti tipologie di aperture verticali.

INTRODUZIONE

Lo studio si basa su un'analisi degli inquinanti presenti nell'ambiente circostante, e di strutture che ne limitano il rilascio. Lo scopo è di trovare delle alternative ai classici impianti di depurazione dell'aria, utilizzando la capacità innata delle piante di eliminare gli elementi contaminanti attraverso il loro sistema di filtrazione naturale.

La tesi si articola in sette capitoli: nel primo capitolo è stata svolta una ricerca approfondita sulle principali cause dell'inquinamento urbano, considerando in particolare l'inquinamento outdoor e l'inquinamento indoor.

Per quanto concerne l'inquinamento outdoor, sono stati descritti gli inquinanti che potrebbero essere presenti in elevata percentuale nell'aria come: PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃, C₆H₆, SO_x, COVNM, CO, NH₃. Di questi contaminanti si sono definiti gli effetti collaterali in funzione del quantitativo nell'aria, dovuti al contatto diretto o alla loro inalazione per tempi più o meno prolungati.

Si è seguita la medesima prassi per quanto riguarda gli inquinanti indoor, quali: PM, CO, NO₂, NO_x, SO₂, VOC, che sono stati descritti e classificati in base agli effetti che procurano a contatto con l'individuo e per inalazione.

Nel secondo capitolo è stata trattata l'interazione tra gli inquinanti urbani e il verde, prendendo in esame uno studio effettuato nel 2005, nell'ambito del Progetto VIAS dove veniva quantificato l'effetto del verde urbano sulla rimozione di O₃ e PM₁₀ nella città di Roma.

Attraverso l'applicazione di modelli e analisi spaziali, è stata stimata la quantità di O₃ e PM₁₀ rimossa da tre gruppi funzionali (latifoglie sempreverdi, latifoglie decidue e conifere).

Il terzo capitolo riguarda un confronto fra sistemi verdi, sono stati analizzate più opere ideate dal ricercatore botanico francese Patrick Blanc, quali: i muri vegetali dell'hotel Du departement a Nanterre, le colonne vegetali dell'Esplanade di Bangkok e il Museo Quai Branly. Inoltre sono stati inseriti alcuni esempi stratigrafici di pareti vegetate, come il Mur Vegetal.

Nel quarto capitolo si trattano le tre principali tipologie di integrazione tra l'architettura e la vegetazione: verde verticale, coperture verdi e spazi verdi al suolo, descrivendone le caratteristiche tecniche.

Il sistema di ventilazione, Aria3, è descritto nel capitolo cinque, tale sistema è composto da un dispositivo che usa le proprietà delle piante per purificare l'aria indoor e outdoor e che contribuisce al mantenimento delle condizioni di comfort interno, limitando la produzione di energia non rinnovabile. Il prototipo è la combinazione di natura e tecnologia in un solo elemento.

Il sesto capitolo è diviso in più paragrafi, e riguarda le prove di laboratorio effettuate sul progetto Aria3, dalla prova di tenuta alle prove di abbattimento degli inquinanti, per poi passare alla descrizione dell'apparato sperimentale. Per poter testare il prototipo si sono utilizzate diverse tecnologie tra le quali particolari lampade che permettessero la fotosintesi anche in condizione di scarsa illuminazione naturale; sensori per il rilevamento di CO, CO₂, NO_x, SO₂ per poterne calcolare la concentrazione all'interno del prototipo; si è scelto un substrato adeguato a un ottimale resa della pianta e infine una volta terminate le varie prove, si è eseguito uno studio sul calcolo dell'indice di area fogliare.

Per analizzare i dati raccolti, attraverso i sensori, è stato utilizzato un sistema di acquisizione, chiamato Seneca. Grazie a questo sistema è possibile rielaborare i dati e trasmetterli al software di interfaccia adoperato.

Nel settimo capitolo sono stati identificati 4 casi studio, allo scopo di valutare l'applicabilità del prototipo, su differenti tipologie di aperture verticali. Il risultato è stato ottimale in quanto il prototipo risulta adattabile, grazie alla sua struttura modulare. Inoltre è stata considerata l'area di applicazione da un punto di vista architettonico, descrivendo in linee di massima la corrente stilistica dalla quale derivano i palazzi situati nei quartieri di Torino.

L'ultimo capitolo, l'ottavo, descrive il progetto residenziale sul quale è stato applicato il prototipo di Aria3, e come è stato possibile adattare, quest'ultimo, agli infissi presenti. Inoltre attraverso gli allegati si mostra nel dettaglio, in scala 1:5, come il prototipo potrebbe inserirsi in un sistema a cappotto esterno.

1. CARATTERIZZAZIONE DELL'INQUINAMENTO URBANO

Le attuali conoscenze degli effetti sanitari associati all'inquinamento atmosferico da polveri aerodisperse, risalgono approssimativamente alla metà del XX secolo. La "nebbia assassina" nella piccola città di Donora, Pennsylvania, e la particolare violenza dello "smog" di Londra nel 1952, durante il quale morirono circa 4000 persone, furono attribuite all'utilizzo diffuso di combustibili sporchi e costituirono lo stimolo per indurre i governi ad adottare misure contro l'inquinamento atmosferico dell'aria urbana.

Da allora molti paesi hanno adottato standard di qualità dell'aria mirati alla protezione della salute umana e ambientale, ma, malgrado i sostanziali investimenti per il controllo dell'inquinamento, la qualità dell'aria nelle aree urbane dei paesi industrializzati resta ancora preoccupante.

Nello stesso tempo, nelle nazioni in via di sviluppo la situazione è peggiorata a causa della crescita della popolazione, dell'industrializzazione, e dell'incremento nell'uso di veicoli.

La maggior parte degli abitanti di città europee sono esposti a concentrazioni di inquinanti atmosferici superiori alle linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità. I limiti di legge per l'inquinamento atmosferico, sono stati spesso violati dai Paesi europei soprattutto per quanto riguarda biossido di azoto (NO₂) e particolato (PM₁₀).

Una dichiarazione dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro ha classificato l'inquinamento atmosferico come cancerogeno, oltretutto l'inquinamento atmosferico ha un costo economico elevato per la società in termini di spese sanitarie e danni ambientali.[1]

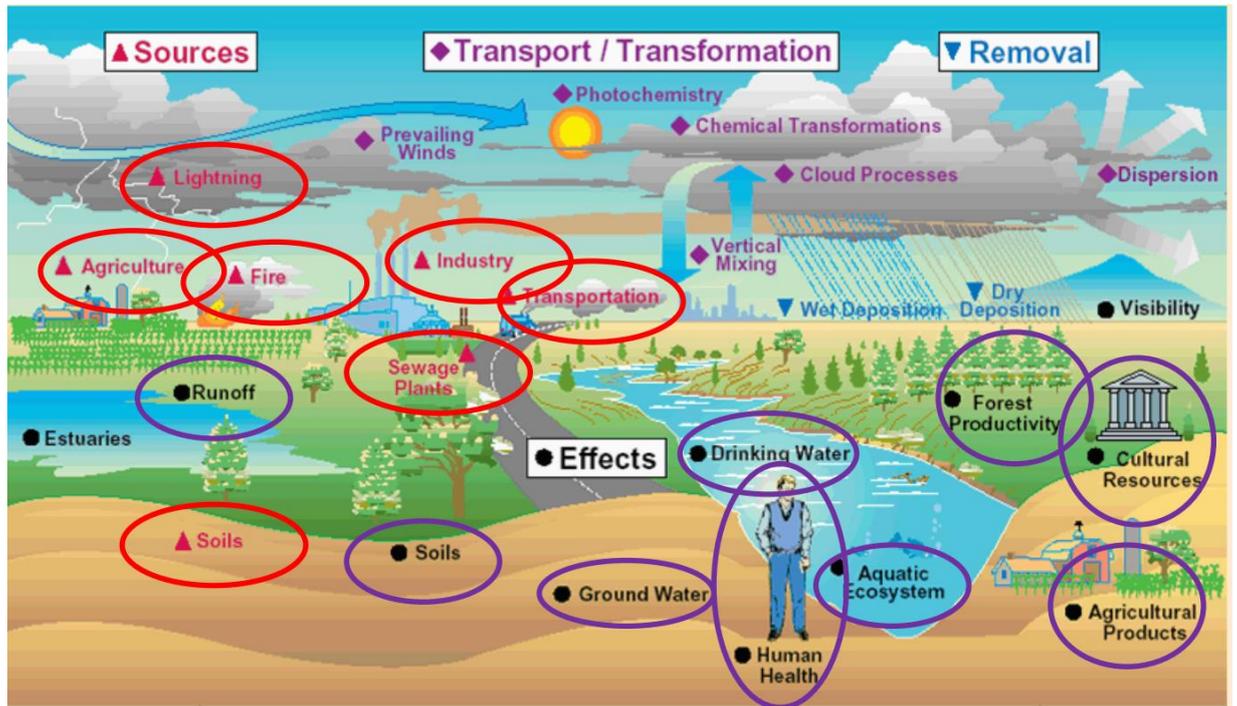


FIGURA 1_ LE SORGENTI DEI DIVERSI INQUINANTI ED I PRINCIPALI ECOSISTEMI DOVE SONO PRESENTI GLI EFFETTI. (FONTE: [1])

1.1. INQUINAMENTO OUTDOOR

Considerando l'intero territorio nazionale, il settore energetico è la principale fonte di emissioni in Italia con una quota di oltre l'80%, anche perché il settore comprende i trasporti stradali e il riscaldamento.

Il settore dei processi industriali è una fonte di emissioni, dovute principalmente alla produzione di ferro e acciaio, di cemento per le emissioni di SO_x e particolato, l'uso di solventi risulta la fonte principale delle emissioni di COVNM (composti organici volatili non metanici).

Nel settore agricolo la principale fonte di emissioni è dovuta al NH₃, con una quota del 95% del totale nazionale.

Infine il settore dei rifiuti, in particolare l'incenerimento di rifiuti, è una fonte importante per alcuni inquinanti organici persistenti.

Passando dal livello nazionale a quello di area urbana la situazione cambia, il settore dei processi industriali assume meno importanza, mentre le emissioni sono dovute in gran parte ai trasporti su strada e al riscaldamento, nel caso di COVNM e NH₃ le principali fonti di emissione restano l'uso dei solventi e l'agricoltura.

Si deve fare una premessa, che le particelle aerodisperse primarie, comprendono particelle emesse direttamente nell'atmosfera, mentre le secondarie consistono in particelle prodotte dai processi di conversione che partono dai gas.

- Il PM10 (particolato aerodisperso) è l'insieme delle particelle aerodisperse di diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 µm, può avere sia origine naturale sia antropica: tra le sorgenti antropiche un importante ruolo è rappresentato dal traffico veicolare. L'aspetto più preoccupante di questo inquinante è il suo impatto sulla salute umana.

Vari studi epidemiologici hanno evidenziato associazioni tra le concentrazioni in massa del PM10 e un incremento sia di mortalità che di ricoveri ospedalieri per malattie cardiache e respiratorie nella popolazione generale.

I soggetti ritenuti maggiormente esposti a tali effetti sono, in particolare, gli anziani, i bambini e le persone con malattie cardiopolmonari croniche, influenza o asma; su di essi si concentrano incrementi di mortalità e seri effetti patologici a seguito di esposizioni acute a breve termine.

Ulteriori evidenze sono emerse considerando gli effetti sanitari a lungo termine conseguenti all'esposizione a basse concentrazioni di PM10. Tali effetti riguardano la mortalità ed altre patologie croniche come la bronchite e la riduzione della funzione polmonare. Anche l'incremento di tumore polmonare è stato associato recentemente all'inquinamento ambientale, ed in particolare alla frazione fine dell'aerosol.

La maggior parte del PM10 primario emesso nelle città deriva da fonti distribuite sul territorio e dipendenti da un lato dalla pianificazione urbana e dall'altro dalle abitudini dei cittadini, in media è pari a circa il 43% delle emissioni stimate per il campione di città considerate.

Le emissioni da riscaldamento sono tra le principali e si concentrano prevalentemente nel periodo invernale.

Considerando 73 città, nel tempo le emissioni di PM10 risultano in diminuzione, tranne nell'ambito del riscaldamento a causa del crescente consumo di biomassa legnosa. Nell'insieme si stima che le emissioni dal settore industriale e dai trasporti su strada si siano ridotte del 63% e del 50% rispettivamente, mentre quelle da riscaldamento siano aumentate del 47% tra il 2000 e il 2012 risultando in una riduzione complessiva del 37%.[2]

- Il PM2.5 (particolato aerodisperso fine) si tratta dell'insieme delle particelle aerodisperse aventi diametro aerodinamico inferiore o uguale a 2,5 µm. Date le ridotte dimensioni esse, una volta inalate, penetrano in profondità nel sistema respiratorio umano e, superando la barriera tracheo-bronchiale, raggiungono la zona alveolare, infatti il particolato fine è stato inserito tra i cancerogeni di gruppo 1 (agenti sicuramente cancerogeni per l'uomo).

- Il Biossido di azoto (NO₂) è un gas di colore bruno-rossastro, poco solubile in acqua, tossico, dall'odore forte e pungente e con forte potere irritante. È un inquinante a prevalente componente secondaria, in quanto è il prodotto dell'ossidazione del monossido di azoto (NO) in atmosfera; solo in piccola parte è emesso direttamente da fonti antropiche (combustioni nel settore dei trasporti, negli impianti industriali, negli impianti di produzione di energia elettrica, di riscaldamento civile e di incenerimento dei rifiuti) o naturali (suoli, vulcani e fenomeni temporaleschi).
Il biossido di azoto è un inquinante ad ampia diffusione che ha effetti negativi sulla salute umana e insieme al monossido di azoto contribuisce ai fenomeni di smog fotochimico (è precursore per la formazione di inquinanti secondari come ozono troposferico e particolato fine secondario), di eutrofizzazione e delle piogge acide.

- L'Ozono O₃ è considerato un gas serra, ma diversamente da altri gas serra che trattengono l'energia proveniente dalla superficie terrestre, l'ozono assorbe e trattiene parte dell'energia proveniente direttamente dal Sole.[3]

L'ozono oltre ad essere presente negli strati alti dell'atmosfera è presente in piccola parte anche negli strati più bassi dell'atmosfera. Quest'ultimo viene chiamato ozono troposferico ed è un inquinante secondario che si forma attraverso processi fotochimici in presenza di inquinanti primari quali gli ossidi d'azoto (NO_x) e i composti organici volatili (COV).

È il principale rappresentante della complessa miscela di sostanze denominata "smog fotochimico"[4]. Le concentrazioni di ozono più elevate si registrano nei mesi più caldi dell'anno e nelle ore di massimo irraggiamento solare.

Le principali fonti di emissione dei composti precursori dell'ozono sono: il trasporto su strada, il riscaldamento civile e la produzione di energia. L'O₃ è un irritante delle mucose, a causa del suo alto potere ossidante.

Dopo il PM, l'ozono è l'inquinante atmosferico che, per tossicità e per diffusione, incide maggiormente sulla salute umana. Può causare seri problemi anche all'ecosistema, all'agricoltura e ai beni materiali.

Oltre all'ozono troposferico esiste anche l'ozono reattivo che viene impiegato come fertilizzante dei campi e per sintetizzare biocombustibili. Questi utilizzi sono

estremamente dannosi infatti dai tubi di scappamento, dalle industrie e attraverso le coltivazioni si diffonde nell'ambiente. [5]

- Il Benzene (C₆H₆) fa parte della classe dei composti organici volatili, per la relativa facilità di passare in fase vapore, a temperatura e pressione ambiente.

Le principali sorgenti di emissione sono i veicoli alimentati a benzina (gas di scarico, vapori di automobili e ciclomotori), gli impianti di stoccaggio e distribuzione dei combustibili, i processi di combustione che utilizzano derivati dal petrolio e l'uso di solventi contenenti benzene.

Le politiche adottate nel corso dei decenni passati, hanno avuto grande successo nell'abbattere le emissioni di benzene ed anche i suoi livelli nell'ambiente. Le azioni fondamentali realizzate in particolare per la riduzione del benzene, sono state l'introduzione della catalizzazione del parco auto e la riduzione del contenuto di benzene nei carburanti.

La tossicità del benzene per la salute umana risiede essenzialmente nell'effetto oncogeno. In conseguenza di una esposizione prolungata nel tempo sono stati accertati effetti avversi gravi quali ematossicità, genotossicità e cancerogenicità.

Le emissioni di Benzene (C₆H₆) nelle città considerate, derivano in primo luogo dal trasporto su strada, seguito dall'industria e dal settore dell'uso dei solventi. Le stime realizzate, con riferimento all'anno 2012, indicano che, in 65 città delle 73 analizzate, le emissioni di benzene dai trasporti su strada sono superiori al 50% mentre, considerando le città tutte insieme, la quota di emissioni legate al trasporto su gomma risulta pari al 47% del totale contro il 31% dell'industria e il 19% dell'uso di solventi.

Le emissioni di benzene dalle 73 città risultano nel 2012 pari al 32% del totale delle emissioni nazionali.

Le emissioni nazionali totali di benzene presentano dal 2000 al 2012 una diminuzione pari all'70%. Il settore che fornisce il maggiore contributo alle emissioni di questo inquinante è il trasporto stradale, seguito dal settore dell'uso di solventi (21%), dai processi produttivi (18%) e dalle altre sorgenti mobili (15%).

L'analisi della serie storica delle emissioni nazionali di benzene derivanti dal trasporto stradale, evidenzia una forte riduzione dal 2000 al 2012, pari all'82%, principalmente imputabile ai veicoli a benzina, dai quali derivano prevalentemente le emissioni.

Nel 2012 dalle automobili a benzina e dai ciclomotori derivano rispettivamente il 50% e il 17% delle emissioni totali su strada; le emissioni da queste categorie di veicoli diminuiscono rispetto al 2000 rispettivamente dell'88% e del 75%.

Le emissioni evaporative, per le quali si osserva a partire dal 2000 una riduzione del 56%, nel 2012 rappresentano il 9% del totale dai trasporti stradali.

- Le emissioni nazionali in atmosfera di ossidi di zolfo (SO_x) sono significativamente in calo negli ultimi anni come accade nella maggior parte dei Paesi europei.

Provengono principalmente da fonti di origine industriale e questo risulta evidente anche per quanto riguarda le aree urbane: in 41 delle 73 città prese in considerazione il settore industriale risulta responsabile di più della metà delle emissioni di tale inquinante.

Il secondo settore emissivo potrebbe sembrare quello del riscaldamento poiché vede in 18 città un contributo superiore al 50%.

In alcuni casi, invece, può assumere una certa rilevanza il contributo proveniente dalle attività portuali. Per quanto riguarda il trend delle emissioni di SO_x gli interventi strutturali volti alla sostituzione di combustibili a basso tenore di zolfo, hanno condotto a riduzioni molto forti nelle emissioni: considerando l'insieme delle 73 città oggetto di studio, le emissioni di ossidi di zolfo hanno subito una decrescita del 77% a partire dall'anno 2000.

Potremmo dire che le emissioni di SO_x dalle 73 città risultano nel 2012 pari al 26% delle emissioni nazionali totali. L'andamento generalmente decrescente è dovuto principalmente alla forte introduzione del gas naturale sul territorio nazionale in sostituzione di combustibili come carbone e olio, all'adozione di misure volte al miglioramento dei processi di combustione nella produzione energetica e di tecniche di abbattimento dei fumi.[2]

- Le emissioni di Composti Organici Volatili Non Metanici (COVNM) diminuiscono del 43% rispetto al 2000; esse derivano soprattutto dall'uso dei solventi (44% del totale nel 2012), dai trasporti stradali (20% nel 2012) e dalla combustione non industriale (vale a dire il riscaldamento, pari al 14% nel 2012).

Le emissioni originate dal trasporto stradale sono fortemente diminuite (-73% rispetto al 2000) esse derivano prevalentemente dai veicoli alimentati a benzina (88% sul totale nel 2012), mentre dai veicoli diesel deriva una quota minoritaria, pari al 10% delle emissioni totali su strada.

L'uso fatto nella verniciatura, sia delle automobili che nell'edilizia nonché l'uso che se ne fa in ambito domestico; l'utilizzo di solventi nel campo dello sgrassaggio dei metalli come nella pulitura a secco; alcune attività produttive come nel caso di prodotti farmaceutici, vernici e inchiostri; altre attività come l'applicazione di colle e adesivi o la conservazione del legno. L'estrema varietà di sorgenti e la distribuzione diffusa sul territorio rende molto complesse le stime delle emissioni relative a questa famiglia di composti.

Oltre al settore dell'uso dei solventi (in 38 città superiore al 50%; pari al 51% delle emissioni di COVNM emesse dall'insieme delle 73 città), le emissioni di COVNM provengono in maniera significativa dai trasporti stradali, sia per processi evaporativi che durante la combustione con il 27% delle emissioni stimate nelle 73 città.

La stima delle emissioni evaporative prevede la distinzione tra: perdite diurne, dovute alle variazioni di temperatura; perdite in movimento, durante l'uso dei veicoli e perdite a caldo durante la sosta, successive all'uso dei veicoli.

Le emissioni di COVNM dalle 73 città risultano nel 2012 pari al 25% delle emissioni nazionali di Composti Organici Volatili Non Metanici.

- Le emissioni di Monossido di carbonio (CO) dalle 73 città risultano nel 2012 pari al 30% delle emissioni nazionali di monossido di carbonio.

Derivano in primo luogo dai trasporti stradali, seguiti da industria e riscaldamento.

Le stime realizzate, con riferimento all'anno 2012, indicano che, in 30 città delle 73 analizzate, le emissioni di monossido di carbonio da trasporti stradali sono superiori

al 50% mentre, considerando le città tutte insieme, la quota di emissioni legate al trasporto su strada risulta pari al 36% del totale contro il 35% dell'industria e il 26% del riscaldamento.

La decrescita (-70% rispetto al 1990 e -55% rispetto al 2000) è dovuta principalmente al trend osservato per il settore dei trasporti (incluso trasporti su strada, ferroviari, marittimi e aerei) che mostra una riduzione di circa il 77%.

D'altra parte, le emissioni da riscaldamento, che rappresentano il 40% del totale, sono aumentate notevolmente (circa il 67% rispetto al 2000) a causa dell'aumento dell'uso della legna come combustibile.

Anche i settori della gestione dei rifiuti e dell'agricoltura presentano dei trend crescenti ma contano solo per il 2% e l'1% del totale nazionale nel 2012. Le emissioni nazionali di monossido di carbonio provenienti dal trasporto su strada diminuiscono dal 2000 al 2012 del 72%, in modo più marcato in ambito urbano ed extraurbano che autostradale.

I veicoli alimentati a benzina forniscono il contributo maggiore al totale delle emissioni di monossido di carbonio derivante dal trasporto su strada, pari all'80%, mentre dai veicoli alimentati a gasolio, gpl e gas naturale originano rispettivamente il 14%, 5% ed 1% delle emissioni totali su strada.

- Le emissioni di Ammoniaca (NH₃) nelle città considerate derivano in primo luogo dall'agricoltura, seguita dalla gestione dei rifiuti e dai trasporti su strada. Le stime realizzate, con riferimento all'anno 2012, indicano che, in 56 città delle 73 analizzate, le emissioni di ammoniaca dal settore agricolo sono superiori al 50% mentre, considerando le città tutte insieme, la quota di emissioni legate al settore agricolo risulta pari al 77% del totale contro l'11% dei rifiuti e il 9% del trasporto su strada.

Le emissioni di ammoniaca dalle 73 città risultano nel 2012 pari al 6% delle emissioni nazionali a conferma del fatto che la maggior parte delle emissioni proviene dall'agricoltura.

Le emissioni nazionali di ammoniaca mostrano un leggero decremento nel periodo 2000-2012.

Nel 2012, l'agricoltura è la sorgente principale delle emissioni con il 95% del totale; dal 2000 al 2012 le emissioni da questo settore mostrano una decrescita pari a circa il 7%.

Le emissioni dai trasporti su strada mostrano un forte incremento ma lo share rispetto al totale nazionale è pari solo al 2% come nel caso delle emissioni dal trattamento rifiuti che decrescono del 3%.

Le emissioni dalla combustione per la produzione di energia e dal riscaldamento mostrano delle crescite rilevanti ma danno un contributo marginale al totale delle emissioni.

In definitiva, le emissioni di ammoniaca dall'agricoltura decrescono a causa della riduzione del numero dei capi, del trend della produzione agricola e grazie all'introduzione di tecnologie di abbattimento dovute all'implementazione della direttiva IPPC.

La Banca Mondiale ha stimato che l'esposizione a livelli di particelle aerodisperse superiori ai limiti indicati dalla World Health Organization (WHO) è responsabile di circa il 2-5% di tutte le morti nelle aree urbane dei paesi in via di sviluppo.[6]

Tale preoccupante impatto sanitario riguarda anche paesi più sviluppati, come ad esempio Austria, Francia e Svizzera, per i quali è stato stimato che l'inquinamento ambientale da particelle aerodisperse, misurate in termini di PM₁₀, è responsabile del 6% della mortalità totale, di cui circa la metà viene attribuito al traffico veicolare.[7]

I potenziali impatti sulla salute derivanti dall'inquinamento atmosferico dipendono da diversi fattori quali la tipologia e la miscela degli inquinanti presenti, la loro concentrazione, il tempo di esposizione e le dimensioni delle particelle che ne influenzano la capacità di penetrazione nell'apparato respiratorio e dalla vulnerabilità individuale (età, stato di salute, ecc.).

I bambini sono più vulnerabili agli impatti dell'inquinamento atmosferico per diversi motivi dovuti anche all'incompleto sviluppo di organi e apparati come per esempio il sistema immunitario (minore efficacia delle difese naturali) e dell'apparato respiratorio.

Effetti a breve termine: gli effetti acuti comprendono sintomi respiratori quali tosse e respiro sibilante, infezioni delle vie respiratorie, aumento in bambini asmatici dei sintomi, dei ricoveri e dell'uso di farmaci, aumento delle allergie respiratorie.

Gli agenti inquinanti interagiscono con gli allergeni trasportati dai granuli pollinici e possono incrementare il rischio di sensibilizzazione atopica e i sintomi nei soggetti allergici. Inoltre il danno della mucosa e l'indebolimento della clearance muco-ciliare indotto dall'inquinamento atmosferico può facilitare l'ingresso degli allergeni negli alveoli polmonari scatenando la risposta infiammatoria. In Italia, si stima che circa il 15-20% della popolazione soffra di allergie, e negli ultimi anni l'incidenza, in particolare di asma e riniti allergiche, è aumentata del 38%.

Numerosi studi epidemiologici hanno evidenziato gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla prevalenza dell'asma o sull'esacerbazione dei sintomi respiratori acuti e cronici. Lo studio MISA-1 (Biggeri et al., 2001), condotto nelle otto maggiori città italiane, ha stimato che, in bambini di età compresa fra gli 0 e i 15 anni, ogni anno 31.500 casi di bronchite e 29.730 crisi di asma, sono attribuibili a elevate concentrazioni di polveri sottili.

Lo studio italiano SIDRIA-2 (Ciccone et al., 2000; Galassi et al., 2005), parte di un più ampio progetto denominato ISAAC (International Study on Asthma and Allergy in Children, 1998), condotto a metà degli anni '90 in alcune aree metropolitane del Centro-Nord Italia, mostra un incremento dei sintomi respiratori in bambini le cui abitazioni erano adiacenti a strade dove era rilevante il traffico pesante e quindi maggiori le concentrazioni di polveri sottili.

[2]

Elevate concentrazioni di PM10 sono associati a un incremento del rischio di mortalità infantile (4%) nei neonati fino a 1 anno di età.

Effetti a lungo termine: vi sono numerose evidenze degli effetti negativi dell'inquinamento atmosferico sulla funzionalità polmonare.

Uno studio su un campione di circa 3.000 bambini residenti in California con un follow-up di 8 anni ha mostrato che i bambini residenti entro 500 metri dalle autostrade hanno una maturazione della funzionalità polmonare inferiore rispetto ai bambini residenti a distanze maggiori di 1.500 metri (Gauderman, et al., 2007).

Lo studio ESCAPE ha confermato che l'esposizione a inquinanti atmosferici era associata a una lieve riduzione della funzione respiratoria nei bambini di età scolare e che l'associazione era più consistente per il PM10 contenente nickel.

L'esposizione a inquinamento atmosferico (nello specifico PM2,5) da traffico veicolare durante la gravidanza, è associata a un incremento del rischio di basso peso alla nascita e di nascita pretermine (Pedersen, 2013). Il basso peso alla nascita è un importante indice di salute e determinante di mortalità neonatale e postnatale.

L'esposizione ad inquinamento atmosferico soprattutto a NO₂ durante la gravidanza è associata ad un ritardo nello sviluppo cognitivo nell'infanzia.[8]

1.2. INQUINAMENTO INDOOR

La popolazione trascorre gran parte del proprio tempo in ambienti chiusi (indoor). Le diverse abitudini e attività degli occupanti, la ventilazione, la penetrazione di inquinanti dall'aria esterna, oltre che la presenza di fonti interne di contaminanti, sono tutti fattori che possono influire sulla qualità dell'ambiente indoor.

Le principali fonti interne di inquinamento sono rappresentate da: occupanti (uomo, animali), polvere, strutture, materiali edili, arredi, impianti (condizionatori, umidificatori, impianti idraulici) e aria esterna.[9]

È stato proposto un set di indicatori proxy, basati su informazioni di tipo socio-economico e sanitario, che possono essere di indirizzo rispetto al rischio di insorgenza di problemi relativi a una cattiva qualità dell'aria indoor.

Dal punto di vista del particolato atmosferico (PM), lo studio della qualità dell'aria negli ambienti confinati presenta notevoli problemi di natura interpretativa perché la concentrazione e composizione chimica del particolato atmosferico indoor dipende sia dall'infiltrazione delle particelle generate outdoor che, e soprattutto, dalla presenza di sorgenti tipicamente interne.

Una valida strategia per lo studio della composizione chimica del PM negli ambienti domestici prevede l'effettuazione di campionamenti in parallelo, indoor ed outdoor, in due o più abitazioni simultaneamente, e la successiva analisi chimica di tutti i macro-componenti.

Una particolare fonte di inquinamento indoor può essere costituita dall'uso di incensi e candele in ambienti chiusi. In un ambiente dove vengono bruciati incensi o candele vengono rilasciate nell'aria sostanze odorose piacevoli che possono essere veri e propri inquinanti chimici.

Il processo di combustione produce fumi e vapori che contengono diversi contaminanti ambientali. Si tratta di materiale particolato (PM, Particulate Matter); composti gassosi quali: monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO₂) ossidi di azoto (NO_x), biossido di zolfo (SO₂); composti organici volatili (Volatile Organic Compounds, VOC) come benzene, toluene e xileni; aldeidi (soprattutto formaldeide); idrocarburi policiclici aromatici. In aggiunta gli stoppini possono contenere metalli, in particolare piombo.

Tra le fonti di inquinamento indoor troviamo anche i materiali utilizzati per la costruzione e l'arredamento.

Il problema delle emissioni perdura durante tutto il ciclo di vita utile dell'edificio.

Subito dopo il completamento dell'edificio vi è il rischio di grandi quantità di COV dai materiali sintetici nuovi. Tale rischio diminuisce con il passare dei mesi, ma contemporaneamente inizia il degrado fisiologico dell'edificio e quindi il rilascio di altre sostanze pericolose, come l'amianto (ancora presente in ambito residenziale anche se proibito).

Potenziali fonti indoor di inquinamento sono i prodotti per la pulizia e la manutenzione della casa, i prodotti antiparassitari e l'uso di colle, adesivi, solventi etc. Inoltre possono determinare una emissione importante di sostanze inquinanti l'utilizzo di strumenti di lavoro quali stampanti, plotter e fotocopiatrici e prodotti per l'hobbistica (es. colle).[10]

Altrettanto inquinante è la cottura dei cibi e il fumo di sigaretta, è importante sottolineare che in tutti questi casi la concentrazione degli inquinanti dipende da diversi fattori e condizioni come la ventilazione, il volume dell'ambiente chiuso, l'adsorbimento sulle

superfici, le emissioni da altre fonti, incluso il contributo proveniente dall'esterno, nonché dalla tipologia dell'incenso e/o candela.

In generale un'opportuna ventilazione permette un rapido processo di eliminazione degli inquinanti e come buona prassi, quindi, è consigliabile ridurre il tempo di esposizione ai fumi di combustione e ventilare adeguatamente gli ambienti chiusi.

La problematica della qualità dell'aria negli ambienti confinati (abitazioni, scuole, luoghi di lavoro o di svago) è inclusa tra le principali problematiche ambientali a causa dell'alta percentuale di tempo che molti di noi trascorrono in tali luoghi.

Il Radon è un gas naturale radioattivo prodotto dal decadimento dell'uranio, le principali sorgenti di radon sono i suoli, i materiali da costruzione e l'acqua. In atmosfera si disperde rapidamente, ma negli ambienti confinati si accumula e può raggiungere concentrazioni tali da rappresentare una fonte di rischio rilevante per la salute degli occupanti.

In Italia si stima che degli oltre 30.000 casi annui di tumore polmonare, circa 3.000 siano attribuibili al radon. La concentrazione di radon indoor è caratterizzata da una forte variabilità spaziale, principalmente connessa alla geologia del territorio, anche a livello di medie comunali, provinciali e regionali si riscontra una notevole variabilità sul territorio italiano.

Pertanto, nonostante le concentrazioni medie di radon calcolate nelle aree urbane forniscano utili indicazioni, per valutare il rischio associato all'esposizione al radon in una particolare abitazione è necessario effettuare una misura diretta.

Tra i principali inquinanti chimici degli ambienti interni ritroviamo la Formaldeide che appartiene alla categoria dei Composti Organici Volatili, è un'aldeide irritante e sospetta di cancerogenità sia per l'essere umano che per gli animali.

A temperatura ambiente è un gas incolore, con odore pungente, nell'ambiente interno deriva da resine e dal fumo di tabacco. Irrita gli occhi e le vie respiratorie, può indurre nausea ed è un possibile agente allergogeno determinante asma.[11]

EFFETTI	FORMALDEIDE (mg/m ³)
Soglia per la percezione degli odori	0,06 - 1,2
Soglia per l'irritazione degli occhi	0,01 - 1,9
Soglia per l'irritazione della gola	0,1 - 3,1
Sensazione pungente agli occhi ed al naso	2,5 - 3,7
Tollerabilità per la lacrimazione	5 - 6,2
Lacrimazione forte che perdura per ore	12,0 - 25
Pericolo di morte, edema infiammazioni, polmoniti	37 - 60
Morte	60 - 125

FIGURA 2_ EFFETTI DELLA FORMALDEIDE SULL'ORGANISMO UMANO DOPO BREVE ESPOSIZIONE. (FONTE: [11])

Fino ad ora non si sono trovate particolari patologie legate ad un incremento della normale concentrazione di CO₂, quindi la sua concentrazione si usa per valutare il livello di funzionamento degli impianti di ventilazione. L'anidride carbonica (CO₂) è il principale gas metabolico prodotto dall'uomo, viene quindi utilizzata come indicatore della qualità dell'aria in ambiente indoor.

Per quel che riguarda il Monossido di carbonio (CO) è l'inquinante più pericoloso degli ambienti interni, in quanto in base alla concentrazione presente comporta intossicazioni più o meno acute.

L'intossicazione può manifestarsi sotto forma di riduzione dell'attenzione e delle capacità lavorative, crisi cardiache, perdita dei sensi e morte per asfissia.

Il Diossido di azoto (NO₂) è generato dal fumo di sigaretta e dalla combustione di gas naturale e di kerosene. Varie ricerche hanno dimostrato che l'NO₂ diminuisce la funzionalità respiratoria nei bambini e, interagendo con altri gas, produce effetti immunodepressivi e modificazioni dell'anatomia del polmone. Esposizioni prolungate determinano risposte infiammatorie nei tessuti polmonari, mentre alte concentrazioni sono causa di edema polmonare mortale.

Altro inquinante è senz'altro il fumo di legna nel caso di caminetti e stufe che presentano un cattivo funzionamento. Il fumo di tabacco non è da meno, che libera nell'aria CO, benzene, NH₃, idrocarburi, più una frazione solida costituita da catrame.

Differenti studi hanno dimostrato che il fumo attivo aumenta la possibilità dell'insorgenza di carcinoma polmonare e l'aumento del rischio di malattie cardiovascolari.

Gli studi epidemiologici anche nel caso di fumo passivo, trovano una forte correlazione tra la sua esposizione con la comparsa di tumore polmonare. Nel 1996 si sapeva, ormai con certezza, che gli effetti sui soggetti non fumatori sottoposti a fumo passivo potessero essere: carcinoma polmonare; aumentata possibilità di altri tipi di tumore; aumento del rischio di malattie cardiovascolari. Il fumo passivo fu dichiarato esplicitamente solo nel 2002, quando venne definito come "Cancerogeno di Gruppo I", cioè sostanza cancerogena per l'essere umano.

ADULTI	BAMBINI
Carcinoma polmonare nei soggetti non fumatori sottoposti indebitamente a fumo passivo ed aumentata possibilità di altre tipologie di tumore.	Esposizione delle donne gestanti a rischi per il nascituro.
	Incremento della frequenza di sintomi respiratori cronici.
Peggioramento delle patologie polmonari a carattere cronico/irritativo nei soggetti sensibili (cronici ed asmatici), in particolare sofferenti di broncopneumopatie su base allergica.	Aumentata incidenza di fenomeni infettivi acuti.
	Iperattività bronchiale con maggiore rischio di sviluppare patologia asmatica.
Decremento della funzione respiratoria ventilatoria nei soggetti sani esposti al fumo di tabacco.	Ridotto sviluppo della funzione respiratoria ventilatoria.
	Malattia più severa e fenomeni broncoreattivi nei soggetti asmatici.

FIGURA 3_RISCHI COLLEGATI AL FUMO PASSIVO PER NON FUMATORI INDEBITAMENTE ESPOSTI E PER I FIGLI DI NON-FUMATORI INDEBITAMENTE ESPOSTI. (FONTE: [11])

Gli impianti di condizionamento possono rappresentare pericolose fonti di inquinamento biologico o chimico specie se mal progettati, in cattivo stato di pulizia e manutenzione.

Colonie di microrganismi possono annidarsi e moltiplicarsi negli impianti in cui vi è presenza di acqua, per lo più stagnante, come: umidificatori e condizionatori di aria, vaporizzatori, sistemi di riscaldamento, frigoriferi autosbrinatori, impianti idrici.

Inoltre una errata collocazione delle prese d'aria in prossimità di aree ad elevato inquinamento, come strade molto trafficate, parcheggi o autofficine, possono determinare la penetrazione di inquinanti dall'esterno.

FONTI	INQUINANTI
Processi di combustione a gas o carbone per riscaldare e/o cucinare, camini e stufe a legna, gas di scarico veicoli	Prodotti di combustione (CO, NO _x , SO ₂ , particolato)
Materiali da costruzione e isolanti	amianto, fibre vetrose artificiali, Particolato, Radon; Agenti biologici (per presenza di umidità e/o polvere)
Materiali di rivestimento e moquette	formaldeide, acrilati, COV e Agenti biologici (per presenza di umidità e/o polvere)
Arredi	formaldeide, COV e Agenti biologici (per presenza di umidità e/o polvere)
Liquidi e prodotti per la pulizia	alcoli, fenoli, COV
Fotocopiatrici	ozono (O ₃), polvere di toner, idrocarburi volatili (COV)
Fumo di sigaretta	idrocarburi policiclici, COV formaldeide, CO, particolato fine
Impianti di condizionamento	CO ₂ e COV (per scarso numero di ricambi orari o eccesso di riciclo); Agenti biologici (per mancanza di pulizia/manutenzione)
Polvere	Agenti biologici (allergeni indoor: acari)
Individui	CO ₂ e Agenti biologici (batteri, virus ecc.)
Animali	Allergeni indoor (peli ecc)
Sorgenti naturali (lave, tufi, graniti, ecc.)	Radon

FIGURA 4_ PRINCIPALI AGENTI INDOOR E POTENZIALI FONTI INTERNE (FONTE: [12])

Esiste anche un rischio biologico legato alla presenza nell'aria degli ambienti confinati di: microrganismi (funghi, batteri, virus, parassiti, protozoi), allergeni indoor (acari della polvere, allergeni di derivazione vegetale e animale) e muffe.

I rischi per la salute associati alla presenza dei contaminanti biologici sono classificabili in tre tipologie: infettivo, tossico e allergico e gli effetti si possono manifestare con diversa intensità in relazione a vari fattori quali le condizioni fisiche e la suscettibilità di ciascun individuo.

La presenza nell'aria indoor di agenti microbiologici rappresenta una fonte potenziale di trasmissione di alcune malattie infettive a carattere epidemico come: influenza, varicella, morbillo, polmonite, legionellosi, psittacosi-ornitosi, etc.

La presenza muffe è una delle principali cause di reazioni allergiche quali asma, congiuntivite, rinite e dermatiti.

Nell'aria indoor possono essere presenti i pollini, allergeni tipicamente outdoor che penetrati dall'esterno possono accumularsi negli ambienti indoor, specialmente nelle stagioni in cui prevale il fenomeno delle pollinosi.[12]

Il rumore, responsabile dell'inquinamento acustico, è costituito dall'insieme dei suoni che risultano indesiderati perché di intensità eccessiva, fastidiosi o improvvisi, e che spesso rappresentano elementi di disturbo per la ricezione da parte dell'orecchio umano. [13]

2. INTERAZIONE INQUINANTI URBANI – VERDE

Le aree verdi urbane rappresentano una risorsa fondamentale per la sostenibilità e la qualità della vita in città. Oltre alle note funzioni estetiche e ricreative, esse contribuiscono a mitigare l'inquinamento delle varie matrici ambientali (aria, acqua, suolo), migliorano il microclima delle città e mantengono la biodiversità.

Tuttavia, ad oggi, tali funzioni e benefici risultano scarsamente integrate nelle politiche di gestione degli spazi aperti e, più in generale, nella pianificazione urbanistica locale.

La qualità dell'aria è importante per definire lo stato dell'ambiente e in particolare, nelle aree urbane le concentrazioni di inquinanti spesso superano i livelli consentiti con una più elevata percentuale di popolazione esposta rispetto alle aree rurali.[14]

Risulta pertanto necessario identificare politiche ambientali che, oltre a misure tradizionali di gestione della qualità dell'aria come ad esempio la riduzione del traffico e il controllo delle emissioni, possano contribuire a ridurre le concentrazioni atmosferiche di questi inquinanti.

A tale proposito, lo studio dell'interazione tra vegetazione e O₃ risulta di particolare interesse, non solo per la quantificazione degli effetti fitotossici che tale inquinante può avere sulla vegetazione naturale e coltivata, ma anche perché sempre più studi scientifici stanno evidenziando come la vegetazione possa giocare un ruolo significativo nella riduzione dei livelli di inquinanti atmosferici.

In numerose aree urbane del mondo è stato riconosciuto che l'assorbimento di inquinanti gassosi e adsorbimento di quelli particolati da parte degli alberi urbani può rappresentare una componente importante nelle strategie di riduzione dell'inquinamento atmosferico.[15]

In tale contesto, nell'ambito del Progetto VIIAS è stato quantificato l'effetto del verde urbano sulla rimozione di O₃ e PM10 nella città di Roma. In particolare, attraverso l'applicazione di modelli e analisi spaziali, è stata stimata la quantità di O₃ e PM10 rimossa

da tre gruppi funzionali (latifoglie sempreverdi, latifoglie decidue e conifere) nel corso dell'anno 2005.

I risultati hanno mostrato come la maggior parte della rimozione di inquinanti da parte degli alberi urbani avvenga nella porzione meridionale dell'area metropolitana romana, dove sono localizzate le foreste urbane e periurbane di maggiore estensione, e dove la diversità vegetale è maggiore.[16]

Tuttavia, è emerso come anche i parchi urbani, quali le ville storiche come ad esempio Villa Ada, svolgano un ruolo importante migliorando la qualità dell'aria nelle zone più centrali.

Inoltre, lo studio ha evidenziato come le differenze funzionali tra i tre gruppi considerati, come ad esempio durata della stagione vegetativa e strategia di risposta allo stress idrico, assieme alla loro distribuzione spaziale nella città, siano in grado di stabilizzare il Servizio Ecosistemico di miglioramento della qualità dell'aria in condizioni climatiche differenti, nonostante le fluttuazioni stagionali nell'assorbimento da parte dei singoli gruppi funzionali.[17]

È possibile stimare che grazie alla vegetazione (che copre circa il 20% dell'area urbana) vi sia una riduzione della mortalità attribuibile al PM pari a circa 36 morti/anno.

Lo studio ha evidenziato l'importanza dell'azione sinergica delle tre tipologie vegetazionali nella funzione di rimozione degli inquinanti atmosferici, e in particolare dell'O₃.

Questa funzione di rimozione degli inquinanti atmosferici si inserisce nel contesto delle strategie europee al 2020 sulla conservazione delle biodiversità anche in ambiente urbano, e sul ruolo che le Infrastrutture Verdi assumono nelle politiche di miglioramento della qualità dell'aria nelle aree metropolitane, al fine di aumentare la fornitura di Servizi Ecosistemici per il benessere umano e la qualità della vita, in un contesto di cambiamento climatico.[18]

3. CONFRONTO TRA SISTEMI VERDI, TIPO FACCIATE VERDI. RICERCA DATI SU SISTEMI DI GESTIONE DEL VERDE, EVENTUALI PROBLEMATICHE (INSETTI, INNAFFIATURA, CRESCITA, MANUTENZIONE).

Le ricerche sulla sostenibilità hanno condotto alcuni progettisti verso un nuovo modello di costruzione che va a sostituire quello prettamente “consumistico” in cui l’edificio è luogo di trasformazione di aria, energia, acqua, vegetazione e materie prime, mediante un meccanismo di consumo che lascia spesso inutilizzate risorse come il sole, il vento, la pioggia, il suolo, in scarti (aria viziata, calore disperso, acqua di scarico, rifiuti,...): le istanze di eco-compatibilità sollecitano infatti un rinnovato rapporto tra architettura e natura, nel quale l’edificio sostituisce al consumo l’utilizzo delle risorse impiegate e che, secondo un approccio ecologico, instaura relazioni complesse con i processi di produzione della materia nonché sinergie con l’ambiente circostante, con particolare attenzione ai cicli dell’aria, dell’acqua e dell’energia in genere.[19]

Sembra dunque che la tendenza in via di affermazione sia quella di una sempre più stretta simbiosi tra architettura e ambiente e che rende sempre più labile il limite tra ciò che è natura e ciò che è artificio alle diverse scale della progettazione. Le istanze della sostenibilità disegnano dunque un auspicabile ritorno alla natura che si manifesta in operazioni di ibridazione del verde con l’ambiente edificato.

Negli ultimi dieci anni ci sono stati numerosi esempi di muri vegetali, infatti oggi il tema del rinverdimento dell’ambiente urbano è quanto mai sentito e, se l’esposizione solare lo consente, i muri ciechi vengono decorati con piante rampicanti traendo benefici effetti che vanno dalla protezione dall’irraggiamento solare all’abbattimento delle polveri sottili.

L’impiego del verde consente di produrre ossigeno e fornisce un importante contributo sul controllo dell’inquinamento acustico.[20]

3.1. CONFRONTO FRA SISTEMI VERDI

3.1.1. I MURI VEGETALI DELL'HOTEL DU

Uno dei maggiori esperti di facciate verdi è il ricercatore botanico francese Patrick Blanc, egli ha svolto ricerche nel settore della botanica in partenariato con le università e specificatamente sulle foreste subtropicali e ha lavorato per vent'anni per l'istituto nazionale francese per le ricerche scientifiche.

Le specie che vengono utilizzate più frequentemente da Blanc crescono a cascata aggrappandosi ai muschi, come la capillaire di origine thailandese, ma che si può trovare anche nel sud della Francia e nell'Italia meridionale. Sono numerose le essenze adatte all'impiego sui muri vegetali e tutte contraddistinte dalla caratteristica crescita a cascata: il ficus, la begonia nelle sue centinaia di specie, tutte capaci di attecchire sulla roccia.

Alcune interessanti specie di piante utilizzate sono caratterizzate da due diversi tipi di foglie: una parte cresce in altezza per captare al meglio la luce, l'altra resta aderente alla roccia ed al muschio in modo da rinnovare, una volta appassita, l'humus di cui la pianta si nutre. [21]



FIGURA 5_A,B. DUE REALIZZAZIONI DI PATRICK BLANC: I MURI VEGETALI DELL'HOTEL DU DEPARTEMENT A NANTERRE E LE COLONNE VEGETALI DELL'ESPLANADE DI BANGKOK. (FONTE:[22])

❖ Integrazione Del Sistema Di Biofiltrazione Dell'aria Nell'involucro Edilizio_
CONFRONTO TRA SISTEMI VERDI, TIPO FACCIATE VERDI. RICERCA DATI SU SISTEMI DI GESTIONE DEL VERDE, EVENTUALI PROBLEMATICHE (INSETTI, INNAFFIATURA, CRESCITA, MANUTENZIONE).

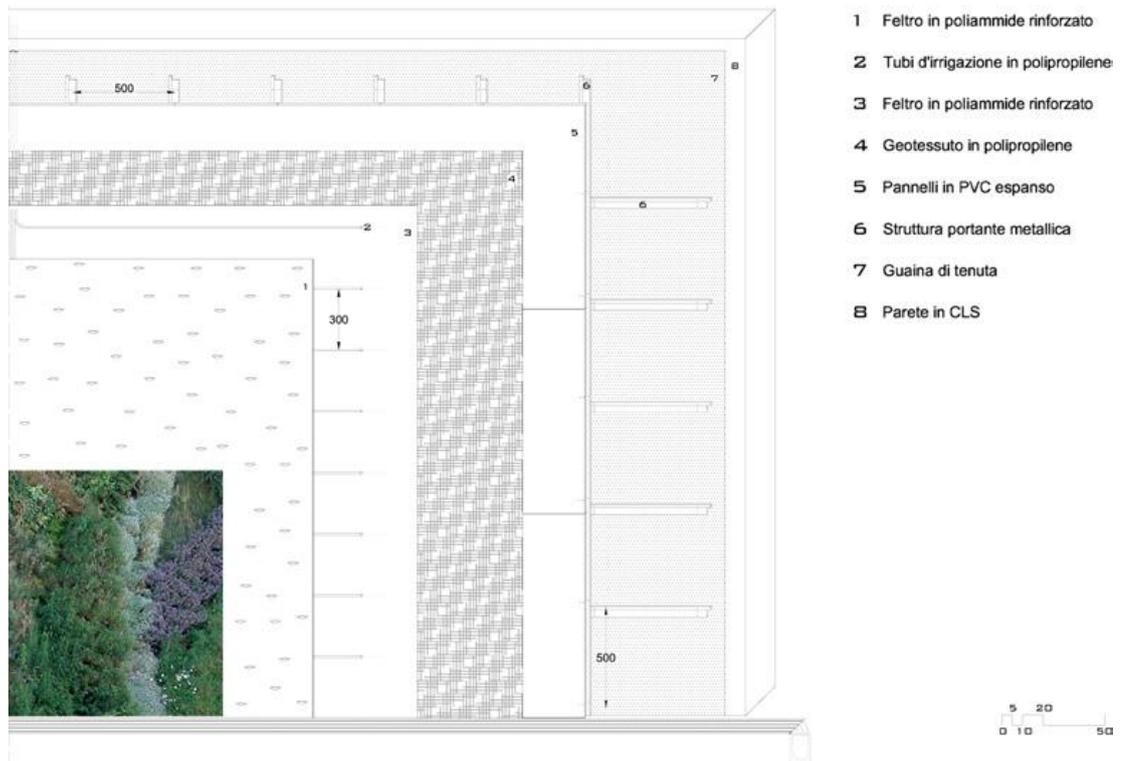


FIGURA 6_STRATIGRAFIA DEL MUR VEGETAL. (ELABORAZIONE GRAFICA: EROS PIOVESAN) (FONTE:[22])

Sul piano strettamente tecnico il sistema di supporto dell'apparato vegetale è estremamente semplice: un telaio metallico, una membrana e un feltro sostenuto da graffe metalliche irrorati da un tubo forato posto in sommità.

La particolarità del supporto consente di far attecchire le piante in uno spessore di 3 millimetri, laddove normalmente servono spessori che superano abbondantemente i 5 centimetri; i pesi che gravano sui supporti variano di conseguenza: 3 millimetri significano, in condizioni "umide", $3\text{Kg}/\text{m}^2$ in luogo di $50\text{Kg}/\text{m}^2$ e oltre.

Il vantaggio in termini di peso rende possibile il raggiungimento di altezze anche molto elevate. Il muro vegetale, nel suo continuo perfezionamento, risulta staccato dalla superficie d'appoggio per permetterne la traspirazione; una cornice metallica costituisce il telaio d'appoggio per uno strato di PVC e per il feltro, sulla cui sommità è collocato un tubo di irrigazione, la cui acqua viene raccolta alla base da una gronda che permette di riportare in circolo il nutriente dell'apparato vegetale.

3.1.2. FACCIATA VERDE DEL MUSEO QUAI BRANLY

Per il Museo Quai Branly, a Parigi, Patrick Blanc costituisce la facciata intera risolvendo con un semplice accorgimento tecnico il problema delle discontinuità date dalle bucatore delle finestre: i feltri di poliammide vengono raccolti in una specie di canale di gronda posto in corrispondenza dell'architrave delle finestre cosicché l'acqua di cui sono imbevuti possa scorrere orizzontalmente e venire convogliata in piccoli pluviali celati dagli stessi feltri lateralmente alle forature della facciata. Per restituire nettezza ai tagli della forometria sono state predisposte delle lamiera metalliche, ortogonali rispetto al prospetto, che fungono da sponda alla crescita dell'apparato vegetale e definiscono l'imbotte delle finestre. [23]



FIGURA 7_a. UNO DEI COLLETTORI DEL SISTEMA DI IRRIGAZIONE DEL MUR VEGETAL. (FONTE:[22])

FIGURA 7_b. IL FRONTE DEL CORPO UFFICI PROSPICIENTE QUAI BRANLY. (FONTE : [22])

FIGURA 7_c. IL SISTEMA DI GRONDE E PLUVIALI POSTO IN CORRISPONDENZA DELLE APERTURE DELLA FACCIATA È PARZIALMENTE RICOPERTO DAI FELTRI IN POLIAMMIDE E NASCOSTO DALLA VEGETAZIONE. (FONTE: [22])

FIGURA 7_d. ALLA BASE DEL MUR VEGETAL L'ACQUA, CHE CONTIENE I NUTRIENTI PER L'APPARATO VEGETALE, PUÒ ESSERE RECUPERATA E REINTRODOTTA NEL SISTEMA DI IRRIGAZIONE. (FONTE:[22])

❖ Integrazione Del Sistema Di Biofiltrazione Dell'aria Nell'involucro Edilizio_
CONFRONTO TRA SISTEMI VERDI, TIPO FACCIATE VERDI. RICERCA DATI SU SISTEMI DI GESTIONE DEL
VERDE, EVENTUALI PROBLEMATICHE (INSETTI, INNAFFIATURA, CRESCITA, MANUTENZIONE).

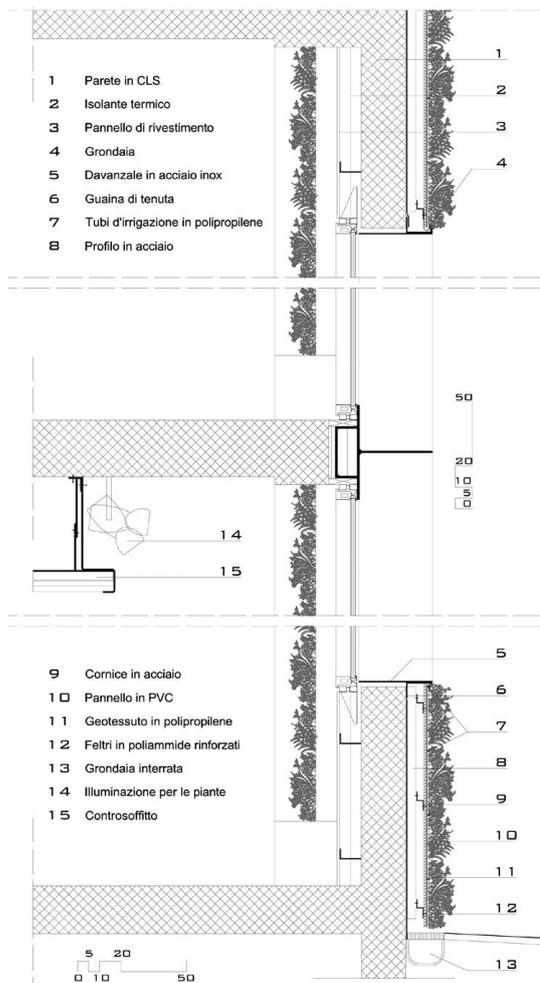


FIGURA 8_ELABORAZIONE GRAFICA: EROS PIOVESAN.
(FONTE:[22])

Due strati di feltro rinforzato in poliammide sono agganciati su lastre di pvc espanso dello spessore di 10 mm e fissati su una ossatura metallica che con il muro portante forma un cuscino d'aria e funge da isolante permettendo la traspirazione.

È su questo feltro che si sviluppano le radici delle piante. Tale sistema non richiede una complessa manutenzione ma necessita di un efficiente impianto d'irrigazione capace di mantenere i feltri sempre bagnati. [24]



FIGURA 9_VISTA INTERNI. (FONTE:[22])

3.1.3. SPORTPLAZA MERCATOR

Sportplaza Mercator è un complesso multifunzionale dotato di un centro benessere e di spazi ricreativi collettivi, progettato dallo studio olandese Venhoeven. La componente "verde" dell'edificio gli fa assumere la configurazione di una collina che si integra con il paesaggio circostante.

Le coperture e le pareti, caratterizzate da struttura portante in acciaio, sono completamente rivestite da elementi vegetali sensibili ai cambiamenti stagionali: 50 diverse specie di piante, fiori, arbusti e alberi di piccola taglia fanno apparire il complesso come un giardino "vivo" sviluppato sia in orizzontale che in verticale.

Si tratta di un sistema dotato di un rivestimento di tessuto sintetico su cui vengono praticati dei fori entro i quali alloggiare il terreno necessario per ogni piantumazione.

Un impianto regolato da sensori assicura il nutrimento e l'irrigazione necessarie alla sopravvivenza delle essenze, accuratamente scelte in relazione alle condizioni di soleggiamento ed igrometria delle diverse pareti.[25]

- ❖ Integrazione Del Sistema Di Biofiltrazione Dell'aria Nell'involucro Edilizio_
CONFRONTO TRA SISTEMI VERDI, TIPO FACCIATE VERDI. RICERCA DATI SU SISTEMI DI GESTIONE DEL VERDE, EVENTUALI PROBLEMATICHE (INSETTI, INNAFFIATURA, CRESCITA, MANUTENZIONE).



FIGURA 10_ PROSPETTI DELLO SPORTPLAZA MERCATOR. (FONTE: [22])

La parete vegetale è caratterizzata da una stratigrafia che prevede un rivestimento di tessuto sintetico di spessore 10mm, sul quale vengono praticati 25 tagli ogni metro quadrato entro cui viene alloggiato il terreno necessario allo sviluppo di ogni pianta.

Una lamiera grecata di altezza pari a 50 mm funge da supporto al sistema, ancorandosi all'elemento metallico di sostegno verticale dell'edificio.

3.2. ESEMPI STRATIGRAFICI DI PARETI VEGETATE

La stratigrafia delle pareti verdi si compone essenzialmente di quattro elementi: la vegetazione, il substrato colturale, il sistema nutritivo, gli apparati di ancoraggio e protezione rispetto alla struttura esistente.

Tra le numerose soluzioni presenti sul mercato si sono riportate le caratteristiche del “Mur Vegetal”, del sistema a pannelli con substrato e dei muri verdi ottenuti con il posizionamento di blocchi modulari: tre diverse possibilità con tre approcci diversi rispetto all'uso dei materiali e allo spessore del pacchetto tecnologico.

Il Mur Vegetal è un sistema per la realizzazione di pareti vegetali il cui ancoraggio alla struttura esistente avviene tramite un'intelaiatura metallica, profili d'acciaio o alluminio, che garantisce un'adeguata ventilazione; essa sostiene un pannello in PVC espanso, dello spessore di 1 cm, sul quale vengono graffettati due strati di feltro rinforzati da una rete di poliammide che, irrobustendoli, permette un adeguato sostegno delle piante ed evita le cadute.

Sul feltro più esterno viene effettuato un taglio nel quale viene inserita la vegetazione: le piante non vengono ripulite dalla loro zolla, per evitare lo stress dell'apparato radicale nella fase di messa a dimora, ma sono semplicemente inserite nella tasca che si è creata nel feltro; la terra verrà quindi dilavata dall'acqua derivante da una rete di ali gocciolanti disposte orizzontalmente con un passo di circa 60 cm che fornisce irrigazione e nutrienti.

L'acqua utilizzata viene generalmente riciclata, evitando lo spreco dei nutrienti in essa disciolti. Le specie vegetali, spesso utilizzate anche come piante da interno, sono accuratamente scelte e disposte in base al luogo, al clima e in ragione dei possibili antagonismi tra le essenze.

I sistemi a pannelli alveolari per il contenimento di terriccio sono costituiti da moduli in polipropilene riciclato fissati su una struttura di profili metallici ancorata a loro volta alla parete esterna. I pannelli in commercio sono di varie dimensioni e spessori (dai 3 ai 30 cm

circa) e si caratterizzano per il minor costo di realizzazione in quanto vengono prevegetati in vivaio, consentono un rapido assemblaggio e offrono la possibilità di sostituire i pannelli singolarmente.

L'irrigazione avviene tramite un sistema ad ali gocciolanti, inserite nelle fughe dei pannelli, che fornisce acqua e sostanze nutritive.

Una tecnologia semplice per la realizzazione di muri di recinzione, barriere al rumore e rivestimenti esterni agli edifici, senza intaccare la struttura, consiste nell'utilizzo di blocchi forati in calcestruzzo, modulari e sagomati, riempiti con terreno, muniti di fori longitudinali per il passaggio di un'ala gocciolante per l'irrigazione e di fori trasversali per lo sviluppo di piante con portamento decombente.

L'impatto visivo viene ridotto in quanto la crescita della vegetazione nasconde il blocco che, grazie alla grande massa riduce il rumore al di là della parete. La posa, su una platea in calcestruzzo o su elementi prefabbricati, avviene per corsi con malta per "usi strutturali" idrofugata e posata sui giunti orizzontali e verticali; l'allacciamento idrico principale è posizionato nel corso di base. Successivamente viene inserito il terreno vegetale, ricco di humus o comunque tale da assicurare l'attecchimento della vegetazione, posate le ali gocciolanti e piantata la vegetazione che può essere monocolturale o miscellanea.[26]

❖ Integrazione Del Sistema Di Biofiltrazione Dell'aria Nell'involucro Edilizio_
CONFRONTO TRA SISTEMI VERDI, TIPO FACCIATE VERDI. RICERCA DATI SU SISTEMI DI GESTIONE DEL
VERDE, EVENTUALI PROBLEMATICHE (INSETTI, INNAFFIATURA, CRESCITA, MANUTENZIONE).

SEZIONE DEL MUR VEGETAL:

1. DAVANZALE IN ACCIAIO INOX
2. PARETE IN CLS
3. TUBI D'IRRIGAZIONE IN POLIPROPILENE
4. GUAINA DI TENUTA
5. CORNICE IN ACCIAIO
6. PROFILI IN ACCIAIO
7. PANNELLO IN PVC
8. GEOTESSUTO IN PROPILENE
9. FELTRI IN POLIAMMIDE
10. GRONDAIA INTERRATA

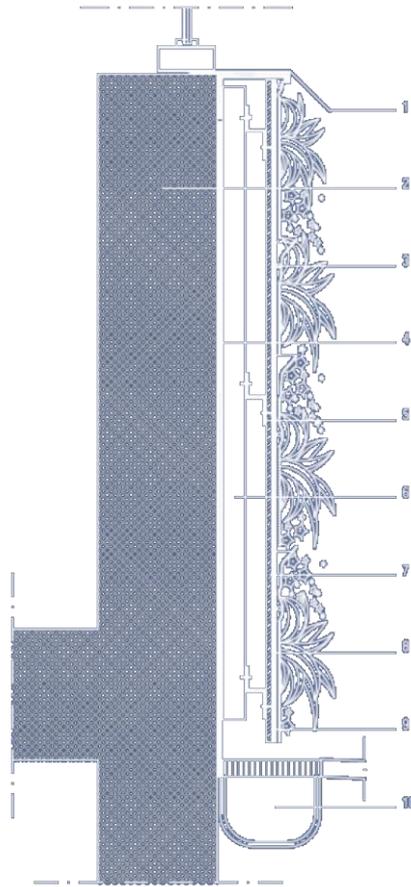


FIGURA 12_ SEZIONE DEL MURO VEGETALE. (FONTE: [27])

❖ Integrazione Del Sistema Di Biofiltrazione Dell'aria Nell'involucro Edilizio_
CONFRONTO TRA SISTEMI VERDI, TIPO FACCIATE VERDI. RICERCA DATI SU SISTEMI DI GESTIONE DEL
VERDE, EVENTUALI PROBLEMATICHE (INSETTI, INNAFFIATURA, CRESCITA, MANUTENZIONE).

SEZIONE DEL SISTEMA A PANNELLI CON SUBSTRATO:

1. CHIUSURA VERTICALE
2. GUAINA DI TENUTA
3. SQUADRA DI FISSAGGIO
4. PROFILO A T
5. PANNELLO IN POLIPROPILENE RICICLATO ATTO A RACCOGLIERE IL TERRENO
6. TERRENO
7. ALI GOCCOLANTI
8. VEGETAZIONE
9. PROFILO DI CHIUSURA
10. GRIGLIA DI RACCOLTA DELL'ACQUA

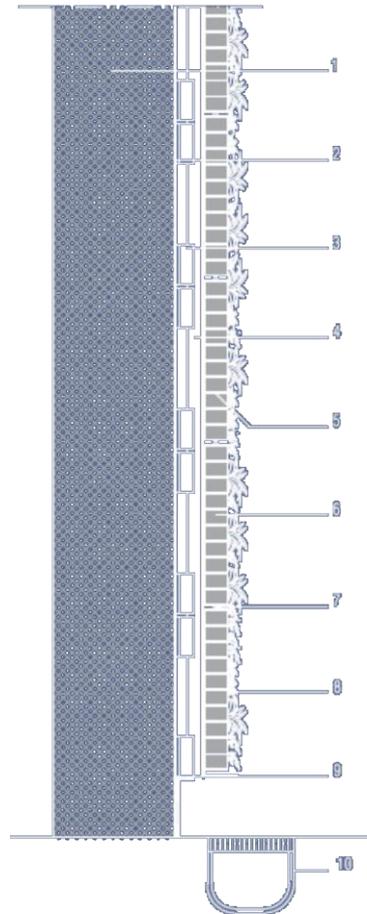


FIGURA 13_ SEZIONE DEL SISTEMA A PANNELLI CON SUBSTRATO. (FONTE: [27])

❖ Integrazione Del Sistema Di Biofiltrazione Dell'aria Nell'involucro Edilizio_
CONFRONTO TRA SISTEMI VERDI, TIPO FACCIATE VERDI. RICERCA DATI SU SISTEMI DI GESTIONE DEL
VERDE, EVENTUALI PROBLEMATICHE (INSETTI, INNAFFIATURA, CRESCITA, MANUTENZIONE).

SEZIONE DI UNA PARETE A BLOCCHI FORATI PER MURI VEGETALI:

1. CHIUSURA VERTICALE
2. IMPERMEABILIZZAZIONE
3. STRATO DI PROTEZIONE E ANTIRADICE
4. ALI GOCCIOLANTI
5. BLOCCO MODULARE IN CLS
6. TERRENO
7. VEGETAZIONE DECOMBENTE DAI FORI DEL BLOCCO

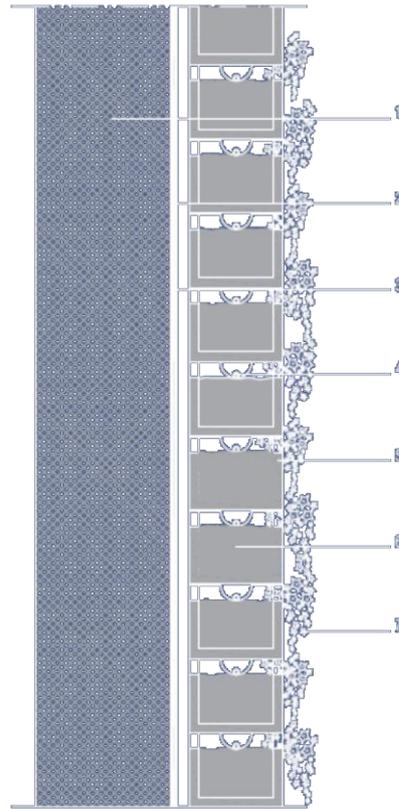


FIGURA 14_ SEZIONE DI UNA PARETE A BLOCCHI FORATI PER MURI VEGETALI. (FONTE: [27])

4. ALTRE SOLUZIONI VERDI DA UN PUNTO DI VISTA ARCHITETTONICO

Esistono tre principali tipologie di integrazione tra l'architettura e la vegetazione: verde verticale, già trattato, coperture verdi e spazi verdi al suolo.

La copertura verde (o verde estensivo) è un tetto (piano o inclinato) di un edificio parzialmente o completamente ricoperto di vegetazione.

È generalmente composto da un "pacchetto" di più strati che comprende:

Solaio di copertura – Base

Il solaio di copertura può essere realizzato con diversi materiali edilizi anche se in genere è costituito da laterocemento.

Primer bituminoso – Strato fissativo

La superficie da coprire con il tetto verde dovrà necessariamente essere trattata con un primer bituminoso, cioè una sostanza che penetra nelle porosità del tetto per bloccare le polveri e favorire l'adesione degli strati successivi.

Barriera al vapore – Strato isolante I

La barriera al vapore costituisce un vero e proprio strato isolante e ha il compito di proteggere il tetto dalla condensa. Da un punto di vista edilizio, lo strato isolante o barriera al vapore è dato da una membrana di bitume armata con lamina di alluminio accoppiata a un monostrato di poliestere.

Isolamento termico – Strato isolante II

Ha il compito di coibentare l'abitazione proteggendola dagli sprechi energetici. Evita la condensazione interna del vapore acqueo sulle parti fredde quindi serve a prevenire infiltrazioni e problemi correlati quali umidità e muffa.

Nella stratigrafia di un tetto verde estensivo, lo strato termoisolante può avere un ruolo più o meno rilevante sullo spessore complessivo della copertura verde. In base ai materiali

scelti e al grado di coibentazione, lo strato termoisolante può impegnare uno spessore che va dai 2 ai 16 cm.

Membrana impermeabile e Membrana antiradice

Si tratta di due membrane, la prima impedisce il passaggio dell'acqua attraverso la copertura e la seconda blocca un eventuale attraversamento delle radici negli strati sottostanti. Queste membrane hanno uno spessore di qualche millimetro. Sono resistenti alla lacerazione, flessibili al freddo e ottima tenuta al calore.

In realtà, la membrana antiradice non è altro che una membrana impermeabile che ha subito un trattamento con additivo antiradice così come disposto dalla normativa EN13948.

Strato drenante

Serve a gestire l'acqua piovana. Questo strato occupa uno spessore piuttosto elevato, in genere tra gli 8 e i 10 cm anche se si possono usare dei granuli di argilla espansa per uno spessore che può raggiungere i 15 cm.

Strato filtrante

Confina la crescita delle radici delimitando lo strato successivo, quello del terreno. L'unico materiale che riesce ad attraversare questo strato è l'acqua che sarà poi gestito dal sottostante strato drenante. Questo strato ha uno spessore ridottissimo: si utilizzano tessuti geotessili, cioè foglie spessi circa 1 mm.

Substrato di coltura – Vegetazione

Il substrato di coltura termina con la vegetazione superficiale. Questo substrato occupa uno spessore importante e i materiali normalmente impiegati prevedono una miscela di minerali (pomice e laterizio) con componenti organiche che consentono l'attecchimento delle piante (torba, fibra di cocco...).

Questo strato occupa uno spessore che in genere va tra gli 8 e i 15 cm, in alcune circostanze si raggiungono anche i 20 cm. [28]

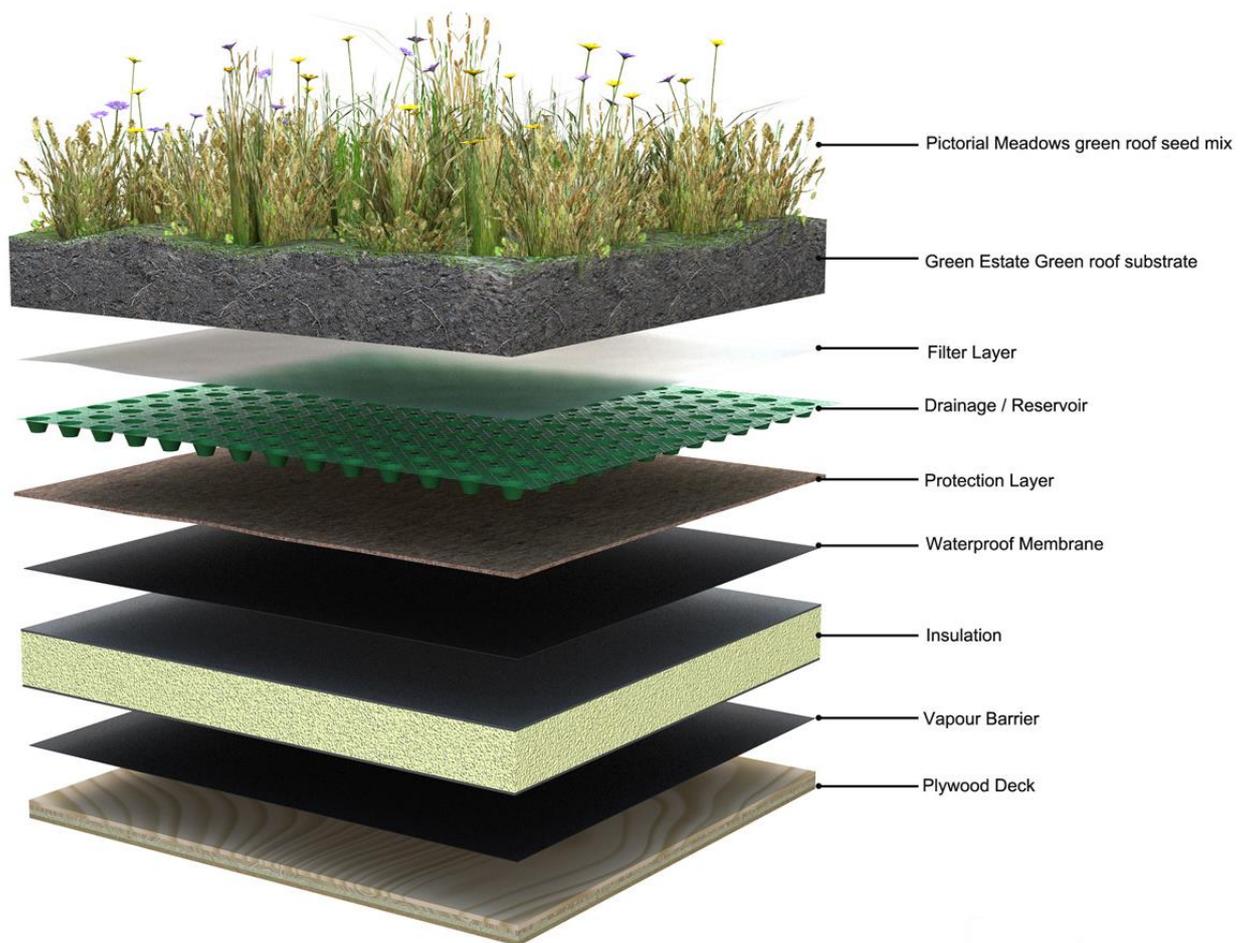


FIGURA 15_ ESEMPIO STRATIGRAFIA TETTO GIARDINO (FONTE:[29])

Le caratteristiche più importanti sono la qualità del substrato, la quantità di accumulo d'acqua, la superficie di appoggio dell'elemento di accumulo e la apertura a pori del tessuto di filtro.

È solitamente un sistema che presenta spessore e peso ridotti per permettere di essere utilizzato sulle coperture e richiede scarsa manutenzione, poiché viene utilizzata una vegetazione composta di essenze di sedium, una miscela di diverse varietà botaniche selezionate in base alla zona climatica nella quale andranno messe a dimora, che devono essere in grado di sopravvivere in situazioni di estrema siccità e avere alte capacità di rigenerazione e auto propagazione.[30]

È una finitura tecnologica della copertura che fornisce diversi benefici all'edificio come la protezione dell'impermeabilizzazione, la regolazione del microclima grazie

all'abbassamento della temperatura dell'aria in ambiente urbano e la lotta contro l'effetto isola di calore, l'isolamento termico e quindi risparmio energetico, la riduzione della presenza di polveri sottili, la creazione di nuovi habitat per la fauna selvatica, la regimazione delle acque piovane, oltre al minore impatto ambientale ed estetico. [31]

Per quanto riguarda gli spazi verdi al suolo, secondo le statistiche emerse, ognuno di noi dispone di circa 31 metri quadrati di zone non cementificate ma esistono grosse differenze da regione a regione e, soprattutto, difformità di gestione e manutenzione.

Complessivamente però, sul territorio nazionale, gli spazi verdi risultano poco curati e mal distribuiti.

Sono numerosissimi gli studi riguardo la relazione tra la natura e le città, nel 2013 è stata pubblicata l'importante ricerca "Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States".[32]

L'analisi sulla situazione ambientale di dieci città americane ha condotto a rilevanti scoperte. Gli alberi non solo ci forniscono ossigeno -come ben sappiamo- ma eliminano anche le polveri sottili, specialmente particolato fine prodotto dai sistemi di climatizzazione e dalle autovetture.

A tal proposito la 'Nuova Agenda Urbana' dell'ONU per il 2030 ha inserito tra gli obiettivi delle città sostenibili proprio la creazione di spazi verdi. E altrettanto ha fatto l'Unione Europea nel 2013, avviando, tra le numerose attività previste all'interno di Europa 2020, la promozione di infrastrutture verdi per 'far sì che il miglioramento dei processi naturali diventi parte integrante della pianificazione territoriale'.

In una città di medie dimensioni, ad esempio, gli alberi urbani possono ridurre la perdita di suolo di circa 10 mila tonnellate l'anno. Fornendo ombra e raffreddando l'aria, parchi e alberi nelle aree urbane possono ridurre le temperature estreme e mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Tanto che gli alberi, posizionati correttamente attorno agli edifici, possono ridurre il fabbisogno di aria condizionata del 30%. Nei climi freddi, proteggendo le case dal vento, possono aiutare a risparmiare energia utilizzata per il riscaldamento tra il 20 e il 50%.

I parchi urbani e periurbani possono aumentare la resilienza e la qualità dei bacini e dei serbatoi idrici, prevenendo l'erosione, limitando l'evapotraspirazione e filtrando gli inquinanti. Non solo piantare alberi da frutto può aumentare la disponibilità di cibo nelle città.

"Parchi e alberi ben gestiti nelle città e nelle aree circostanti forniscono bei luoghi in cui vivere, cibo e protezione per molte piante e animali, contribuendo a mantenere e accrescere la biodiversità", sottolinea il direttore generale della Fao, José Graziano da Silva.

Secondo la pubblicazione 'Foreste e città sostenibili - Storie d'ispirazione da tutto il mondo', molte città stanno già dimostrando il loro impegno per un futuro più sostenibile e ci sono molti esempi eccellenti di sviluppo urbano verde.

Come il rimboschimento di Pechino, una delle città più popolate e inquinate del mondo. Nel 2012, Pechino ha avviato il più grande programma di rimboschimento della sua storia. Nelle aree suburbane e periurbane, la maggior parte delle terre è stata imboschita dopo lo spostamento delle piccole industrie. Le foreste coprono adesso oltre il 25% della superficie urbana, un aumento del 42%.

Una storia di successo anche quella che ha visto il coinvolgimento della comunità locale nella gestione della foresta di Karura, nella parte centro-settentrionale della capitale del Kenya, Nairobi, un tempo una zona devastata dalla criminalità. La foresta non è più un luogo di pericolo per le persone, ma piuttosto una fonte di opportunità.

Impiega 46 lavoratori a tempo indeterminato, 36 dei quali provengono da comunità circostanti. È diventata anche un'attrazione turistica: da zero visitatori nel 2009, la foresta ora accoglie in media 16mila visitatori al mese.

A Lima, in Perù, il Comune ha lanciato nel 2015 un progetto di rimboschimento per ridurre la minaccia di frane. Un'area di 14 ettari, la dimensione di cinque campi da calcio, è stata designata per un parco, che comprende sentieri, punti panoramici e spazi ricreativi per famiglie, sono stati piantati 23.000 alberi nativi e installato un sistema di irrigazione a goccia con acque reflue trattate.[33]



FIGURA 16_ ESEMPIO SPAZIO VERDE AL SUOLO (FONTE: [33])

5. PROGETTO ARIA3

Aria3 è un sistema di ventilazione, composto da un dispositivo che usa le proprietà delle piante per purificare l'aria indoor e outdoor e che contribuisce al mantenimento delle condizioni di comfort interno, limitando la produzione di energia non rinnovabile. Questo dispositivo è la combinazione di natura e tecnologia in un solo elemento.

Aria3 è progettato per essere applicato alla facciata di edifici e ha una taglia adatta per ogni applicazione.

Il dispositivo è composto da:

- Una struttura metallica o in legno
- Due finestre
- Uno scambiatore di calore
- Un vaso contenente le piante
- Un sistema di irrigazione (automatico o manuale)
- Luci
- Un display di controllo

L'aria inquinata (indoor e outdoor) entra nel sistema e lo scambiatore di calore recupera il calore interno. L'aria inquinata passa dapprima attraverso il suolo dove è assorbita e poi attraverso le foglie, che catturano gli altri inquinanti. Finalmente l'aria entra all'interno purificata e con una buona % di umidità.

Applicazioni:

- In edifici residenziali, commerciali e industriali, in grattacieli.
- Il dispositivo può essere usato in nuovi edifici o in edifici da riqualificare.

Vantaggi:

- Necessario cambio d'aria interna, senza introdurre inquinanti esterni.
- Migliora la qualità dell'aria interna, con il suo sistema di ricircolo e il sistema di purificazione dell'aria interna.

- Recupero del calore dallo spazio interno, in modo da ridurre il consumo di energia per il riscaldamento e il raffreddamento.
- Le piante all'interno del dispositivo garantiscono l'umidità ottimale negli spazi interni.

6. PROVE DI LABORATORIO

Sono state effettuate differenti prove di laboratorio per constatare la tenuta dell'involucro e l'effettivo abbattimento degli inquinanti da parte del prototipo.

La prima prova svolta è stata quella di tenuta dell'involucro esterno, per la quale è stato utilizzato l'inerte SF6 che ha permesso di conoscere i volumi d'aria scambiati con l'esterno ogni ora.

Successivamente sono state eseguite più prove di misurazione dell'abbattimento degli inquinanti in diverse condizioni:

- in assenza di piante con ante chiuse;
- in assenza di piante e con ante aperte;
- in assenza di piante immettendo vapore acqueo rilasciato da una sigaretta elettronica;
- in presenza di piante con ante chiuse;
- in presenza di piante e ante aperte.

Ogni prova è stata effettuata per un intervallo di tempo prestabilito, per rapportare lo smaltimento degli inquinanti, contenuti all'interno del prototipo, in funzione del tempo.

I dati relativi alle diverse prove venivano registrati attraverso un software. Il software aveva il compito di tradurre i segnali comunicati dai cinque sensori, quest'ultimi erano stati montati su un'asta di supporto al di sopra della pianta utilizzata, così da ottimizzare il più possibile la lettura della concentrazione di inquinanti presenti.

Con questa procedura sono stati acquisiti tutti i dati necessari per una valutazione dettagliata degli inquinanti presenti ad inizio prova e al termine della prova stessa, nelle diverse condizioni citate sopra.

6.1. METODOLOGIA

6.1.1. PROVA DI TENUTA



FIGURA 17_ APPARECCHIATURE PER LA MISURAZIONE DELL'INERTE SF6

La prima prova eseguita è stata quella di tenuta dell'involucro esterno, in assenza di pianta, utilizzando SF6. SF6 è un inerte adoperato in ambito civile per misurare il ricambio d'aria all'interno dei volumi abitativi. Misurandone la concentrazione e la sua riduzione nel tempo, attraverso la legge di decadimento esponenziale è stato possibile stimare il tempo di dimezzamento della specie, rispetto alle condizioni iniziali, e quindi i volumi/ora ricambiati.

Legge di decadimento

$$C(t) = C_0 * e^{-\lambda*t}$$

Tempo di dimezzamento

$$t_{1/2} = -\frac{\ln(0.5)}{\lambda}$$

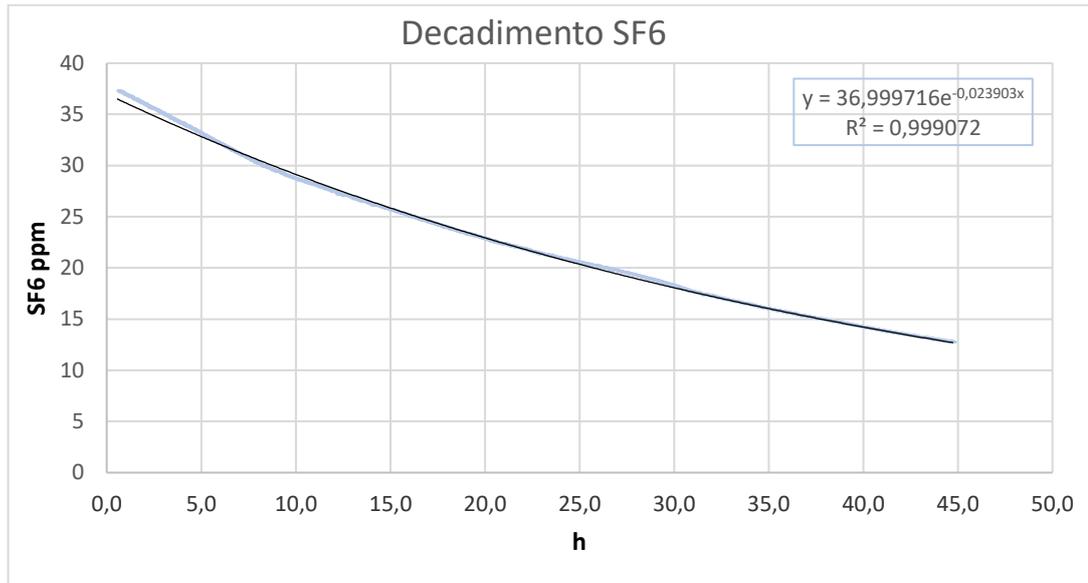


FIGURA 18_DIAGRAMMA DECADIMENTO SF6 NEL TEMPO

6.1.2. PROVA MISURAZIONE ABBATTIMENTO INQUINANTI



FIGURA 19_ PROTOTIPO COMPLETO DI SENSORI, PER LA MISURAZIONE DEGLI INQUINANTI, E DELLA PIANTA SOGGETTO DI STUDIO.

Per rendere possibile la misurazione dell'assorbimento degli inquinanti, da parte del prototipo, è stato necessario l'inserimento di cinque sensori, ognuno specifico per la lettura di un inquinante.

Nel caso sottostante si vogliono rappresentare, utilizzando dei diagrammi, l'andamento degli inquinanti CO, CO₂, NO₂, SO₂, VOC con l'immissione di vapore acqueo in assenza di piante.

Nei grafici sono rappresentati gli intervalli di tempo che vanno dall'apertura delle ante del prototipo alle ore 15:37 con immissione di vapore acqueo, successiva chiusura e riapertura alle 16:43.

Nel diagramma riportante l'andamento di concentrazione di CO nel tempo, notiamo che all'apertura si ha un incremento di CO che dopo l'immissione di vapore acqueo tende a decrescere fino ad annullarsi, per poi avere un nuovo incremento alla riapertura del prototipo.

Per quanto riguarda l'andamento della CO₂ decresce all'apertura, con la chiusura e l'immissione di vapore acqueo avviene un incremento che tende pian piano a diminuire fino a un picco alla riapertura.

L'andamento del NO₂ risulta irregolare con un picco negativo in corrispondenza dell'immissione del vapore acqueo, successivamente decresce gradualmente fino a un picco positivo alla riapertura.

L'SO₂ presenta anch'esso andamento irregolare con un lieve picco positivo durante l'immissione del vapore d'acqua e alla riapertura.

Infine il VOC inizialmente decresce, poi con l'immissione di vapore acqueo ha un picco positivo e cresce fino alla riapertura.

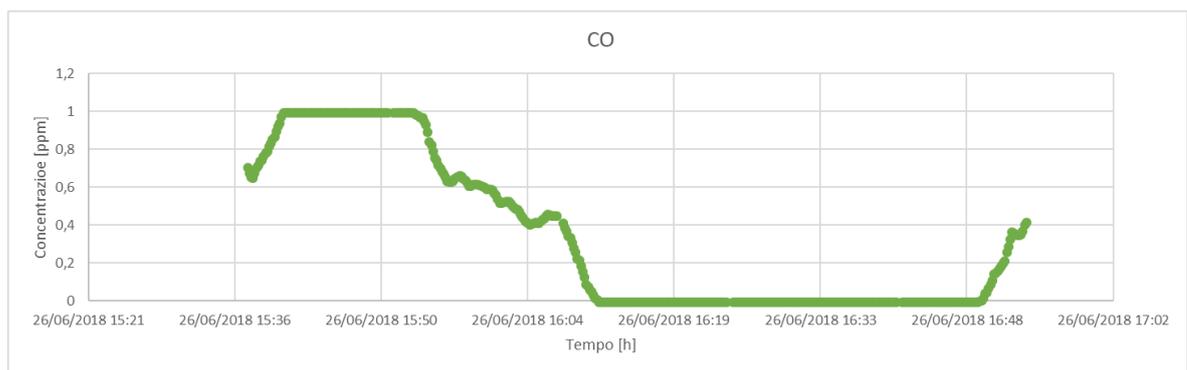


FIGURA 20_GRAFICO CONCENTRAZIONE CO NEL TEMPO.

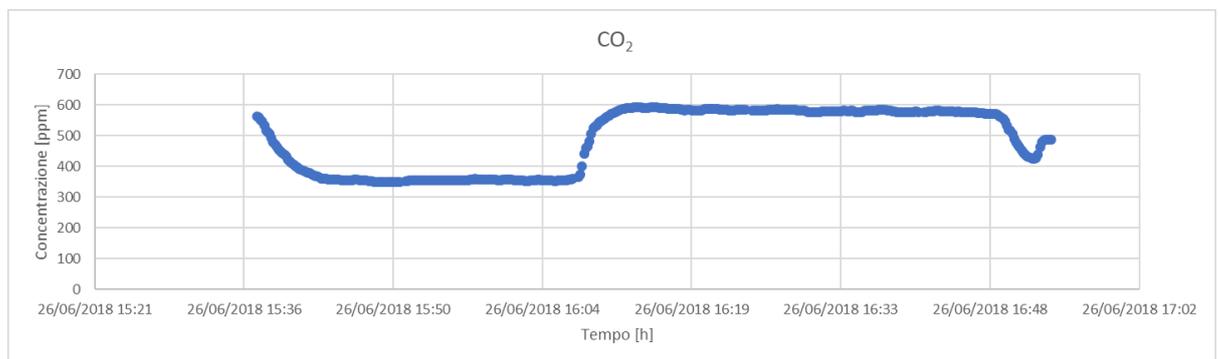


FIGURA 21_GRAFICO CONCENTRAZIONE CO2 NEL TEMPO.

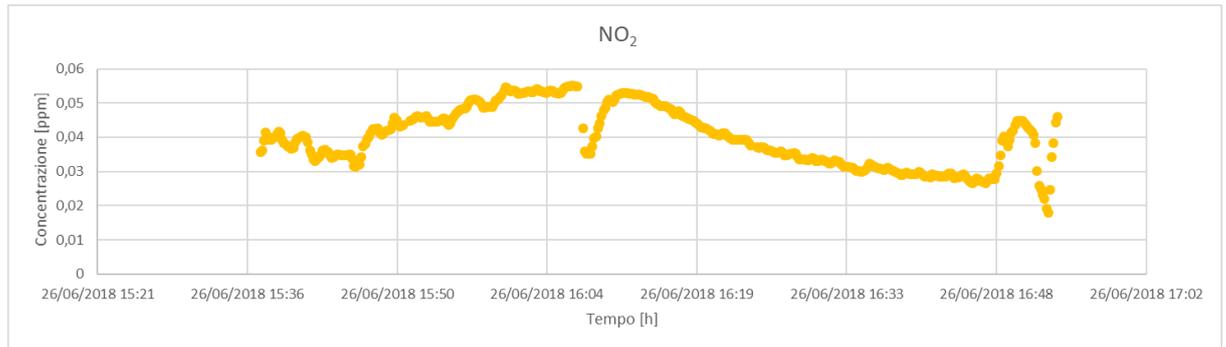


FIGURA 22_ GRAFICO CONCENTRAZIONE NO2 NEL TEMPO.

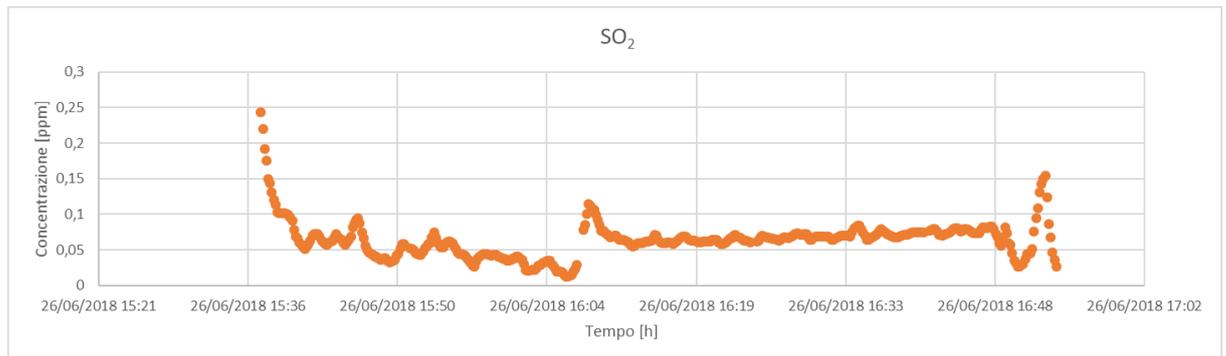


FIGURA 23_ GRAFICO CONCENTRAZIONE SO2 NEL TEMPO.

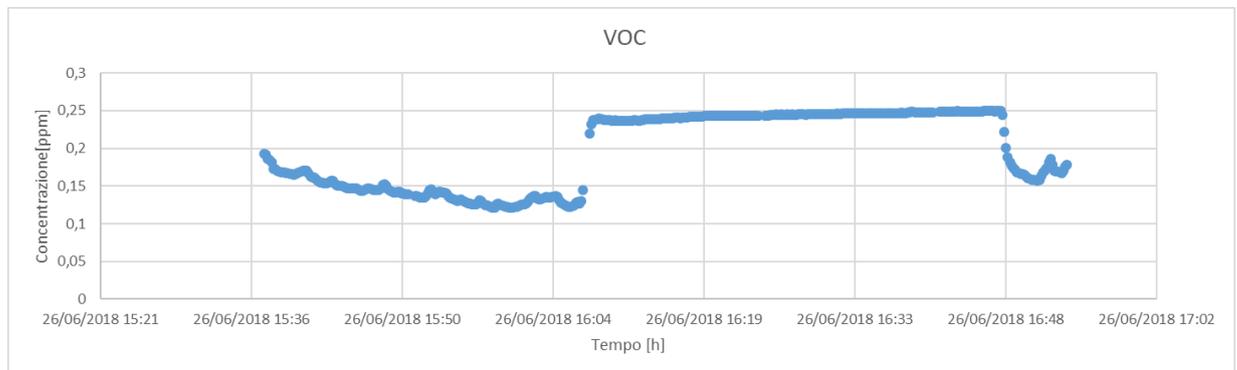


FIGURA 24_ GRAFICO CONCENTRAZIONE VOC NEL TEMPO.

Successivamente è stata eseguita un'ulteriore prova in presenza di piante, tenendo le ante chiuse dalle 11:32 di giorno 29 fino, all'apertura alle 16:46, in questo caso nei grafici vengono riportati i dati al momento dell'apertura delle ante.

L'andamento del CO è caratterizzato da una repentina decrescita all'apertura delle ante fino ad azzerarsi, per poi avere un incremento in fase notturna.

La CO₂ presenta anch'essa un tratto in cui decresce fino ad annullarsi, ma a differenza del CO in fase notturna non abbiamo nessun picco.

L'NO₂ all'apertura delle ante tende a cresce fino a stabilizzarsi nell'intorno di 0,05 ppm.

La concentrazione di SO risulta nulla durante tutta la prova.

Il VOC presenta una concentrazione irregolare ma nel tempo sommariamente ha un andamento crescente.

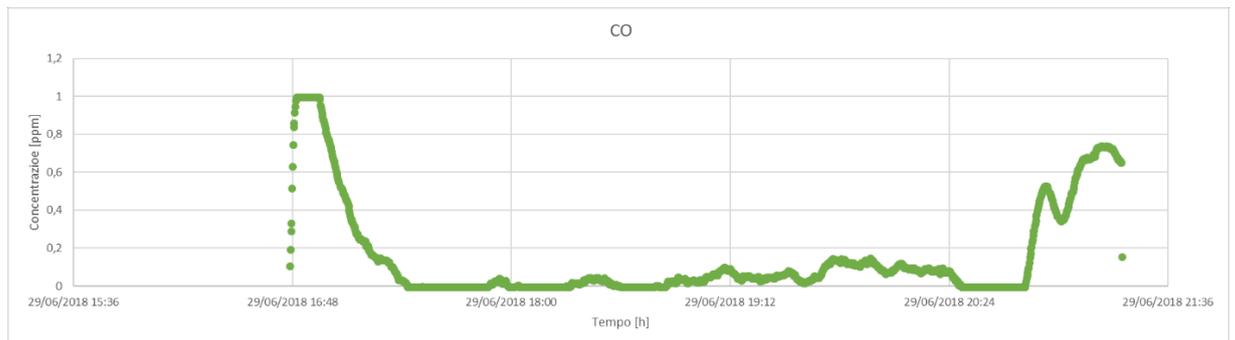


FIGURA 25_ GRAFICO CONCENTRAZIONE CO NEL TEMPO.

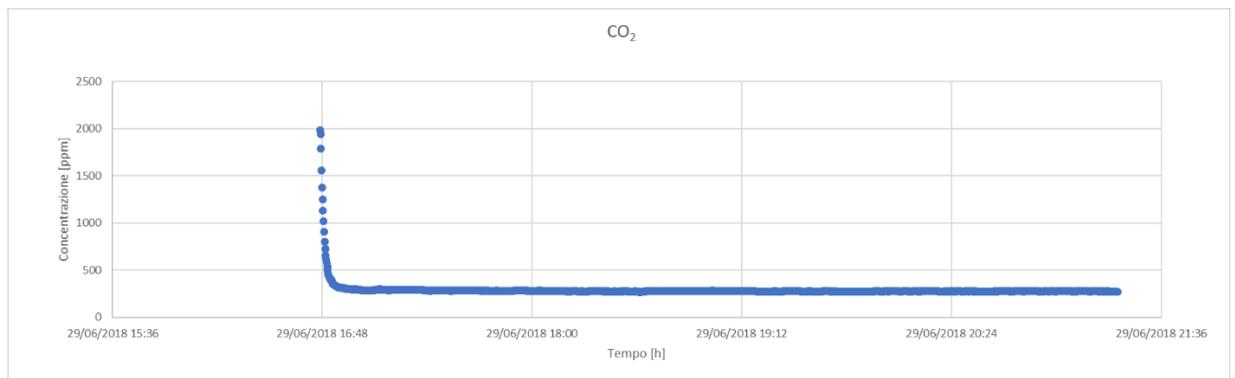


FIGURA 26_ GRAFICO CONCENTRAZIONE CO2 NEL TEMPO.

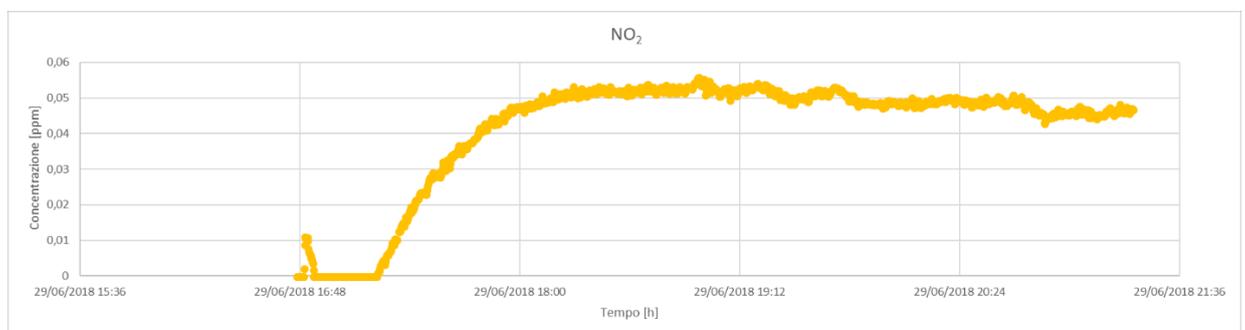


FIGURA 27_ GRAFICO CONCENTRAZIONE NO2 NEL TEMPO.

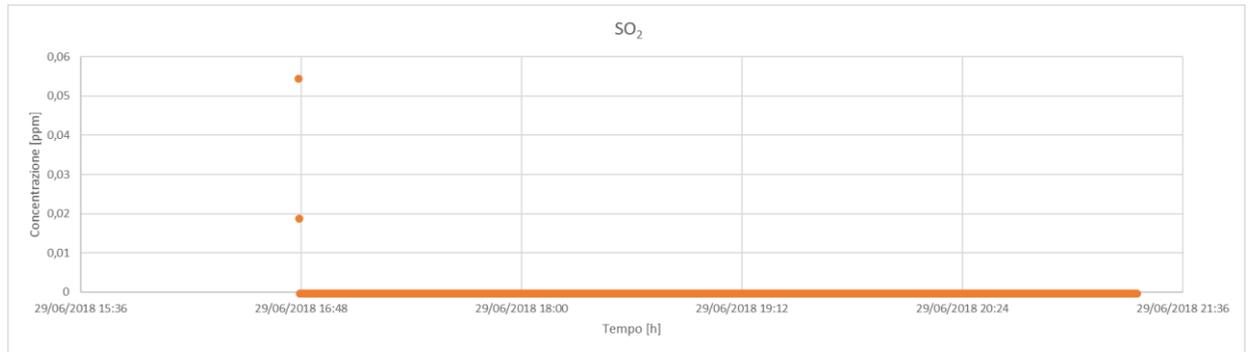


FIGURA 28_ GRAFICO CONCENTRAZIONE SO2 NEL TEMPO.

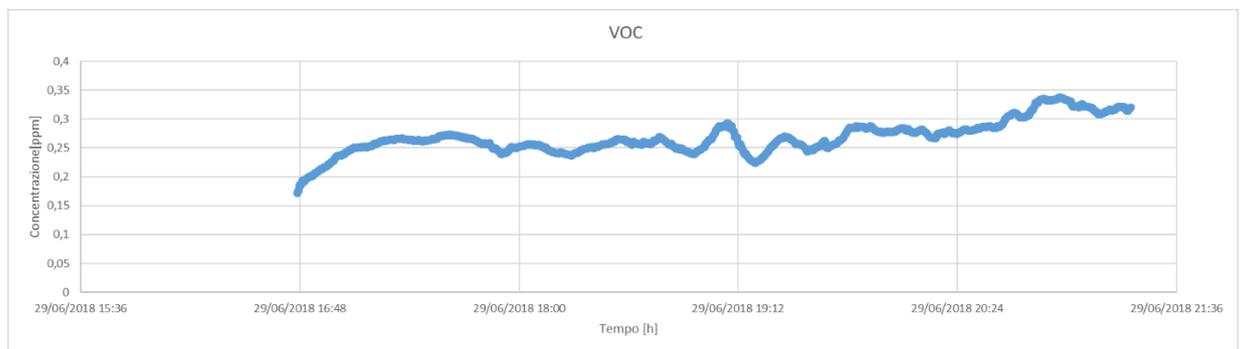


FIGURA 29_ GRAFICO CONCENTRAZIONE VOC NEL TEMPO.

6.2. DESCRIZIONE APPARATO SPERIMENTALE

Per poter testare il prototipo è stato necessario l'utilizzo di diverse tecnologie tra le quali particolari lampade che permettessero la fotosintesi anche in condizione di scarsa illuminazione naturale; sensori per il rilevamento di CO, CO₂, NO_x, SO₂ per poterne calcolare la concentrazione all'interno del prototipo; è stato scelto un substrato adeguato a un ottimale resa della pianta e infine una volta terminate le varie prove, è stato considerato il calcolo dell'indice di area fogliare.

I sensori sono stati connessi a un sistema di acquisizione, chiamato Seneca, che una volta rielaborati i dati, li trasmette al software di interfaccia adoperato.

6.2.1. FS e PRI

Per ottenere informazioni relative all'attività fotosintetica della pianta si può eseguire la stima della fluorescenza della clorofilla indotta dal sole (FS) e l'indice spettrale Photochemical Reflectance Index (PRI).

La fluorescenza si origina dalla de-eccitazione radiativa delle molecole di clorofilla dei fotosistemi, mentre il PRI è un indice ottico legato al grado di de-epossidazione delle xantofille (un importante meccanismo fotoprotettivo della vegetazione).

Il principio alla base di queste nuove tecniche di telerilevamento per il monitoraggio della fotosintesi si fonda sull'analisi dell'utilizzazione dell'energia luminosa assorbita dalla vegetazione, in quanto la radiazione solare fotosinteticamente attiva assorbita dai pigmenti (principalmente clorofilla a,b) viene in parte utilizzata come input energetico nel processo fotosintetico.

La restante frazione di energia assorbita viene dissipata secondo due differenti modalità:

- i) emissione fluorescente;
- ii) dissipazione in calore collegato con l'attivazione del ciclo delle xantofille.

Questi tre processi dissipativi, fotosintesi, fluorescenza e dissipazione del calore, avvengono in competizione tra loro, così che l'aumento di efficienza di uno comporta l'inevitabile variazione dell'efficienza altri due.

Negli ultimi anni la fluorescenza della clorofilla è diventata un parametro ampiamente utilizzato nelle indagini ecofisiologiche, ma finora l'applicazione è stata limitata a campionamenti di singole foglie o comunque di target relativamente vicini all'osservatore e comunque di dimensioni ridotte, dovute al fatto che le tecniche di misura generalmente impiegate fossero di tipo attivo (impiego di una sorgente artificiale di eccitazione).

Esiste anche una tecnica passiva che permette quindi la misura a distanza (remota) della fluorescenza. Tale tecnica si basa sul metodo Fraunhofer Line Depth (FLD), che analizza l'energia luminosa emessa dalla clorofilla in determinate regioni spettrali nelle quali sono presenti le linee di Fraunhofer, ossia stretti intervalli spettrali delle dimensioni di pochi nanometri, nelle quali la radianza solare incidente è fortemente ridotta da assorbimenti che avvengono nell'atmosfera solare e terrestre.

In particolare la tecnica proposta prevede l'utilizzo della linea di Fraunhofer presente a 760 nm, che ben si presta nel monitoraggio della fotosintesi delle piante, in quanto è prossima al picco di emissione di fluorescenza della clorofilla presente a 740 nm.

Il Photochemical Reflectance Index (PRI) è invece un indice spettrale nel dominio visibile (verde) sensibile ai rapidi cambiamenti dello stato di de-epossidazione dei pigmenti che formano il ciclo delle xantofille (e di conseguenza alla dissipazione in calore), ma tecnicamente risulta più semplice da calcolare rispetto alla fluorescenza, in quanto è basato sulle variazioni di riflettanza a 531 nm. Analiticamente il PRI è formalizzato come $PRI = (p_{531} - p_{570}) / (p_{531} + p_{570})$, la riflettanza a 571 nm non essendo influenzata dalle xantofille è impiegata come banda di riferimento.

C'è da dire che la fluorescenza è meno influenzata rispetto alla riflettanza dalla posizione reciproca di sorgente-target-sensore, in accordo con il fatto che F_s è un flusso radiante emesso. L'analisi del PRI richiede invece delle considerazioni ulteriori, in quanto essendo un indice normalizzato presenta un comportamento strettamente legato alla differente anisotropia delle lunghezze d'onda impiegate per calcolarlo.

6.2.2. ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE PER SISTEMI DI COLTIVAZIONE INDOOR

Non esistono ancora lampade che possano riprodurre esattamente lo spettro completo della luce del sole. Tuttavia oggi per il verde indoor la tecnologia ci offre valide soluzioni sia per la crescita sia per la fioritura delle piante, le quali necessitano di luci speciali, poco riscaldanti, con alta potenza, alta quantità di flusso luminoso (lumen e PAR) e spettro cromatico adatto alla fotosintesi e richiedono lampade assai diverse da quelle comunemente utilizzate per l'illuminazione degli ambienti.[34]

Se la potenza (W) della lampada è un fattore importante in fase di crescita e a maggior ragione di fioritura, così lo spettro luminoso dei bulbi utilizzati per la coltivazione in interni (o in serra come integrazione della scarsa luce solare invernale) in genere deve contenere in percentuale differente, a seconda delle esigenze, luce blu con un range di 430-480 nm (per la crescita) e luce rossa con un range di 630-680 nm (per la fioritura) o comunque bande di colore comprese tra i 400 e i 700 nm, con temperature di colore tra i 4000 e i 6000 gradi Kelvin (°K).

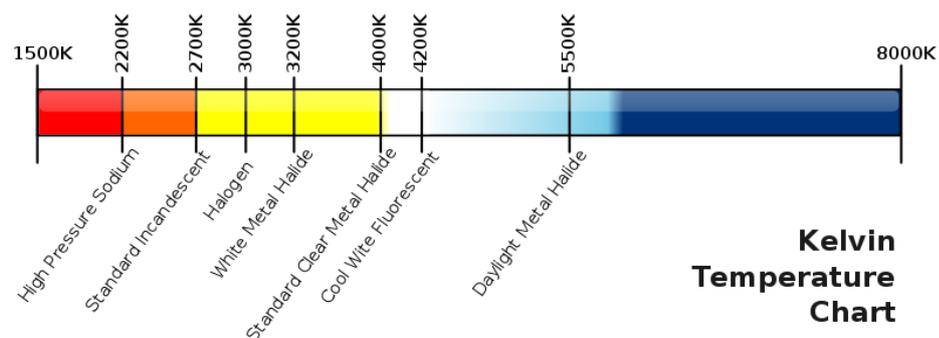


FIGURA 30_ GRAFICO TEMPERATURA IN KELVIN IN FUNZIONE DELLA LUCE. (FONTE: [34])

Ciò che conta alla fine (oltre all'efficienza totale e al rapporto tra luce rossa e luce blu) non sono i livelli di illuminazione quantificati in lumen, riferiti allo spettro visibile a occhio umano, ma lo spettro di emissione relativo o PAR (Photosynthetic Active Radiation), ossia la radiazione attiva per la fotosintesi su una certa superficie di coltura, che ci dice quanta luce emessa da una lampada è effettivamente utilizzabile dalle piante per il loro ciclo vitale.

I bulbi e le tecnologie possono essere di diversi tipi, da scegliersi principalmente in base alle fasi di crescita e alle necessità di esposizione delle varietà da illuminare (poca o molta luce), e vanno sostituiti periodicamente, perché con l'usura ne vengono compromesse le prestazioni.

Oltre ai bulbi, gli impianti completi d'illuminazione comprendono i riflettori (potenziamento del fascio luminoso) i timer (controllo delle necessarie ore di luce e di buio) e ovviamente gli alimentatori dei bulbi stessi.

È importante che le fonti luminose siano vicine a sufficienza alle piante da illuminare, in modo che tutta la luce proveniente dalle prime ricada sulle ultime senza dispersione sulla zona circostante.

La distanza giusta va quantificata in base alla natura e potenza della fonte luminosa e alla tipologia di pianta.[35]

Le superfici intorno, come le pareti, devono essere chiare per poter riflettere la luce senza assorbirla. Nell'area di coltura le piante non vanno messe troppo ammassate per non farsi concorrenza e ombra vicendevolmente ed è preferibile ruotarle e cambiarle di posizione rispetto alla luce con regolarità, in modo che la assorbano con uniformità.

Il ciclo naturale d'illuminazione della pianta prevede l'alternarsi di giorno e notte, orientativamente di 18 ore di luce in fase vegetativa o 12 ore in fase di fioritura, da gestire con un timer.

6.2.2.1. TIPOLOGIE DI LAMPADE

Le lampade usate sono:

- Lampade compatte fluorescenti, CFL

Sono le più economiche, adatte alla crescita vegetativa ma meno adatte alla fioritura.

- Lampade agli alogenuri metallici, HQI

Adatte alla crescita vegetativa e meno adatte alla fioritura.

- Lampade ad alta pressione di sodio (HPS)

Sono le più adatte per la fioritura.

- Lampade tipo Agro o GroLux

Sono adatte sia per la fase fotosintetica, sia per la fase vegetativa, inoltre sono buone anche per la fioritura. Le lampade Agro sono dotate sia di spettro rosso che di spettro blu.

- Lampade LED

Le lampade a led per piante sono quelle più costose ma anche le più complete. Emettono luce in tutti gli spettri e alcune sono programmabili, cioè possono prediligere uno spettro luminoso piuttosto che un altro così da poter essere sempre specifiche nelle varie fasi vegetative della pianta.

6.2.3. SUBSTRATO DI CRESCITA

Il substrato - o medium di coltivazione - è la sostanza dove si semina e si fanno crescere le piante.

Nella coltivazione idroponica, pur non trattandosi di un terreno vero e proprio, è il luogo dove l'apparato radicale delle piante dovrà espandersi. Il substrato di per sé non contiene sostanze nutritive e proprio per questa ragione viene chiamato substrato inerte.

Per questa sua caratteristica specifica che la differenza dal normale terreno o terriccio di coltivazione diventa necessario irrigarlo, in maniera continua o ad intervalli, con la soluzione nutritiva.

Occorre, tuttavia, sapere che per molte varietà di piante non è indispensabile il ricorso ad un substrato perché è possibile coltivarle, direttamente, nella soluzione nutritiva.

Nelle colture idroponiche l'orientamento generale è di utilizzare dei substrati ad alta efficienza che si possano recuperare, sia per poterli adoperare in più cicli di coltivazione, sia per poterli riciclare: per esempio, quando non svolgono più la loro funzione, possono essere inseriti e riutilizzati nel mercato dell'industria o dell'edilizia.[36]

6.2.3.1. Tipologie di substrati per la coltivazione idroponica

Di seguito si descriveranno i migliori substrati per la coltivazione idroponica amatoriale e professionale:

- Lana di Roccia, Rockwool e lastre Grodan

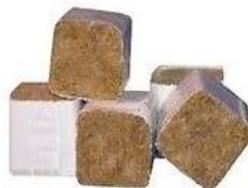


FIG.34 _ CUBI ROCKWOOL. (FONTE: [36])

La lana di roccia è un materiale soffice, molto permeabile e quindi ha una scarsa ritenzione idrica pur avendo, per contro, una grande capacità di far circolare molto ossigeno. Questo materiale non è biodegradabile ed è venduto in cubi (cubi rockwool) o in lastre (lastra rockwool).

È possibile utilizzare la lana di roccia in diverse tecniche di coltura idroponica, come ad esempio la coltura in sacco, o nei sistemi idroponici attivi a goccia. Spesso, più nella coltivazione idroponica professionale, la lana di roccia è utilizzata per la germinazione dei semi in semenzai idroponici. Si può seminare in lastre o in cubi di lana di roccia a patto che

venga introdotta in un contenitore sul fondo del quale permangono, costantemente, uno o due centimetri di soluzione nutritiva.

Questo substrato è molto comodo per effettuare spostamenti delle piante appena nate, dall'area di germinazione all'area di crescita: basta spostare delicatamente tutto il cubo con le radici e posizionarlo direttamente nel sistema idroponico. Per riutilizzare la lana di roccia è sufficiente lavarla con candeggina o lisofornio nella proporzione 4:1, quindi quattro parti di acqua ed una di candeggina o lisofornio, successivamente si sciaccherà e si lascerà asciugare.[35]

- Cubi Organici Root Riot

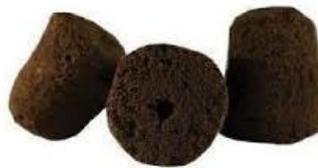


FIG.35 _ CUBI ORGANICI RIOT. (FONTE: [36])

I cubi Root Riot sono composti da materiale organico compostato. Questi cubi hanno una consistenza molto spugnosa e mantengono l'ideale rapporto ossigeno/acqua che occorre alle piante nella coltivazione idroponica.

Questo materiale si utilizza come la lana di roccia tradizionale, è adatto sia per talee che per la germinazione di semi. Generalmente i cubi in spugna biodegradabile sono pre-fertilizzati (leggermente) per migliorare la percentuale di successo della germinazione di semi e la propagazione delle talee.[37]

- La Torba



FIG.36_ TORBA. (FONTE:[36])

La torba è una sostanza organica morbida e soffice, va molto d'accordo con le radici delle piante. Viene spesso mischiata con vermiculite, perlite e sabbia. È bene non confondere la torba per idroponica con la torba per terriccio. Il colore della torba asciutta utilizzata nella coltivazione idroponica è marrone chiaro, quella del terriccio è generalmente nera.

Un difetto della torba nella coltura idroponica è che, una volta asciutta, diventa impermeabile all'acqua, pertanto conviene mantenerla sempre umida anche quando non la si utilizza. Un'espedito valido può essere quello di introdurla in sacchetti di plastica sigillati ermeticamente. Per ottenere un substrato più soffice e drenante è consigliato seguire una delle seguenti formule:

10 litri di torba + 4 litri di perlite

10 litri di torba + 4 litri di vermiculite

10 litri di torba + 4 litri di polistirolo espanso a pezzettini

- Argilla Espansa per Orticoltura



FIG.37_ ARGILLA ESPANSA. (FONTE: [36])

L'argilla espansa è un materiale inerte, non organico, abbastanza leggero molto utilizzato nelle colture idroponiche per le sue proprietà: le palline d'argilla espansa non combaciando tra loro, lasciano ampi spazi dove si accumula ossigeno. L'argilla espansa ha un'ottima ritenzione idrica e riesce ad assorbire il 30% d'acqua oltre ad avere, nello stesso tempo, un formidabile potere drenante.

È riutilizzabile per numerose colture, si sterilizza con facilità ed è riciclabile. Questi pregi uniti al fatto di essere economicamente conveniente, ne hanno fatto un substrato perfetto per la coltivazione indoor idroponica.

- Vermiculite e Perlite



FIG.38_ Vermiculite e Perlite. (Fonte:[36])

La vermiculite e la perlite sono materiali inorganici ed inerti. Vengono spesso usati per alleggerire i substrati più compatti con lo scopo di renderli più ariosi e drenanti. Nella coltivazione idroponica a volte vengono utilizzati da soli o uniti a porzioni di sabbia. Sono materiali leggeri, generalmente confezionati in buste sotto forma di granuli o palline.[36]

6.2.4. GENERALITÀ SUI SENSORI

Il principio di funzionamento di uno strumento in grado di fornire la misura di una grandezza si basa su tre stadi:

1. rilevare la grandezza da misurare
2. modificare il segnale ottenuto dal rilevamento affinché possa essere inviato al terzo stadio
3. rappresentare il risultato delle precedenti operazioni in maniera idonea.



FIGURA 31_ STADI DELLA CATENA DI MISURA.

Il primo stadio della catena di misura è costituito dall'elemento che rileva la grandezza fisica che si vuole misurare (o controllare) e viene, in generale, definito sensore in quanto è sensibile a questa grandezza.[38]

Il sensore è un dispositivo in grado di fornire un segnale di uscita (output) in risposta ad uno specifico segnale di ingresso (input). Il segnale in uscita è sempre una grandezza elettrica, il segnale in entrata può essere una qualunque quantità, proprietà o condizione chimico-fisica.

In generale, nel caso in cui la natura fisica del segnale sentito dal sensore viene cambiata in un'altra che può essere più facilmente elaborata dagli stadi successivi della catena di misura, il sensore prende il nome di trasduttore.

I segnali sono stati raggruppati in sei classi:

1. Meccanici: lunghezza, area, volume, velocità angolare, accelerazione, massa, forza, pressione.
2. Termici: temperatura, calore specifico, entropia, flusso termico.
3. Elettrici: corrente, potenziale, resistenza, induttanza, capacità, costante dielettrica, momento dipolare.
4. Magnetici: intensità di campo, momento magnetico, densità di flusso, permeabilità.
5. Radianti: lunghezza d'onda, polarizzazione, intensità di fase.
6. Chimici: composizione, concentrazione, velocità di reazione, pH, potenziale redox.

		OUTPUT					
		MECCANICI	TERMICI	ELETRICI	MAGNETICI	RADIANTI	CHIMICI
INPUT	MECCANICI	Effetti acustici	Attrito	Piezoelasticità, piezoresistività	Effetti magneto-meccanici	Sistemi foto-elastici, interferometria	
	TERMICI	Dilatazione termica		Temoresistenza, piroelettricità		Effetti termooptici	Reazioni di attivazione, dissociazione
	ELETRICI	Legge di Ampere, elettrometria	Effetti Joule e Plietier	Test di Langmuir	Legge di Biot-Savat	Elettroluminescenza	Elettrolisi, Elettromigrazione
	MAGNETICI	Effetto magnetico-strittivo	Effetti termomagnetici, galvanometrici	Effetti galvanomagnetici, effetto Hall		Effetti magnetoottici, effetto Faraday	
	RADIANTI	Pressione radiante	Termopila, bolometro	Magnetoresistività, effetto fotovoltaico		Effetti fotoresistivi	Fotosintesi
	CHIMICI	Igrometro, effetti fotoacustici	Calorimetri, Conducibilità termica	Potenziometria, amperometria	Risonanza magnetica nucleare	Spettroscopia, Chemiluminescenza	

FIGURA 32_ PRINCIPI DI TRADUZIONE (FONTE: [39])

- Sensore PID per VOC

I rilevatori a fotoionizzazione (PID) misurano i VOC e altri gas tossici in basse concentrazioni da 0,1 a ppm.

Il PID è simile ad un righello. Può indicare la quantità di gas o di vapore presente, ma siamo noi a dover determinare il tipo di gas o di vapore. Quando si vuole misurare una sostanza chimica sconosciuta, il PID è impostato sul gas di taratura isobutene.

Una volta identificata la sostanza chimica attraverso un cartello, un elenco, una bolla di consegna o altro, la sensibilità del PID può essere impostata su quella sostanza specifica in modo che la lettura venga effettuata con una scala adeguata.

Come funziona un PID? (Photo ionization Detector) un PID utilizza una fonte di luce (foto = luce) ultravioletta (UV) per scomporre le sostanze chimiche in ioni positivi e negativi (ionizzazione) facilmente misurabili con un rilevatore.

Il rilevatore misura la carica elettrica del gas ionizzato e converte il segnale in corrente. La corrente viene quindi amplificata e visualizzata sul contatore in "ppm". I PID non sono

distruttivi, non “bruciano” né alterano permanentemente il gas campione, permettendo l'utilizzo per la raccolta di campioni.

Lo strumento da valori in ppm o ppb da valutare dall'operatore ai fini della tossicità (TWA STEL) a differenza dei comuni esposimetri che misurano l'infiammabilità %LEL o % VOL.
[40]

- Sensore elettrochimico

Il funzionamento di un sensore elettrochimico è determinato dalla variazione dei parametri elettrici di due elettrodi immersi in una soluzione elettrolita. Tale variazione è causata dalle reazioni di ossidoriduzione del gas a contatto con la superficie degli elettrodi.

Gli elettrodi e l'elettrolita sono posti in membrane semipermeabili. Per ottenere elevate precisioni e risoluzioni i sensori elettrochimici sono in genere dotati di tre elettrodi (Reference, Sensing, Counter).

Questo tipo di sensore è molto diffuso per rivelare i gas tossici. Si possono misurare concentrazioni di idrogeno ed ossido di carbonio in concentrazioni inferiori al LIE e dell'ossigeno fino al 100% del volume.

I sensori elettrochimici hanno un consumo di energia molto basso ma reagiscono con il gas da rilevare e la conseguente trasformazione / consumo di materiale degli elettrodi si traduce in una variazione di sensibilità che richiede interventi di ritaratura. Il tempo di risposta può essere lungo per concentrazioni basse, data la lentezza della reazione chimica. Temperature inferiori a -15 °C inibiscono l'azione dell'elettrolita.

La bassa temperatura e l'umidità possono ridurre la sensibilità del sensore. La vita media di un sensore elettrochimico è di circa un anno.[41]

- Sensore non dispersivo a raggi infrarossi

Il sensore di CO₂ utilizza la tecnologia a infrarossi NDIR per misurare la concentrazione di anidride carbonica nell'ambiente o all'interno di miscele di gas.

Una sorgente a infrarossi genera un fascio che attraversa la miscela da analizzare; durante il percorso la presenza di CO₂ attenua il fascio a determinate frequenze e tale attenuazione dipende dalla concentrazione del gas.

Ogni gas ha specifiche frequenze di assorbimento e per questo è possibile misurare in modo preciso e selettivo la presenza e la quantità della sola CO₂, anche in presenza di altri gas.[42]

					
	CO	CO ₂	Nox	SO ₂	VOC
Range (ppm)	0-25 ppm	0-2000 ppm	0-1 ppm	0-10 ppm	0-20 ppm
Sensor Type	GSE	NDIR	GSE	GSE	PID
Minimum Detection Limit (ppm)	0,05 ppm	10 ppm	0,005 ppm	0,04 ppm	0,01 ppm
Accuracy of Factort Calibration (ppm)	<±0,5 ppm 0-5ppm <±10% 5-25 ppm	<±10 ppm + 5%	<±0,02 ppm 0-0,2 ppm <±10% 0,2-1 ppm	<±0,05 ppm 0-0,5 ppm <±10% 0,5-10 ppm	<±0,2 ppm + 10%
Resolution (ppm)	0,01 ppm	1 ppm	0,001 ppm	0,01 ppm	0,01 ppm
Response Time (seconds)	60 Seconds	120 Seconds	30 Seconds	60 Seconds	30 Seconds
Temp (C°)	0 to 40°	0 to 40°	0 to 40°	0 to 40°	0 to 40°
Relative humidity (%)	15 to 90%	10 to 95 %	15 to 90%	15 to 90%	0 to 95%

FIGURA 33_ CARATTERISTICHE SENSORI ADOPERATI.

6.2.5. INDICE DI AREA FOGLIARE

L'Indice di area fogliare (in inglese Leaf Area Index, da cui l'acronimo LAI) è una misura della superficie fogliare per unità di superficie del suolo ed è un parametro essenziale per lo studio delle coperture forestali e agrarie.

Il LAI è stato inizialmente definito come l'area totale di una faccia del tessuto fotosintetizzante per unità di superficie di terreno (Watson, 1947). Questa definizione può essere applicata senza problemi alle latifoglie, perché entrambe le facce della foglia hanno la stessa area.

Nel caso delle conifere, caratterizzate da aghi a sezione circolare o semicircolare, questa definizione non può essere accettata perché non rappresenta l'effettiva superficie di scambio. Anche le latifoglie possono presentare problemi in determinate situazioni, come, ad esempio, quando le foglie sono accartocciate prima di cadere.[43]

Per evitare il problema dovuto alla forma delle foglie, alcuni autori (Smith, 1991; Bolstad e Gower, 1990) proposero di modificare il parametro, introducendo l'area fogliare proiettata. In questo modo si riducevano i problemi dovuti alla forma di aghi e foglie ma sorgeva quello dell'angolo di proiezione, poiché il parametro risentiva molto della sua variazione.

Questo spinse Myneni (1997) a definire il LAI come la massima area fogliare proiettata per unità di superficie.

Lang (1991) e Chen & Black (1992), diversamente, definirono l'indice di area fogliare come metà dell'area di intercettazione per unità di superficie. Questa definizione si basava sulla capacità degli elementi della pianta di intercettare le radiazioni e sul calcolo di alcuni coefficienti di proiezione, che dipendono dai vari angoli di inclinazione dei raggi solari.[44]

Nella letteratura odierna, in particolare per le latifoglie, l'indice di area fogliare è definito come metà dell'area fogliare totale (tutte le facce fogliari) per unità di superficie.

Da tutte le definizioni si nota come il LAI è sempre dato dal rapporto di due aree, quindi, da un punto di vista strettamente matematico, è da considerarsi come un parametro adimensionale.

In realtà, dato che il rapporto è tra superficie fogliare e superficie del suolo, da un punto di vista fisico, le due unità di misura non si annullano. Quindi il LAI è più correttamente espresso in metri quadrati di fogliame su metro quadro di suolo (m^2/m^2). [45]

L'indice di area fogliare dipende da alcuni fattori quali: la composizione specifica, la fase di sviluppo del bosco, le condizioni del sito in cui si misura il parametro ed il metodo tramite il quale viene misurato. Per quest'ultimo fattore ha un peso anche l'abilità di chi lo misura.

Il LAI è estremamente variabile, in primavera ed in autunno può cambiare anche giorno per giorno, e seguendo la dinamica di sviluppo del bosco cambia di anno in anno. In boschi maturi varia in risposta alla variabilità climatica, in seguito ad annate secche o umide, in presenza di gelate tardive e precoci e altri fattori che esercitano la loro variabilità nel corso degli anni.[46]

7. CASI STUDIO DI INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA

Sono stati identificati quattro casi studio in funzione delle tipologie di aperture a cui applicare il prototipo, presenti a Torino, adattando il dispositivo in base alle necessità.

L'obiettivo è quello di ottenere una struttura totalmente estraibile dall'intelaiatura esterna, oltre a permettere l'estrazione autonoma del settore impianti, per poterne attuare la manutenzione senza difficoltà.

L'idea di creare una struttura portante per il sostegno della pianta e contenente gli impianti necessari come unico blocco, nasce dalla necessità di voler semplificare il più possibile l'impianto, rendendolo adattabile a diverse tipologie di infissi senza essere costretti ad attuare importanti modifiche della struttura originaria, e quindi produrre un prodotto più appetibile ai fini commerciali.

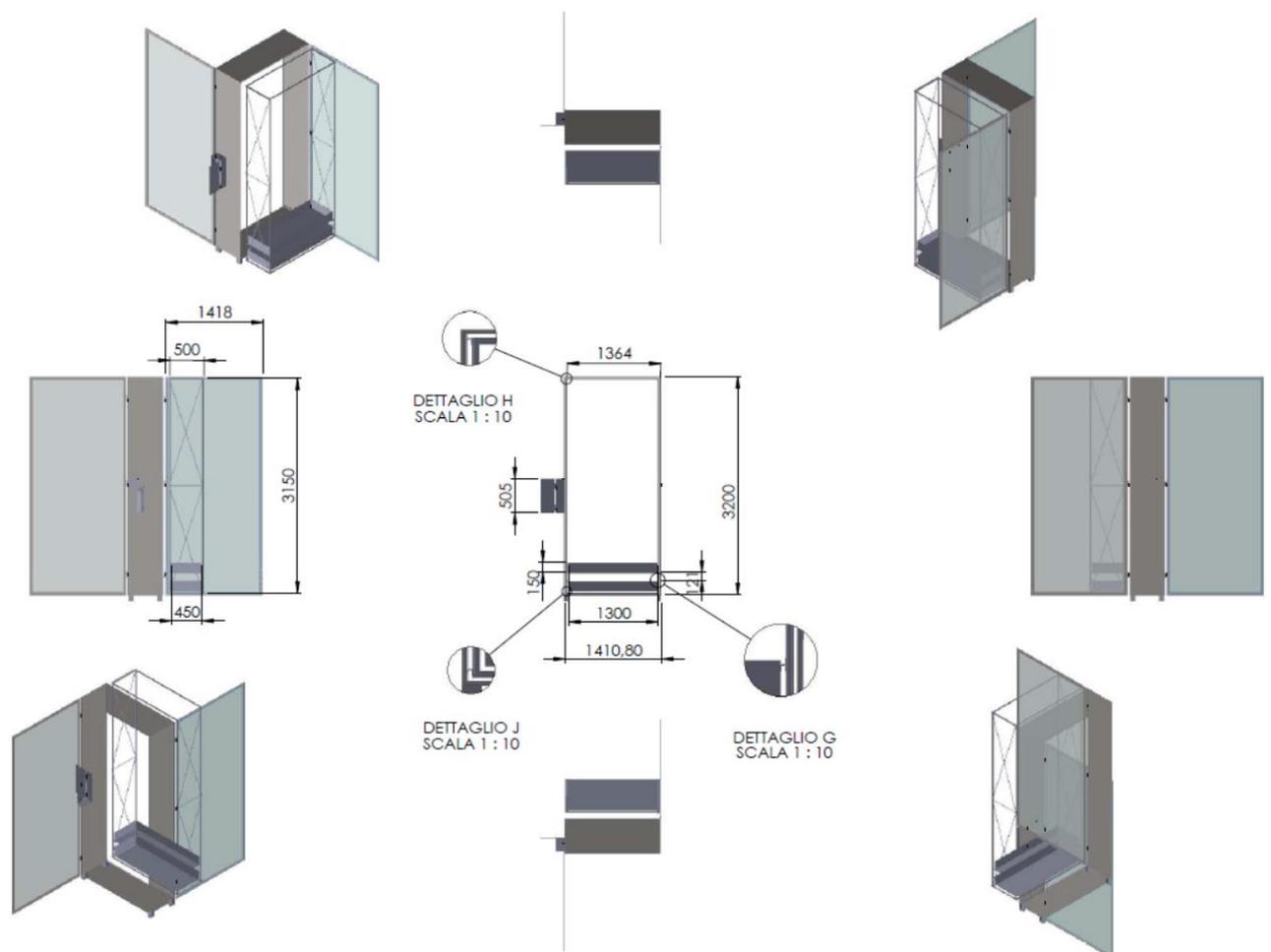


FIGURA 34_ RAPPRESENTAZIONE PROTOTIPO PROGETTO ARIA3 DA VARIE PROSPETTIVE.

È stata testata l'applicabilità del prototipo su diverse tipologie di elementi finestrati, applicando le modifiche necessarie per permettere una totale compatibilità con l'infisso già esistente.

Le tipologie considerate sono quattro tra cui i casi di edifici residenziali nel quartiere di Crocetta e di uffici nella medesima zona.

È opportuno prima di trattare i diversi casi considerare l'area di applicazione da un punto di vista architettonico.

Il passaggio dal XIX al XX secolo in Europa fu caratterizzato da un rinnovamento delle espressioni artistiche, fortemente influenzato dal progresso tecnico e dall'esaltazione positivista degli importanti traguardi raggiunti dalla scienza.[47]

In Italia, e particolarmente a Torino, la nuova corrente si affermò inizialmente come «arte nuova». Nel complessivo e variegato panorama nazionale questa nuova corrente, che in seguito assunse anche il nome di «stile floreale», non si consolidò mai in una vera e propria scuola italiana di riferimento ma si affermò vivendo il suo massimo splendore nei primissimi anni del Novecento. Nella sua prima decade, infatti, si può parlare di *Liberty*, termine che infine si affermò più diffusamente in Italia.[48]

Il Liberty interessò l'Italia intera e particolarmente il capoluogo piemontese, coinvolgendo varie discipline artistiche tra cui le arti applicate e, prevalentemente, l'architettura.

Per il successo di questa corrente stilistica e la tipologia di edifici che sorse nei primi decenni del Novecento, Torino fu definita «la capitale italiana del liberty» tanto che si percepiscono ancora oggi cospicue testimonianze architettoniche di quel periodo.

L'alta borghesia, ormai affermata definitivamente come classe egemone della società italiana, trovò nel Liberty il proprio specifico elemento distintivo, ovvero l'occasione per mostrare la propria superiorità e allo stesso tempo sottolineare il distacco dalla vecchia classe nobiliare e dalle sue dimore neoclassiche e barocche ancora fortemente legate al più conservatore stile eclettico che aveva caratterizzato tutto l'Ottocento.

Tuttavia il suo aspetto innovativo non fu soltanto la contrapposizione al neogotico e all'eclettismo ma anche una maggiore considerazione delle arti applicate come implicito

punto di forza, poiché il Liberty confidò, grazie anche al crescente sviluppo della tecnica, in una produzione su vasta scala di un'arte che nella sua emblematica bellezza fosse accessibile alla maggior parte del tessuto sociale dell'epoca; malgrado queste premesse anche a Torino quest'iniziale vocazione populistica del Liberty andò scemando, l'ideale di un «socialismo della bellezza» andò evolvendosi in un ricco trionfo di motivi floreali, nervature filiformi, ardite decorazioni metalliche di chiara ispirazione fitomorfa ma divenne presto soltanto un privilegio delle classi sociali più abbienti.

In questo contesto Torino, con un certo anticipo rispetto al resto d'Italia, fu la città italiana che più seppe accogliere questo nuovo stile e farne emblema dello status dell'emergente borghesia industriale locale e straniera, che nel capoluogo piemontese insediò nuovi e numerosi stabilimenti proprio negli anni a ridosso tra Ottocento e Novecento.[49]

In questo ventennio, pur vantando un panorama architettonico caratterizzato prevalentemente dalla connotazione barocca di scuola guariniana e juvarriana dei numerosi palazzi nobiliari e delle residenze sabaude, si lasciò permeare da questa nuova corrente stilistica.

Malgrado la connotazione principalmente barocca di scuola guariniana e juvarriana, il patrimonio architettonico della vecchia capitale sabauda conserva pressoché intatte ancora oggi importanti testimonianze liberty e la presenza di architetture di quell'epoca è ancora percepibile in alcune zone centrali del capoluogo come i quartieri del centro storico, la Crocetta, San Salvario, la collina ma con un'assoluta predominanza nell'area circostante il primo tratto di corso Francia, comprendente i quartieri Cit Turin e San Donato.

L'emblema di alcune prime sperimentazioni che lasciano comunque trasparire influssi del *Liberty* sono sicuramente Palazzo Bellia (1898) e Palazzo Priotti (1900).

Qui Carlo Ceppi, ha saputo fondere caratteristiche barocche ed eclettiche a sinuosità già *liberty* e, nel caso di Palazzo Bellia, ha fatto ampio uso di bovindi, torrette e archi trilobati, facendone uno degli edifici più caratteristici della centralissima via Pietro Micca.

Nel quartiere Crocetta si può ammirare la notevole Casa Maffei (1905), con ringhiere e ferri battuti del maestro lombardo Alessandro Mazzucotelli, su progetto di Antonio Vandone di Cortemilia; altri suoi esempi da menzionare sono alcuni palazzi di corso Galileo Ferraris e

corso Re Umberto, caratteristici per i decori fitomorfi e l'ampio impiego di vetri colorati e ferro battuto.[50]

Dopo aver seguito un excursus sull'architettura torinese, sono stati presi in considerazione quattro casi, reputati tipici della zona in esame. I quattro casi rappresentano differenti tipologie di finestre e porte finestre, alle quali, dopo un attento studio, si è ipotizzata l'applicazione del prototipo cercando di alterare il meno possibile l'aspetto in facciata.

Le ipotesi di applicazione del prototipo sono state possibili attraverso l'utilizzo di un software di progettazione, Sketckup. Grazie a quest'ultimo si è pensato a un adattamento del prototipo all'infisso esistente. Dopo di che per rendere possibile la rappresentazione del lavoro svolto, sono stati effettuati dei renderings attraverso il software di grafica Lumion.

TAVOLA_1: APPLICAZIONE PROTOTIPO SU CASI ESISTENTI

7.1. APPLICAZIONE PROTOTIPO PROGETTO DI MILANO

Il progetto preso in esame, per valutare l'applicabilità del prototipo studiato, è sito in Via Locarno 9, Milano. L'edificio si presenta circondato da altre strutture di tipo residenziale e non, inoltre, affaccia su una strada secondaria.

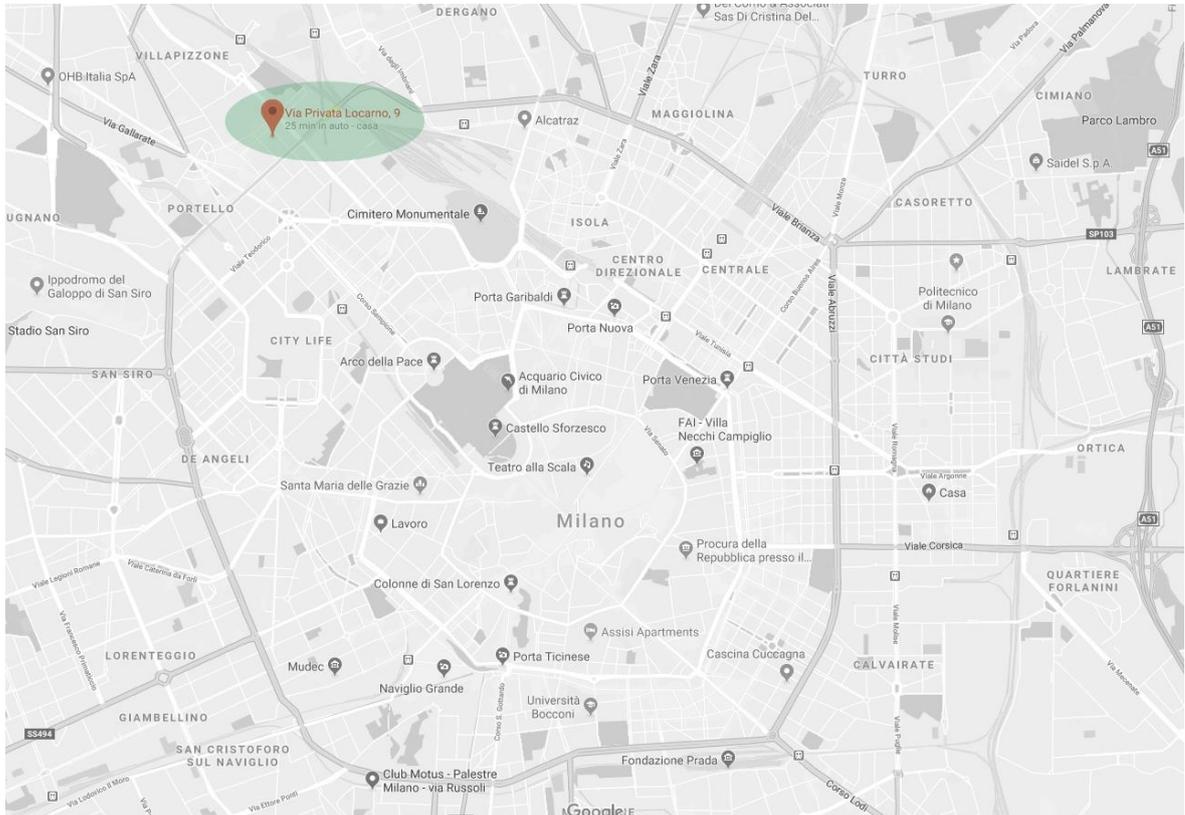


FIGURA 35_GEOLOCALIZZAZIONE DELL'EDIFICIO

Allo stato attuale, la struttura si ripartisce su tre piani: un piano seminterrato, un piano rialzato e un primo piano. Come possiamo notare dalle piante, gli ambienti non sono utilizzati a scopo residenziale ma ad uso commerciale, infatti comprendono un'officina meccanica, magazzino e uffici, inoltre è presente anche una mensa e uno spogliatoio.

Il piano seminterrato è costituito da un ampio magazzino localizzato a Sud-Ovest, una cantina di medie dimensioni, un locale caldaia e infine un bagno. Nel piano rialzato un corridoio porta ad un'aria uffici, adiacente a quest'ultima, si trova un'officina meccanica di ben 234 m². Infine il primo piano comprende una mensa, lo spogliatoio e i servizi.

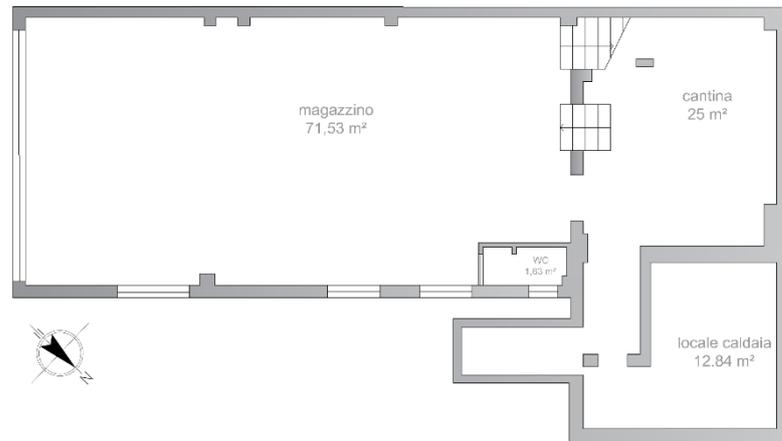


FIGURA 36_ PIANTA PIANO SEMINTERRATO

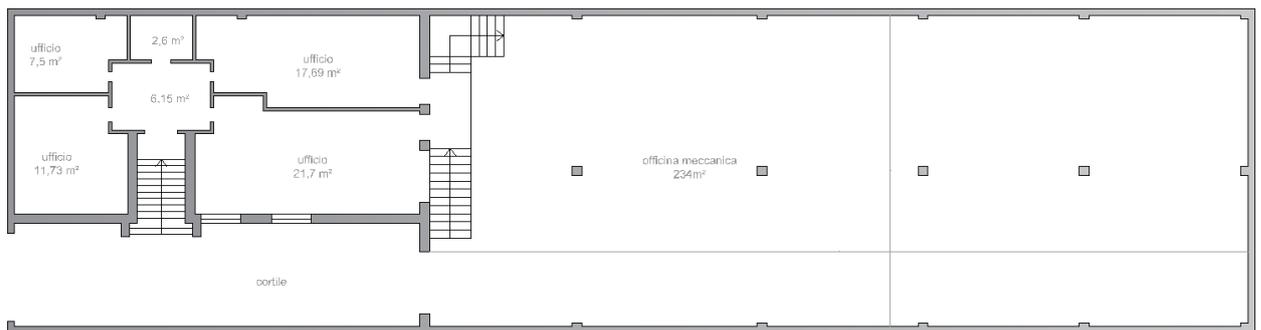


FIGURA 37_ PIANTA PIANO RIALZATO

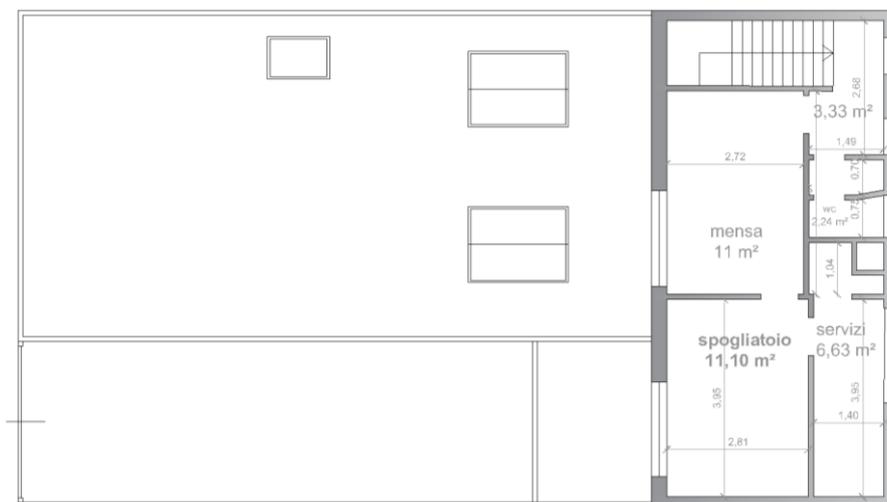


FIGURA 38_ PIANTA PIANO PRIMO

Il presente progetto ha stravolto completamente la struttura di partenza, sono state compiute modifiche nette sulla struttura e sulla distribuzione dei m² edificabili a disposizione, per poter modificare la destinazione d'uso da commerciale a residenziale.

Inoltre, importanti limitazioni sono state dovute agli edifici confinanti, sui fronti Nord-Est, Sud-Ovest e Nord-Ovest, che hanno impedito la creazione di aperture sulle medesime facciate. Per questo motivo si è pensato di ideare delle pareti vetrate sulle facciate non confinanti con altre proprietà private, così da rispettare come da norma il rapporto aeroilluminante (ovvero il rapporto tra la superficie del pavimento e quella delle finestre) che non deve essere inferiore a 1/8.



FIGURA 39_VISTA DALL'ALTO

Per ovviare al problema di scarsa illuminazione degli ambienti, inoltre, è stato creato un giardino interno, grazie al quale è stato possibile creare delle nuove aperture migliorando l'illuminazione dei vani.



FIGURA 40_ VISTA FACCIATA NORD-OVEST CON GIARDINO



FIGURA 41_ VISTA FACCIATA SUD-EST MONOLOCALE CON GIARDINO

La struttura è composta da quattro unità abitative: un monolocale di 60 m²; un piano rialzato di 80 m², per una famiglia di tre componenti; un bilocale situato al primo piano di 60 m² e infine al secondo piano, un altro monolocale di 50 m².

TAVOLA_2: PIANTA MONOLOCALE

TAVOLA_3: PIANTA PIANO RIALZATO

TAVOLA_4: Pianta Primo Piano

TAVOLA_5: Pianta Secondo Piano



FIGURA 42_ VISTA PROSPETTICA EDIFICIO



FIGURA 43_ VISTA PROSPETTICA EDIFICIO



FIGURA 44_VISTA INTERNA CAMERA DA LETTO, MONOLOCALE



FIGURA 45_VISTA INTERNA SOGGIORNO CUCINA, MONOLOCALE

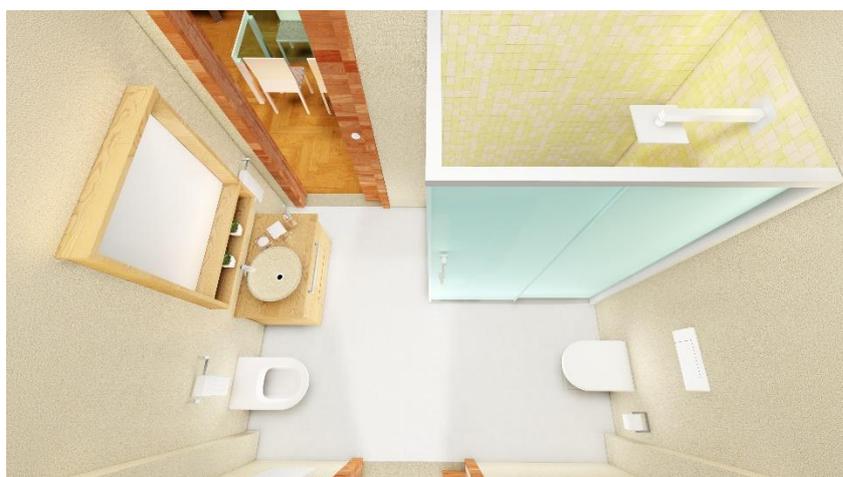


FIGURA 46_VISTA INTERNA BAGNO



FIGURA 47_VISTA INTERNA SOGGIORNO CUCINA, APPARTAMENTO PIANO RIALZATO

Eccetto il monolocale di 60 m², le unità abitative sono connesse da un vano scala vetrato che porta anche a un seminterrato, dove si trova un piccolo garage per due auto e due cantine. A una quota -6m si trova il sotterraneo con due cantine, un locale tecnico e un locale adibito per il deposito di utensili da giardinaggio.

TAVOLA_6: PIANTA GARAGE_CANTINE

TAVOLA_7: PIANTA LOCALE TECNICO_CANTINE_LOCALE UTENSILI
GIARDINAGGIO



FIGURA 48_ VANO SCALA

Sulle facciate Sud-Est è stato possibile applicare il prototipo Aria3, sono state scelte le facciate esposte a Sud-Est per ottimizzarne il funzionamento, così da ricevere maggiore irraggiamento solare per l'arco di tutta la giornata e anche in periodo invernale. L'applicazione di Aria3 è stata eseguita anche sul lato Nord-Ovest seppur ottenendo un minor rendimento a confronto alle facciate esposte a Sud-Est.

Uno dei punti cruciali affrontati, è la progettazione degli infissi che dovevano ospitare il prototipo. Il prototipo è stato ideato in modo tale da richiedere il minor numero di modifiche possibili alla struttura, è costituito infatti da un telaio esterno disponibile in vari formati, per un adattamento ottimale.

Per rendere il prototipo funzionale, la tenuta dell'infisso è essenziale, di conseguenza, ha richiesto particolare attenzione la progettazione del giunto di connessione tra l'infisso e le pareti verticali, considerando che è stato scelto un rivestimento a cappotto esterno.

TAVOLA_8: SEZIONE ORIZZONTALE PROTOTIPO

TAVOLA_9: SEZIONE TRASVERSALE PROTOTIPO

TAVOLA_10: SEZIONE PROSPETTICA PROTOTIPO

TAVOLA_11: PARTICOLARE COSTRUTTIVO NODO PILASTRO_MURO

TAVOLA_12: PARTICOLARE COSTRUTTIVO PARETE OPACA VERTICALE ESTERNA



FIGURA 49_VISTA INTERNA PROTOTIPO



FIGURA 50_VISTA ESTERNA PROTOTIPO



FIGURA 51_VISTA ESTERNA PROTOTIPO

8. CONCLUSIONE

Dal lavoro di tesi e dalle analisi effettuate è emerso che il prototipo Aria3, a livello strutturale, si può adattare, con le opportune modifiche, a svariate tipologie di edifici, sia già esistenti, che di nuova costruzione, ma ponendo l'attenzione su alcuni importanti dettagli descritti.

Come la tipologia di piante utilizzate, l'esposizione, i led adoperati in mancanza di irraggiamento solare, sono tante le variabili che potrebbero interferire su un ottimale funzionamento del prototipo.

Ma attenzionando questi punti, il dispositivo sarà di semplice installazione, anche grazie alla sua struttura modulare che la faciliterà.

Inoltre dai test eseguiti in un ambiente isolato e privo di altri inquinanti, ad eccezione di quelli analizzati, è emersa una graduale diminuzione degli inquinanti, iniettati, per effettuare le prove. Ciò dimostra che è possibile creare un dispositivo in grado di depurare l'aria con un limitato utilizzo di energia non rinnovabile.

Questo prototipo apre nuove strade verso un futuro più verde, dove l'inquinamento dell'aria in-door, può essere debellato, utilizzando una risorsa gratis e non inquinante a sua volta, le piante. È un importante passo per avvicinare l'architettura e l'ingegneria alla natura, e soprattutto comprendere che la loro integrazione è l'unica risposta accettabile.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. De Marco, "Lo stato della ricerca sull' inquinamento atmosferico in Italia."
- [2] R. D. L. E. Taurino, A. Caputo, "Emissioni e qualità dell'aria."
- [3] Luigi Rolla, *Chimica e mineralogia*. 1987.
- [4] Gualtiero A.N. Valeri, "Su un nuovo parametro caratterizzante le celle ozonogene", *Convegno Associazione Italiana Progettisti Industriali*. Milano, 2004.
- [5] Editrice, "Le due facce dell'azoto: un gas inerte che quando è reattivo crea danni," 2017. [Online]. Available: <https://www.informazioneambiente.it/azoto/>.
- [6] Q. Rahman, P. Nettesheim, K. R. Smith, P. K. Seth, and J. Selkirk, "International conference on environmental and occupational lung diseases.," *Environ. Health Perspect.*, vol. 109, no. 4, pp. 425–31, Apr. 2001.
- [7] N. Künzli *et al.*, "Public health impact of outdoor and traffic related air pollution: a European assessment," *Lancet*, vol. 356, pp. 795–801, 2000.
- [8] A. Marconi, "Materiale particellare aerodisperso: Definizioni, effetti sanitari, misura e sintesi delle indagini ambientali effettuate a Roma," *Ann. Ist. Super. Sanita*, vol. 39, no. 3, pp. 329–342, 2003.
- [9] Y. Huang *et al.*, "Removal of indoor volatile organic compounds via photocatalytic oxidation: A short review and prospect," *Molecules*. 2016.
- [10] S. W. R. and M. M. L. Burge H. A., "Evaluation of indoor plantings as allergen exposure sources.," *J. Allergy Clin. Immunol.*, vol. 70, pp. 101–108, 1982.
- [11] Eugenia Accusani, "Gli studi sulla qualità dell'aria negli ambienti confinati," *Ambient. e Lav. La Qual. dell'aria negli Ambient. Confin.*, pp. 0–4, 2018.
- [12] E. D. S. and S. L. E. Owen M. K., "Airborne particle sizes and sources found in indoor air.," *Atmos. Environ. 26A*, vol. 2149–2162, 1992.

- [13] M. della Salute, "Principali inquinanti indoor e loro fonti," 2015. [Online]. Available: http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?lingua=italiano&id=4389&area=indor&menu=vuoto.
- [14] Balvanera P., Pfisterer A.B., Buchmann N., He J.-S., Nakashizuka T., Raffaelli D., Schmid B., *Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services*. 2006.
- [15] Baró F., Chaparro L., Gómez-Baggethun E., Langemeyer J., Nowak D.J., Terradas J., *Contribution of ecosystem services to air quality and climate changemitigation policies. The case of urban forests in Barcelona, Spain*. 2014.
- [16] Costanza R., Fisher B., Mulder K., Liu S., Christopher T., *Biodiversity and ecosystem services: A multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production*. 2007.
- [17] Escobedo F.J., Kroeger T., Wager J.E., *Urban forest and pollution mitigation. Analyzing ecosystem services and disservices*. 2011.
- [18] Manes F., Salvatori E., *Ecosystem Services of urban trees: The case of Rome*. 2014.
- [19] Maurizio Corrado, *Il sentiero dell'architettura porta nella foresta*, 2012th ed. Firenze, 2012.
- [20] Laura Daglio, *Facciate verdi e sistemi di schermatura verde con piante*. 2011.
- [21] Francis Hallé e Patrick Blanc, *Biologia sotto una foresta equatoriale: rapporto di Studio Radeus*. Guiana, 1990.
- [22] Valeria Tatano, *Verde: naturalizzare in verticale*. 2014.
- [23] Richard L. Hindle, "Un giardino verticale: origini della struttura architettonica e del sistema portante della vegetazione," *Stud. nella Stor. dei giardini e paesaggi Progett. un Trimest. internazionale*, vol. 32: 2, pp. 99–110, 2012.
- [24] A. Musacchio and A. Musacchio, "Il verde come elemento di chiusura," no. January 2008, 2014.
- [25] M. e Y. de K. Kloos, *Amsterdam Architecture 2006-2008*. Amsterdam, 2008.

- [26] G. Soreanu, M. Dixon, and A. Darlington, "Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants - A mini-review," *Chemical Engineering Journal*. 2013.
- [27] Antonio Musacchio, "FACCIAE VEGETALI BENEFICI E APPLICAZIONI INNOVATIVE," *AZERO*, vol. 2226, 2015.
- [28] V. T. Nicola Sinopoli, *Sulle tracce dell'innovazione: tra tecniche e architettura*. 2006.
- [29] "Alex Johnson 3D Artist & Animator." [Online]. Available: <http://www.aj-3d.com/portfolio-item/green-roof-diagram>.
- [30] Santamouris M., *Advances in Building Energy Research*. 2009.
- [31] KATIA PERINI, *PROGETTARE IL VERDE IN CITTÀ*, FRANCO ANG. .
- [32] ASHRAE, *International Weather for Energy Calculations (IWECC Weather Files) Users Manual*. 2001.
- [33] F. I. D. MOVIMENTI and P. L. T. E. IL PAESAGGIO, "Come il verde urbano può migliorare le nostre città." [Online]. Available: <http://www.salviamoilpaesaggio.it/blog/2012/02/come-il-verde-urbano-puo-migliorare-le-nostre-citta/>. [Accessed: 17-Jul-2018].
- [34] Tiziano Codiferro, "Guida all'illuminazione per piante indoor," *22/01/2015*, 2015. [Online]. Available: <http://www.codiferro.it/guida-allilluminazione-per-piante-indoor-part-1/>. [Accessed: 18-Jul-2018].
- [35] William Texier, *IDROPONICA PER TUTTI*. .
- [36] "SUBSTRATO PER LA COLTIVAZIONE IDROPONICA DELLE PIANTE," *Agosto 12,2016*, 2016. [Online]. Available: <https://www.idroponica.it/blog/08-16/substrato-coltivazione-idroponica.html>. [Accessed: 18-Jul-2018].
- [37] Howard M. Resh, *Produzione alimentare idroponica*. 2012.
- [38] wikipedia, "Sensore." [Online]. Available: <https://it.wikipedia.org/wiki/Sensore>. [Accessed: 29-Jul-2018].
- [39] M. Guzinski, *Anal. Chim.* 2013.

- [40] Enrico Pozzi, "Cos'è un PID? I rilevatori a fotoionizzazione (PID) misurano i VOC e altri gas tossici in basse concentrazioni da 0,1 a ppm. Un PID è un monitor.," 2016. [Online]. Available: <https://slideplayer.it/slide/10199591/>.
- [41] A. De Marco, "Sensori elettrochimici," 2017. [Online]. Available: <https://www.alcolsicuro.it/SILVER/elettrochimici.pdf>.
- [42] F. Ricci, *Electrochimica*, Acta. 2012.
- [43] G. S. . Bolstad P.V., *Estimation of leaf area index in fourteen southern Wisconsin forest stands using a portable radiometer*. 1990.
- [44] B. M. L. Lang A.R.G., McMurtrie R.E., *Validity of surface area indices of Pinus radiata estimated from transmittance of the sun's beam*. 1991.
- [45] S. B. Le Dantec V., Dufrene E., *Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands*. 2000.
- [46] G. S. L. Turner D.P., Acker S.A., Means J.E., *Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands*. 2000.
- [47] "Torino Liberty: i 10 edifici più belli della città," 2017. [Online]. Available: <https://www.guidatorino.com/liberty-torino-edifici/>.
- [48] "Liberty a Torino," 2017. [Online]. Available: https://it.m.wikipedia.org/wiki/Liberty_a_Torino.
- [49] Andrea Speciali, "Italia Liberty," 2013. [Online]. Available: <http://www.italialiberty.it/itinerario/itinerariolibertytorino/>.
- [50] Politecnico di Torino Dipartimento Casa-Città, *Beni culturali ambientali nel Comune di Torino*. Torino, 1984.

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1_ LE SORGENTI DEI DIVERSI INQUINANTI ED I PRINCIPALI ECOSISTEMI DOVE SONO PRESENTI GLI EFFETTI. (FONTE: [1])	7
FIGURA 2_ EFFETTI DELLA FORMALDEIDE SULL'ORGANISMO UMANO DOPO BREVE ESPOSIZIONE. (FONTE: [11])	20
FIGURA 3_ RISCHI COLLEGATI AL FUMO PASSIVO PER NON FUMATORI INDEBITAMENTE ESPOSTI E PER I FIGLI DI NON- FUMATORI INDEBITAMENTE ESPOSTI. (FONTE: [11])	21
FIGURA 4_ PRINCIPALI AGENTI INDOOR E POTENZIALI FONTI INTERNE (FONTE: [12]).....	22
FIGURA 5_ A,B. DUE REALIZZAZIONI DI PATRICK BLANC: I MURI VEGETALI DELL'HOTEL DU DEPARTEMENT A NANTERRE E LE COLONNE VEGETALI DELL'ESPLANADE DI BANGKOK. (FONTE:[22])	27
FIGURA 6_ STRATIGRAFIA DEL MUR VEGETAL. (ELABORAZIONE GRAFICA: EROS PIOVESAN) (FONTE:[22])	28
FIGURA 7_ D_ _ALLA BASE DEL MUR VEGETAL L'ACQUA, CHE CONTIENE I NUTRIENTI PER L'APPARATO VEGETALE, PUÒ ESSERE RECUPERATA E REINTRODOTTA NEL SISTEMA DI IRRIGAZIONE. (FONTE:[22])	29
FIGURA 8_ ELABORAZIONE GRAFICA: EROS PIOVESAN. (FONTE:[22])	30
FIGURA 9_ VISTA INTERNI. (FONTE:[22]).....	30
FIGURA 10_ PROSPETTI DELLO SPORTPLAZA MERCATOR. (FONTE: [22])	32
FIGURA 11_ DETTAGLI COSTRUTTIVI DELLO SPORTPLAZA MERCATOR. (FONTE: [22]).....	33
FIGURA 12_ SEZIONE DEL MURO VEGETALE. (FONTE: [27])	36
FIGURA 13_ SEZIONE DEL SISTEMA A PANNELLI CON SUBSTRATO. (FONTE: [27])	37
FIGURA 14_ SEZIONE DI UNA PARETE A BLOCCHI FORATI PER MURI VEGETALI. (FONTE: [27]).....	38
FIGURA 15_ ESEMPIO STRATIGRAFIA TETTO GIARDINO (FONTE:[29])	41
FIGURA 16_ ESEMPIO SPAZIO VERDE AL SUOLO (FONTE: [33])	44
FIGURA 17_ APPARECCHIATURE PER LA MISURAZIONE DELL'INERTE SF6	48
FIGURA 18_ DIAGRAMMA DECADIMENTO SF6 NEL TEMPO.....	49
FIGURA 19_ PROTOTIPO COMPLETO DI SENSORI, PER LA MISURAZIONE DEGLI INQUINANTI, E DELLA PIANTA SOGGETTO DI STUDIO.	50
FIGURA 20_ GRAFICO CONCENTRAZIONE CO NEL TEMPO.....	51
FIGURA 21_ GRAFICO CONCENTRAZIONE CO2 NEL TEMPO.	51
FIGURA 22_ GRAFICO CONCENTRAZIONE NO2 NEL TEMPO.	52
FIGURA 23_ GRAFICO CONCENTRAZIONE SO2 NEL TEMPO.	52
FIGURA 24_ GRAFICO CONCENTRAZIONE VOC NEL TEMPO.....	52
FIGURA 25_ GRAFICO CONCENTRAZIONE CO NEL TEMPO.....	53
FIGURA 26_ GRAFICO CONCENTRAZIONE CO2 NEL TEMPO.	53
FIGURA 27_ GRAFICO CONCENTRAZIONE NO2 NEL TEMPO.	53
FIGURA 28_ GRAFICO CONCENTRAZIONE SO2 NEL TEMPO.	54

FIGURA 29_ GRAFICO CONCENTRAZIONE VOC NEL TEMPO.....	54
FIGURA 30_ GRAFICO TEMPERATURA IN KELVIN IN FUNZIONE DELLA LUCE. (FONTE: [34])	57
FIGURA 31_ STADI DELLA CATENA DI MISURA.	64
FIGURA 32_ PRINCIPI DI TRADUZIONE (FONTE: [39])	65
FIGURA 33_ CARATTERISTICHE SENSORI ADOPERATI.	67
FIGURA 34_ RAPPRESENTAZIONE PROTOTIPO PROGETTO ARIA3 DA VARIE PROSPETTIVE.	70
FIGURA 35_ GEOLOCALIZZAZIONE DELL'EDIFICIO	75
FIGURA 36_ PIANTA PIANO SEMINTERRATO	76
FIGURA 37_ PIANTA PIANO RIALZATO.....	76
FIGURA 38_ PIANTA PIANO PRIMO.....	76
FIGURA 39_ VISTA DALL'ALTO.....	77
FIGURA 40_ VISTA FACCIATA NORD-OVEST CON GIARDINO.....	78
FIGURA 41_ VISTA FACCIATA SUD-EST MONOLOCALE CON GIARDINO.....	78
FIGURA 42_ VISTA PROSPETTICA EDIFICIO.....	83
FIGURA 43_ VISTA PROSPETTICA EDIFICIO.....	83
FIGURA 44_ VISTA INTERNA CAMERA DA LETTO, MONOLOCALE	84
FIGURA 45_ VISTA INTERNA SOGGIORNO CUCINA, MONOLOCALE	84
FIGURA 46_ VISTA INTERNA BAGNO	84
FIGURA 47_ VISTA INTERNA SOGGIORNO CUCINA, APPARTAMENTO PIANO RIALZATO	85
FIGURA 48_ VANO SCALA.....	88
FIGURA 49_ VISTA INTERNA PROTOTIPO	94
FIGURA 50_ VISTA ESTERNA PROTOTIPO.....	94
FIGURA 51_ VISTA ESTERNA PROTOTIPO.....	94