

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro – Forestali

Corso di laurea in

Paesaggio Parchi e Giardini

Tesi di laurea

Tetti e pareti verdi come possibile difesa dall'inquinamento urbano

Green roofs and green walls as a possible defense against urban pollution

Relatore:

Prof. Lucia Bortolini

Laureanda:

Barbara Bassan

Matricola n°: **494878**

ANNO ACCADEMICO 2013 - 2014

*A mia zia Nerina,
che ha sempre creduto in me.*

INDICE

INTRODUZIONE

ABSTRACT

RIASSUNTO

CAPITOLO 1 - Inquinamento Atmosferico

- 1.1 Definizione d'inquinamento atmosferico
- 1.2 Inquinamenti primari e secondari
- 1.3 Principali cause d'inquinamento
- 1.4 Principali inquinanti
- 1.5 Effetti degli inquinanti sull'ambiente

CAPITOLO 2 - Atmosfera

- 2.1 Inquinamento atmosferico in Europa e conseguenza sulla salute

CAPITOLO 3 – INQUINAMENTO ATMOSFERICO A LIVELLO NAZIONALE

- 3.1 Classifica di PM10 e PM2.5 del 2012
- 3.2 Il Biossido di Azoto
- 3.3 Ozono
- 3.4 Inquinamento atmosferico in Italia

CAPITOLO 4 – MODELLO UFORE

- 4.1 UFORE – A: Anatomia della foresta urbana
 - 4.1.1 Area fogliare e biomassa della foglia

- 4.1.2 Diversità della specie
- 4.1.3 Valore compensatorio
- 4.1.4 Effetti degli insetti
- 4.1.5 Uso della terra
- 4.2 UFORE – B: Emissioni biogeniche
- 4.3 UFORE – C: Deposito e sequestro del Carbonio annuale
- 4.4 UFORE – D: Rimozione dell'inquinamento atmosferico
- 4.5 UFORE – E: Effetti dell'energia dell'edificio

CAPITOLO 5 – VERDE PENSILE

- 5.1 Inverdimento pensile estensivo ed intensivo
- 5.2 Norma UNI 11235:2007
- 5.3 Tipologie di vegetazione che vengono utilizzate nei giardini pensili
 - 5.3.1 Prato fruibile
 - 5.3.2 Tappeto di Sedum
 - 5.3.3 Prato naturale
 - 5.3.4 Tappeto di erbacee perenni
 - 5.3.5 Arbusti tappezzanti e suffrutici
 - 5.3.6 Orto
 - 5.3.7 Alberi e siepi
- 5.4 Campi d'applicazione del verde pensile
 - 5.4.1 Infrastrutture

5.4.2 Terrazze private

5.4.3 Coperture di condomini

5.4.4 Piazze, aree verdi pubbliche e garage interrati

5.4.5 Capannoni industriali

5.4.6 Cantine vitivinicole

5.4.7 Scuole ed edifici pubblici

CAPITOLO 6 – VERDE VERTICALE

6.1 Tipologia di verde verticale

6.2 Aspetti ambientali condizionanti

6.3 Aspetti fisiologici condizionanti

6.4 Aspetti espositivi condizionanti

6.5 Aspetti compositivi condizionanti

6.6 Aspetti biologici condizionanti

6.7 Esempio di parete verde

CAPITOLO 7 – COME LE PIANTE ABBASSANO L'INQUINAMENTO

ATMOSFERICO

7.1 Altre funzioni della vegetazione

7.2 Le piante metabolizzano gli inquinanti

7.3 Il modello di stima per gli inquinanti

7.4 Gli alberi: metabolizzatori dell'inquinamento

CAPITOLO 8 – GLI ALBERI CI SALVANO LA VITA RIDUCENDO

L'INQUINAMENTO DELL'ARIA

- 8.1 Giardini verticali e tetti verdi: una possibile soluzione ai problemi d'inquinamento nelle città urbane
- 8.2 I tetti verdi sono una soluzione sempre più diffusa ed integrata all'interno del paesaggio urbano
- 8.3 Alberi: alleati dell'uomo
- 8.4 Come si potrebbe affrontare la problematica del riscaldamento urbano
 - 8.4.1 Gardens by the bay, Singapore
 - 8.4.2 Accademia della scienza in California
 - 8.4.3 Acros di Fukuoka in Giappone
 - 8.4.4 Dongtan la città verde di Shanghai
 - 8.4.5 Nonyang università tecnologica a Singapore
 - 8.4.6 Giardino verticale Park Royal a Singapore
 - 8.4.7 Masdar City ad Abu Dhabi
 - 8.4.8 Hundertwasser a Vienna
 - 8.4.9 Patrick Blanc e il giardino vertical a Madrid
 - 8.4.10 Bosco verticale: i grattacieli di Milano
 - 8.4.11 Municipio di Chicago
 - 8.4.12 Floating Food New York

CONCLUSIONE

BIBLIOGRAFIA

ABSTRACT

This elaborate starts from the premise of trying to reduce air pollution through Green Roofs and Green Walls. The main air pollutants in the atmosphere are: sulfur dioxide, lead, carbon monoxide, nitrogen dioxide, ozone and particulate air pollution. The pollutants can be distinguished in the primary that are emitted directly into the atmosphere and secondary that are formed in the atmosphere through chemical reactions. It is believed polluted the air, the composition exceeds the limits established by law. The main effects that the pollutants in the environment are causing the greenhouse effect and acid rain. The first is a climatic effect which consists in heating of the lower atmosphere, the second rainwater which has pH of 5.5 due to the pollution they are dissolved in sulfur dioxide and various nitrogen oxides, making them even more acidic. Despite significant improvements in recent decades, air pollution in Europe continues to damage our health and the environment. In particular pollution by particulate matter and ozone poses serious risks to the health of European citizens, adversely affecting quality of life and reducing the expectation. In Italy until today the policies put in place to improve air quality have an effect only on certain air pollutants, while other emissions have remained almost unchanged. To measure the pollution model is used UFORE. Computer model that provides sampling protocols on a statistical basis and calculates the effects on environmental structures of urban forests. And 'designed to use standardized data on plots of land, measuring air pollution and meteorological data of every single hour, to quantify the structure of the Urban Forest and the many effects related to it relating to cities around the world. It is divided into five types: the anatomy of urban forest, Emissions of Volatile and Biogenic Organic Compound (VOC), carbon storage and sequestration, storage of dry air pollutant and energy conservation. The reduction of air pollutants could be achieved through the design and implementation of Green Gables and green walls. The green roof can be defined as a green technology to produce works on surfaces not in contact with the natural soil. Subject roof greening

can be, not only roofing, roofs and terraces, as well as underground garages, tunnels, rail loops and inert surfaces in general. The roof greening can happen in two ways: Extensive or Intensive. The extensive that impact mitigation and environmental compensation. It 'a system which, after the first or second year of implantation, requires low maintenance. The vegetation used is normally made up of plants in developing content in height (not exclusively) that require little maintenance and with characteristics of fast rooting and coverage, resistance to drought and frost resistance, good self-healing and self-propagation. It can be used successfully numerous herbaceous perennials. The thickness of the substrate is normally reduced; from about 8 cm, which represent the minimum in our climatic conditions for Sedum, up to about 15 cm depending on the needs of the species taken. The greening intensive roof garden is the real, complete with lawns, shrubs, trees and furniture as on the ground. It 'a system that always requires regular maintenance (mowing, watering, weeding, fertilizing). It employs a wide range of species and plant associations: turf, herbaceous perennials shrubs, trees. The thickness of the substrate is higher than 15 cm and usually does not exceed 40 - 50 cm but may, in special cases, even reach 100, 150 cm or more. In Italy for the realization of grassing is intensive and extensive reference is made to the UNI "Instructions for design, execution and maintenance of green roofs." The standard considers a green roof "roofing system" in all its completeness: are taken into consideration all the elements that will be part of the stratigraphy and it defines the minimum requirements. The green walls can be divided into three types: Green means the parietal wall cladding and architectural artifacts obtained with climbing vegetation, usually planted in the ground at the base of the building, or hanging with vegetation, planting in containers or tanks placed on its top. Plant wall refers to solutions that provide the use of industrial components to achieve vertical structures, also self-supporting, coated vegetation ground cover and shrub and equipped with an automatic irrigation integrated. Vertical Garden indicates a multi-material device for the cultivation of a wide range of plant species (shrubs

and grasses) that uses the vertical plane of the built environment, which is usually equipped with automatic irrigation system integrated. In conclusion it can be stated that plants lowering air pollution through the chemical purification of the atmosphere where plants absorb carbon dioxide through photosynthesis which leads to the production of sugars and the liberation of oxygen, through which toxic gases over dioxide carbon dioxide, also other gases, especially sulfur dioxide are absorbed by plants through the fixing of the dust, tar products and oily where the positive function is exerted mainly from the outermost part of the canopy and the speed and quantity of the deposition depends on the density and shape of the particles (PM10 and PM2.5), through the issuance of water vapor and thermal regulation where the masses of foliage prevent excessive heating of the soil by limiting the evaporation of water contained in it, through the screen where the noise masses of foliage sound waves break up rapidly and continuously through the bacteriological purification of the air where the atmospheric dust, bacteria load is fixed on the leaves from atmospheric moisture. In conclusion, we can say that green roofs and green walls have an aesthetic impact, heat island reduction, reducing carbon dioxide and greenhouse gases, reducing air pollution, reducing heating and cooling loads, improved sound insulation and also extend to three times the life of a roof of a building. There are several plants that can help reduce air pollution. To absorb fine dust species like the flowering apple tree (*Malus domestica*) and the homegrown Hawthorn (*Crataegus monogyna*) leaves were able to catch them. Another plant, the Hornbeam (*Carpinus betulus*) absorbs well CO₂ but not fine particles because its leaves are smooth and hairless. To couple both features, ie large capacity to sequester greenhouse gases is both fine particles, are Ginkgo Biloba, the Hackberry (*Celtis australis*), the Linden (*Tilia*) and flowering ash (*Fraxinus ornus*).

RIASSUNTO

Questo elaborato parte dal presupposto di cercare di ridurre l'inquinamento atmosferico tramite i Tetti verdi e le Pareti Verdi. I principali inquinanti atmosferici presenti in atmosfera sono: Il biossido di zolfo, piombo, monossido di carbonio, biossido di azoto, ozono e particolato atmosferico. Gli inquinanti possono essere distinti in primari che vengono emessi direttamente in atmosfera e secondari che si formano in atmosfera tramite reazioni chimiche. Si ritiene inquinata l'aria la cui composizione eccede i limiti stabiliti per legge. I principali effetti che gli inquinanti provocano nell'ambiente sono l'effetto serra e le piogge acide. Il primo è un effetto climatico che consiste nel riscaldamento degli strati inferiori dell'atmosfera, il secondo l'acqua piovana che ha PH di 5.5 a causa dell'inquinamento si disciolgono in esse biossido di zolfo e vari ossidi di azoto rendendole ancora più acide. Nonostante i significativi miglioramenti degli ultimi decenni, l'inquinamento atmosferico in Europa continua a danneggiare la nostra salute e l'ambiente. In particolar modo l'inquinamento da particolato e da ozono pone seri rischi alla salute dei cittadini europei, influenzando negativamente sulla qualità della vita e riducendone l'aspettativa. In Italia fino ad oggi le politiche messe in campo per migliorare la qualità dell'aria hanno avuto effetto solo su alcuni inquinanti atmosferici, mentre per altri le emissioni sono rimaste pressoché invariate. Per misurare l'inquinamento viene utilizzato il modello UFORE. Modello computerizzato che fornisce protocolli di campionamento su base statistica e calcola gli effetti sulle strutture ambientali delle foreste urbane. E' progettato per utilizzare dati standardizzati su appezzamenti di terreno, misurare l'inquinamento atmosferico e i dati meteorologici di ogni singola ora, di quantificare la struttura della Foresta Urbana e i numerosi effetti relativi ad essa inerenti alle città di tutto il mondo. Esso è diviso in cinque modelli: anatomia della foresta urbana, Emissioni di Composto Biogenico Volatile e Organico (VOC), immagazzinamento e sequestro del Carbonio, deposito secco d'inquinante atmosferico e conservazione energetica. La riduzione degli inquinanti atmosferici potrebbe avvenire attraverso la

progettazione e realizzazione di Tetti Verdi e pareti verdi. Il tetto verde può essere definito come tecnologia per realizzare opere a verde su superfici non in contatto con il suolo naturale. Oggetto d'inverdimento pensile possono essere, non solo coperture, tetti e terrazze, ma anche garage interrati, gallerie, passanti ferroviari e superfici inerti in genere. L'inverdimento pensile può avvenire in due modi: Estensivo o Intensivo. L'estensivo ha valenza di mitigazione e compensazione ambientale. E' un sistema che, dopo il primo o secondo anno dall'impianto, richiede manutenzione ridotta. La vegetazione impiegata è normalmente costituita da piante a sviluppo contenuto in altezza (non esclusivamente) che richiedono ridotta manutenzione e con caratteristiche di veloce radicamento e copertura, resistenza alla siccità e al gelo, buona autorigenerazione e autopropagazione. Si possono impiegare con successo numerose erbacee perenni. Lo spessore del substrato è, normalmente, ridotto; a partire da circa 8 cm, che rappresentano il minimo nelle nostre condizioni climatiche per i Sedum, fino a circa 15 cm in funzione delle esigenze delle specie adottate. L'inverdimento pensile intensivo rappresenta il giardino vero e proprio, provvisto di prati, cespugli, alberi ed elementi di arredo come a terra. E' un sistema che richiede sempre regolare manutenzione (sfalci, irrigazione, diserbi, concimazioni). Si impiega un'ampia gamma di specie e associazioni vegetali: tappeti erbosi, erbacee perenni cespugli, alberi. Lo spessore del substrato è superiore ai 15 cm e normalmente non supera i 40 – 50 cm pur potendo, in casi particolari, raggiungere anche i 100, 150 cm o più. In Italia per la realizzazione degli inerbimenti sia intensivi che estensivi si fa riferimento alla Normativa UNI "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture a verde". La norma considera il verde pensile un "sistema tetto" in tutta la sua completezza: vengono presi in considerazione tutti gli elementi che possono comporre una stratigrafia e ne vengono definiti i requisiti minimi. Le pareti verdi possono essere divise in tre tipi: Verde parietale s'intende il rivestimento di facciate architettoniche e di manufatti ottenuto con vegetazione rampicante, piantata generalmente a terra alla base dell'edificio, o con vegetazione ricadente,

messa a dimora in contenitori o vasche collocate sulla sua sommità. Muro vegetale si riferisce a soluzioni che prevedono l'uso di componenti industriali per realizzare strutture verticali, anche autoportanti, rivestite di vegetazione tappezzante e arbustiva e dotate di impianto automatico d'irrigazione integrato. Giardino verticale indica un dispositivo polimaterico per la coltivazione di un'ampia gamma di specie botaniche (arbustive ed erbacee) che utilizza il piano verticale del costruito che di norma è dotato di impianto di irrigazione automatico integrato. In conclusione quindi si può affermare che le piante abbassano l'inquinamento atmosferico attraverso la depurazione chimica dell'atmosfera dove le piante assorbono anidride carbonica che attraverso la fotosintesi porta alla produzione di zuccheri ed alla liberazione di ossigeno, attraverso gas tossici che oltre all'anidride carbonica, anche altri gas, specialmente l'anidride solforosa vengono assorbiti dalle piante attraverso la fissazione delle polveri, prodotti catramosi ed oleosi dove la funzione positiva è esercitata prevalentemente dalla parte più esterna della chioma e la velocità e quantità della deposizione dipende dalla densità e dalla forma delle particelle (PM10 e PM2,5), attraverso l'emissione di vapore acqueo e regolazione termica dove le masse di fogliame impediscono l'eccessivo riscaldamento del suolo limitando l'evaporazione dell'acqua in esso contenuto, attraverso lo schermo antirumore dove nelle masse del fogliame le onde sonore si frazionano rapidamente e continuamente, attraverso la depurazione batteriologica dell'aria dove il pulviscolo atmosferico, carico di batteri è fissato sulle foglie dall'umidità atmosferica. In conclusione si può affermare che i tetti verdi e le pareti verdi hanno un impatto estetico, riduzione dell'isola di calore, riduzione anidride carbonica ed effetto serra, riduzione dell'inquinamento atmosferico, riduzione carichi di riscaldamento e raffreddamento, miglioramento dell'isolamento acustico e allungano anche di tre volte la vita di un tetto di un edificio. Ci sono diverse piante che possono aiutare la riduzione dell'inquinamento atmosferico. Per assorbire le polveri sottili le specie come il Melo da fiore (*Malus domestica*) e il Biancospino nostrano (*Crataegus monogyna*) hanno

foglie capaci di catturarle. Un'altra pianta, il Carpino bianco (*Carpinus betulus*) assorbe bene la CO₂ ma non le polveri sottili perché le sue foglie sono lisce e senza peli. Ad accoppiare entrambe le caratteristiche, ossia grandi capacità di sequestrare sia gas serra sia polveri sottili, sono il Ginkgo Biloba, il Bagolaro (*Celtis australis*), i Tigli (*Tilia*) e l'Orniello (*Fraxinus ornus*).

INTRODUZIONE

Quando ho scelto l'argomento della tesi sono partita da un presupposto che riguarda l'inquinamento atmosferico su Padova e il potenziale che la vegetazione può avere su di esso. Molte persone non sanno le cause che possono avere gli inquinanti atmosferici sulla salute dell'uomo, non sanno cosa possono provocare o cosa più precisamente sono e da dove derivino. Noi viviamo in una città dove non c'è niente di cui vantarsi, abbiamo tra le maggiori percentuali d'inquinante atmosferico di ozono e particolato. Questo elaborato parte dal presupposto che si può trovare una soluzione utile per abbassare l'inquinamento atmosferico. Ci troviamo di fronte ad un'urbanizzazione sempre maggiore e centrifuga che si è evoluta sempre di più con una rincorsa al guadagno, senza mai fermarsi e guardarsi indietro, con la conseguenza che attorno a noi troviamo solo cementificazione selvaggia con conseguente riduzione o scomparsa del verde. Se ci guardiamo attorno ci accorgiamo che non possiamo e non dobbiamo lamentarci di ciò che succede in Italia; e parlo di alluvioni, frane, smottamenti, dove tutti cercano colpevoli su colpevoli quando i primi a causare tutto questo siamo noi stessi. Ci troviamo dentro a una voragine di consumismo, di comodità che ci ha annessato la mente e ci ha portato a offrire massime comodità quali parcheggi, piste ciclabili, centri commerciali portandoci a far deviare o sparire corsi d'acqua, a eliminare viali alberati, a estirpare alberi su alberi a pavimentare campi agricoli per far posto ad agglomerati urbani, costruzioni sempre più fitte con conseguente ribellione della natura. Prendiamo il centro storico di Padova: non esiste un albero, un cespuglio, un fiore ma solo pochi alberi nei Giardini dell'Arena. Bisogna però ricordarsi che le piante sono fonte di vita, sono la risorsa più importante per noi e per altri migliaia di esseri viventi. Esse ci danno la cosa più importante per la nostra sopravvivenza assieme all'acqua: l'ossigeno. Molte volte mi chiedo perché nelle scuole viene insegnato solo parzialmente quanto importanti sono per noi le piante e il rispetto che si deve avere per la natura quando poi ti accorgi che tutto ciò è una parvenza senza senso perché raramente c'è qualcuno che la rispetta. Bisogna

partire da un presupposto che è la mancanza di informazione riguardo all'importanza che le piante hanno sulla nostra salute e che risorse si potrebbe trarre da esse. Dobbiamo pensare che in molta parte del Mondo il verde urbano, i viali alberati, i giardini pubblici, i tetti verdi intensivi ed estensivi e le pareti verdi sono da decenni che vengono progettati e realizzati sia per fattori estetici che per risolvere i problemi legati all'inquinamento atmosferico. L'Italia purtroppo sotto questo aspetto è molto indietro, molte persone non sanno neanche dell'esistenza e di cosa siano i tetti verdi o le pareti verdi, non rispettano il verde ma la cosa più disarmante è che non fanno la differenza che ci sia oppure no. Voglio pensare che questo sia il pensiero di una piccola parte della popolazione e che la causa sia anche data dalla cattiva informazione che c'è. Sotto questo punto di vista il resto del mondo e specialmente gli Stati Uniti sono molto più avanti di noi perché oltre a dare informazione, hanno creato un programma, il modello UFORE che è in grado di calcolare i parametri specifici per progettare e sviluppare un tetto verde. I tetti verdi sono molto complessi, sia nella loro realizzazione che nella loro manutenzione e soprattutto per l'elevato costo di realizzazione, ma di contro potrebbero essere un grosso aiuto nella riduzione dell'inquinamento atmosferico: basti pensare che ogni metro quadrato di tetto verde può ridurre l'inquinamento provocato da una singola auto. La scarsa o cattiva informazione molte volte ci porta a diventare indifferenti e disinteressati verso il nostro mondo, dando per scontato tutto. Bisogna soffermarci sul fatto che tutto ciò che ci circonda è un bene prezioso ma non infinito e che se non si mette un freno e si torna un po' indietro cercando di tutelare, rispettare e curare la natura prima o poi saremmo vittime non di lei ma di noi stessi.

CAPITOLO 1

INQUINAMENTO ATMOSFERICO

All'origine dell'inquinamento atmosferico c'è la mano dell'uomo o meglio le attività dell'uomo che con le industrie, il riscaldamento e le automobili provoca nell'aria l'immissione di gas nocivi quali: biossido di zolfo, piombo, monossido di carbonio, biossido di azoto, l'ozono e il particolato atmosferico. Questo è uno dei problemi che maggiormente interessa le popolazioni dei grandi agglomerati urbani. Dagli anni settanta sono state attuate in alcuni Paesi delle politiche per la riduzione degli agenti chimici e di numerose altre sostanze contaminanti presenti nell'aria. Queste azioni messe in atto per la salvaguardia dell'ambiente hanno portato ad un abbassamento delle concentrazioni di alcuni inquinanti come il biossido di zolfo, il piombo e il monossido di carbonio ma purtroppo per quanto concerne il biossido di azoto, l'ozono e il particolato atmosferico non hanno portato i risultati sperati e cosa ancor più grave si è scoperta la criticità di questi agenti per quanto riguarda la salute dell'uomo.

1.1 DEFINIZIONE D'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Fattore o sostanza che determina l'alterazione di una situazione stazionaria attraverso:

- Modifica dei parametri fisici e/o chimici;
- Variazione di rapporti quantitativi di sostanze già presenti;
- Introduzione di composti estranei deleteri per la vita, direttamente o indirettamente.

Bisogna partire dicendo che l'aria è una miscela eterogenea formata da gas e particelle di varia natura e dimensioni e la sua composizione si modifica nello spazio e nel tempo per cause naturali e non, così che risulta arduo definire le caratteristiche di qualità. L'impossibilità d'individuare le proprietà di un ambiente incontaminato di

riferimento induce a introdurre il concetto di inquinamento atmosferico stabilendo uno standard convenzionale per la qualità dell'aria. Si ritiene quindi inquinata l'aria la cui composizione eccede limiti stabiliti per legge allo scopo di evitare effetti nocivi sull'uomo, sugli animali, sulla vegetazione, sui materiali o sugli ecosistemi in generale.

1.2 INQUINANTI PRIMARI E SECONDARI

Il fatto che gli inquinanti reagiscano porta a distinguere tra inquinante:

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

Esistono inoltre inquinanti, come il particolato fine in cui, secondo molti studi, si equivalgono numericamente le composizioni primarie e secondarie.

1.3 PRINCIPALI CAUSE D'INQUINAMENTO

Bisogna partire dalla divisione d'inquinanti naturali o antropici.

Inquinamento Naturale: vulcani (SO_2), incendi (PM10), ghiaioni (amianto), processi biologici (allergeni).

Inquinamento Antropico: traffico veicolare, riscaldamento domestico, industrie e attività artigianali, veicoli off road, agricoltura ed altre attività.

Di seguito vengono riportati i principali inquinanti antropici:

Traffico veicolare: essenzialmente le emissioni provocate dal traffico veicolare dipendono dal tipo di combustibile, dal tipo di veicolo e dalla sua vetustà; tutti i motori termici se alimentati a combustibili fossili producono anidride carbonica (CO₂) mentre i veicoli alimentati a gasolio emettono principalmente particolato come PM10 e inferiori, idrocarburi (HC), ossidi di azoto (NO_x) e biossido di zolfo (SO₂). Un veicolo a benzina emette particolato, NO_x e CO, mentre i veicoli a metano e GPL emettono NO_x, particolato ultra fine e scarsi idrocarburi. Negli ultimi anni si è cercato di ridurre le emissioni inquinanti da parte dei veicoli con l'introduzione di fasce euro 1,2,3... andando a rendere anche obbligatoria la marmitta catalitica e il filtro antiparticolato.

Riscaldamento domestico: gli inquinanti emessi dipendono essenzialmente dal combustibile utilizzato, dalla tipologia di riscaldamento, dalla vetustà e dalla manutenzione dello stesso.

Industria e artigianato: gli inquinanti emessi sono i più svariati, questo avviene per le moltissime lavorazioni in campo industriale che vanno a determinare inquinanti molto diversi tra loro in base alla lavorazione eseguita e possono variare da solventi, nebbie acide, metalli, polveri e altro. In campo industriale le emissioni sono fortemente regolamentate e per questo le industrie devono utilizzare dei sistemi di abbattimento degli inquinanti che variano in base agli stessi.

1.4 PRINCIPALI INQUINANTI

L'atmosfera contiene una grande varietà di sostanze, per questo sono stati proposti diversi metodi di classificazione: in primo luogo si può classificare in base alla composizione chimica quindi si parlerà principalmente di composti che contengono zolfo, composti che contengono azoto altri che contengono carbonio e infine composti alogeni. La seconda classificazione può essere fatta in base allo stato fisico quale: solido, liquido o gassoso. La terza classificazione può venire suddivisa in base

al grado di reattività in atmosfera che può essere classificata in sostanze primarie o secondarie. Gli inquinanti primari possono essere di tipo gassoso o particolato.

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

Tra i gas troviamo:

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

Composti dell'azoto: il più abbondante di questi in atmosfera è N_2O che viene emesso principalmente per azione dei batteri nel suolo e secondariamente attraverso reazioni chimiche nella parte più alta dell'atmosfera. Non viene considerato inquinante in quanto chimicamente inerte alle temperature ordinarie. Sono invece considerati inquinanti il monossido e il biossido di azoto (NO e NO_2) il primo viene prodotto da sorgenti sia naturali che antropiche ed in particolare in tutti i processi di combustione.

Composti del carbonio: in questa categoria i principali composti inorganici sono il monossido di carbonio (CO) e il biossido o anidride carbonica (CO_2). L'anidride carbonica prodotta dalle attività umane deriva da processi di combustione. Fino ad un secolo fa, le emissioni erano bilanciate dalla rimozione da parte della vegetazione attraverso la fotosintesi clorofilliana ma a causa del brusco aumento delle emissioni e ad una riduzione della vegetazione (causato dall'ampio uso di combustibili fossili) ha

portato ad oggi un aumento delle concentrazioni di fondo. L'interesse che si è sviluppato attorno a questo composto è dovuto alle modificazioni climatiche su scala planetaria. Il monossido di carbonio invece è considerato altamente tossico in quanto avendo affinità con l'emoglobina impedisce l'ossigenazione dei tessuti. La sua sorgente primaria sono i fumi di scarico delle auto e in parte minore le centrali termoelettriche e gli impianti di riscaldamento. Fanno parte di questa categoria numerosissimi composti che vengono catalogati in grosse classi di cui le principali sono: gli idrocarburi (suddivisi a loro volta in alcani come il metano, alcheni come l'etene, gli alchini come l'acetilene), gli aromatici come il benzene, le aldeidi come la formaldeide, i chetoni come gli acetoni.

IPA: idrocarburi policiclici aromatici, una larga gamma di sostanze prodotte dalla combustione di legna, nafta, gasolio di cui il più importante e unico è il Benzo (a) Pirene, considerato un forte cancerogeno.

1.5 EFFETTI DEGLI INQUINANTI SULL'AMBIENTE

I principali effetti che gli inquinanti provocano nell'ambiente sono l'effetto serra e le piogge acide che comportano anche altri problemi quali il buco dell'ozono ed altri meno visibili sulla flora e sulla fauna.

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

+15°C, ma può diventare dannoso nel caso si continui ad emettere inquinanti in modo incontrollato (gas serra regolamentati dal protocollo di Kyoto: CO₂, CH₄, N₂O, PF, HCF, SF₆).

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

Le piogge acide hanno un impatto ambientale notevole, infatti i principali effetti sono: corrosione dei monumenti, danneggiamento fogliare delle piante con conseguente impedimento della fotosintesi, interferimento sullo sviluppo degli embrioni degli animali acquatici, distruzione dei batteri necessari alla decomposizione delle sostanze organiche con conseguente accumulo di sostanze tossiche nei fondali e aumento dell'acidità del suolo influenzando il tipo di piante che possono crescere. Inoltre favorisce il passaggio in soluzione di metalli pesanti tossici come il mercurio.

CAPITOLO 2

ATMOSFERA

Bisogna partire dal presupposto che l'atmosfera è la massa gassosa che circonda il nostro pianeta ed è stata classificata in strati caratterizzati da gas di diversa entità. Lo strato più sottile e basso a livello del suolo è conosciuto come troposfera. Nella troposfera vivono le piante e gli animali e ad essi si applicano i nostri modelli climatici. La sua altitudine raggiunge i 7 km ai poli e i 17 km all'equatore. A seconda dell'altitudine, l'aria presenta una diversa densità e una diversa composizione chimica. L'aria si muove costantemente attorno al globo attraversando oceani e vaste zone terrestri. I venti trasportano piccoli organismi, compresi batteri, virus, semi e specie invasive verso nuovi luoghi. L'aria secca è composta da circa il 78% di azoto, il 21% di ossigeno e l'1% di argon. Nell'aria è anche presente vapore acqueo, che costituisce una percentuale compresa tra lo 0,1% e il 4% della troposfera. L'aria calda di solito contiene più vapore acqueo dell'aria fredda. L'aria contiene anche quantità molto piccole di altri gas, detti gas traccia, comprendenti l'anidride carbonica e il metano. Le concentrazioni di tali gas minori nell'atmosfera sono di solito misurate in parti per milione (ppm). Ad esempio, le concentrazioni di anidride carbonica, uno dei più importanti e abbondanti gas traccia nell'atmosfera, sono state stimate nel 2011 attorno al valore di 391 ppm, ovvero lo 0.0391% (indicatore dell'AEA sulle concentrazioni atmosferiche). Non tutte le sostanze nell'aria sono considerate inquinanti. In generale, l'inquinamento atmosferico è definito come presenza di certe sostanze inquinanti nell'atmosfera a livelli che incidono negativamente sulla salute umana, l'ambiente e il nostro patrimonio culturale (edifici, monumenti e materiali). Per quanto riguarda la legislazione, viene considerato soltanto l'inquinamento di origine antropica, sebbene l'inquinamento possa essere definito in modo più esteso in altri contesti. Non tutti gli inquinanti atmosferici sono di origine antropica. Molti fenomeni naturali, compresi gli incendi boschivi, le eruzioni vulcaniche e le tempeste di sabbia provocano inquinamento atmosferico. Le particelle di polvere possono

essere trasportate molto lontano a seconda dei venti e delle nuvole. Indipendentemente dalla loro origine, naturale o antropica, una volta che queste sostanze si trovano nell'atmosfera possono prendere parte a reazioni chimiche e contribuire all'inquinamento atmosferico. Cieli limpidi ed elevata visibilità non sono necessariamente segnali che indicano che l'aria è pulita.

2.1 INQUINAMENTO ATMOSFERICO IN EUROPA E CONSEGUENZE SULLA SALUTE

Nonostante i significativi miglioramenti degli ultimi decenni, l'inquinamento atmosferico in Europa continua a danneggiare la nostra salute e l'ambiente. In particolar modo l'inquinamento da particolato e da ozono pone seri rischi alla salute dei cittadini europei, influenzando negativamente sulla qualità della vita e riducendone l'aspettativa. Il particolato è l'inquinante atmosferico che provoca i maggiori danni alla salute umana in Europa. Pensate al particolato come a particelle così leggere che possono fluttuare nell'aria. Alcune di queste particelle sono così piccole (da un terzo a un quinto del diametro di un capello umano) che non solo penetrano in profondità nei nostri polmoni, ma entrano anche nel nostro flusso sanguigno, proprio come l'ossigeno. Alcune particelle vengono emesse direttamente nell'atmosfera, altre si formano come risultato di reazioni chimiche che coinvolgono i gas precursori, vale a dire l'anidride solforosa, gli ossidi di azoto, l'ammoniaca e i composti organici volatili. Queste particelle possono essere costituite da diversi componenti chimici e il loro effetto sulla nostra salute e l'ambiente dipende dalla loro composizione. Anche alcuni metalli pesanti come l'arsenico, il cadmio, il mercurio e il nickel possono essere presenti nel particolato. Un recente studio dell'Organizzazione Mondiale della Sanità dimostra che l'inquinamento da particelle sottili (PM2.5, ossia particolato con un diametro minore di 2.5 micron) potrebbe essere un problema per la salute, maggiore di quanto si pensasse in precedenza. Secondo il rapporto dell'OMS, un'esposizione prolungata alle particelle sottili può scatenare l'aterosclerosi, creare

problemi alla nascita e malattie respiratorie nei bambini. Lo studio inoltre suggerisce un possibile collegamento con lo sviluppo neurologico, le funzioni cognitive e il diabete e rafforza il nesso di causalità tra PM2.5 e morti cardiovascolari e respiratorie. A seconda della loro composizione chimica, le particelle possono anche avere effetti sul clima globale, sia riscaldando che raffreddando il pianeta. Ad esempio il nerofumo, uno dei componenti comuni della fuliggine rilevato principalmente in particelle sottili (con un diametro minore di 2.5 micron), è il risultato della combustione incompleta di combustibili sia fossili che del legno. Nelle aree urbane le emissioni di nerofumo sono causate principalmente dal trasporto stradale, in particolare dai motori diesel. Oltre ai suoi effetti sulla salute, il nerofumo presente nel particolato contribuisce al cambiamento climatico assorbendo il calore del sole e riscaldando l'atmosfera. Per quanto riguarda l'ozono è una forma speciale e altamente reattiva di ossigeno ed è composto da tre atomi di ossigeno. Nella stratosfera uno degli strati più alti dell'atmosfera, l'ozono ci protegge dalle pericolose radiazioni ultraviolette provenienti dal sole. Ma nello strato più basso dell'atmosfera la troposfera, l'ozono è di fatto un'importante sostanza inquinante che influisce sulla salute pubblica e l'ambiente. L'ozono a livello del suolo si forma come risultato di reazioni chimiche complesse tra gas precursori, come gli ossidi di azoto e i composti organici volatili diversi dal metano. Anche il metano e il monossido di carbonio giocano un ruolo nella sua formazione. L'ozono è reattivo e fortemente ossidante. Alti livelli di ozono corrodono i materiali, gli edifici e i tessuti vivi. L'ozono riduce la capacità delle piante di eseguire la fotosintesi e ostacola il loro assorbimento di anidride carbonica. Indebolisce inoltre la crescita e la riproduzione delle piante, con il risultato di minori raccolti e di uno sviluppo ridotto di boschi e foreste. Nel corpo umano provoca infiammazioni ai polmoni e ai bronchi. Non appena esposto all'ozono, il nostro corpo cerca di impedirne l'entrata nei polmoni. Questa reazione riduce l'ammontare di ossigeno che inaliamo e questo rende il lavoro del cuore più difficile. Quindi per le persone che già soffrono di disturbi cardiovascolari o

respiratori, come l'asma, picchi di ozono possono essere debilitanti e persino fatali. L'attuale Legislazione Internazionale e dell'UE volta a contrastare il particolato, classifica le particelle in due dimensioni pari o inferiore a 10 micron di diametro e pari o inferiore a 2.5 micron di diametro (PM10 e PM2.5) e regola le emissioni dirette nonché le emissioni di gas precursori. Si sono ottenuti successi concreti in relazione alle emissioni di particolato in Europa. Tra il 2001 e il 2010 le emissioni dirette di PM10 e PM2.5 sono calate del 14% nell'Unione Europea e del 15% nei 32 paesi membri dell'AEA. Anche le emissioni dei precursori del particolato sono diminuite nell'UE: gli ossidi di zolfo del 54% (44% nei 32 paesi membri dell'AEA), gli ossidi di azoto del 26% (23% nei 32 paesi membri dell'AEA), l'ammoniaca del 10% (8% nei 32 paesi membri dell'AEA). Ma queste riduzioni delle emissioni non sempre si sono tradotte in un'esposizione più bassa al particolato. La quota di popolazione urbana europea esposta a livelli di concentrazione di PM10 superiori ai valori stabiliti dalla legislazione dell'UE rimane elevata (18 – 41% per l'UE e 23 – 41% per i 32 paesi membri dell'AEA) e ha registrato solo una modesta riduzione nell'ultimo decennio. Prendendo invece in considerazione le direttive più severe dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, più dell'80% della popolazione urbana dell'UE è esposta a concentrazioni eccessive di PM10. Quindi, se le emissioni sono diminuite in modo sostanziale, perché abbiamo ancora livelli elevati di esposizione al particolato in Europa? La riduzione di emissioni in un'area o da fonti specifiche non porta automaticamente a concentrazioni più basse. Alcune sostanze inquinanti possono rimanere nell'atmosfera abbastanza a lungo per essere trasportate da un Paese all'altro, da un Continente all'altro o in alcuni casi in tutto il mondo. Il trasporto intercontinentale di particolato e dei suoi precursori, può in qualche modo spiegare perché la qualità dell'aria in Europa non è migliorata tanto quanto sono diminuite le emissioni di particolato e dei suoi precursori. Un'altra causa delle continue elevate concentrazioni di particolato può essere trovata nei nostri modelli di consumo. Negli ultimi anni, ad esempio, la combustione di carbone e legno in piccole

stufe per riscaldamento ha costituito una fonte importante di inquinamento da PM10 in alcune aree urbane, in particolare in Polonia, Slovacchia e Bulgaria. Ciò è in parte causato dagli alti prezzi dell'energia, che hanno indotto in particolare le famiglie a basso reddito ad optare per alternative più economiche. L'Europa è riuscita anche a ridurre le emissioni dei precursori dell'ozono tra il 2001 e 2010. Nell'UE le emissioni di ossidi di azoto sono diminuite del 26% (23% nei 32 Paesi membri dell'AEA), le emissioni di composti organici volatili diversi dal metano sono diminuite del 27% (28% nei 32 Paesi membri dell'AEA) e le emissioni di monossido di carbonio sono diminuite del 33% (35% nei 32 paesi membri dell'AEA). Così come per il particolato, le quantità di precursori dell'ozono emesse nell'atmosfera sono diminuite ma non c'è stata una corrispondente riduzione degli elevati livelli di concentrazione di ozono. Ciò è in parte dovuto al trasporto intercontinentale dell'ozono e dei suoi precursori. Anche la topografia e le variazioni da un anno all'altro delle condizioni meteorologiche (venti, temperature) giocano un ruolo importante. Nonostante una diminuzione del numero e della frequenza dei picchi di concentrazione dell'ozono nei mesi estivi, l'esposizione della popolazione urbana rimane elevata. Nel periodo 2001–2010 tra il 15% e il 61% della popolazione urbana dell'UE è stata esposta a livelli di ozono superiori ai valori obiettivo dell'UE, principalmente nell'Europa meridionale a causa di estati più calde. Secondo le linee guida più severe dell'Organizzazione Mondiale della Sanità quasi tutti gli abitanti delle città nell'UE sono stati esposti a livelli eccessivi. Nel complesso, il superamento dei limiti per le concentrazioni d'ozono é più comune nella regione mediterranea che in Europa settentrionale. Ma le alte concentrazioni di ozono non sono solo un fenomeno urbano osservato durante i mesi estivi. Sorprendentemente, i livelli di ozono tendono in generale ad essere più alti nelle aree rurali. Le aree urbane di solito presentano livelli più elevati di traffico delle aree rurali. Tuttavia una delle sostanze inquinanti prodotte dal trasporto stradale distrugge le molecole di ozono mediante una reazione chimica, facendo sì che vi siano livelli di ozono più bassi nelle aree urbane. D'altro canto

livelli più elevati di traffico si traducono in livelli più elevati di particolato nelle città. Dal momento che possono in parte provenire da altri Paesi, le emissioni di alcuni dei precursori dell'ozono e del particolato sono regolamentate dal Protocollo di Göteborg alla Convenzione sull'inquinamento transfrontaliero a lunga distanza (Convenzione LRTAP). Nel 2010 dodici paesi dell'Unione europea e la stessa UE hanno superato uno o più tetti di emissione (l'ammontare di emissioni consentito) per una o più sostanze inquinanti regolamentate dalla convenzione (ossidi di azoto, ammoniaca, anidride solforosa e composti organici volatili diversi dal metano). Superamenti per gli ossidi di azoto sono stati riscontrati in 11 dei 12 paesi. Un quadro simile emerge dalla legislazione dell'UE. La direttiva NEC (National Emission Ceiling) regola le emissioni delle stesse quattro sostanze inquinanti, al pari del Protocollo di Göteborg, fissando però tetti leggermente più rigorosi per alcuni paesi. I dati finali ufficiali per la direttiva NEC indicano che 12 paesi UE non hanno rispettato i tetti di emissione legalmente vincolanti per gli ossidi di azoto nel 2010. Inoltre, molti di questi Paesi non hanno rispettato nemmeno quelli relativi ad uno o più delle restanti tre sostanze inquinanti.

CAPITOLO 3

INQUINAMENTO ATMOSFERICO A LIVELLO NAZIONALE



Figura 1. L'Inquinamento Atmosferico in Pianura Padana.

Padova è la città peggiore d'Europa. Così citavano tutti i giornali o quasi verso la fine dello scorso anno quando sono arrivati i dati dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA) che ci hanno dato la MAGLIA NERA come peggior città sia per PM10 che Ozono.

Il 2012 si chiude con una conferma sugli elevati livelli di inquinamento atmosferico che respiriamo nelle città italiane e lo smog è destinato a caratterizzare anche l'anno 2013. La Comunità Europea infatti ha sancito il 2013 come l'anno europeo dell'aria, prendendo l'impegno di rafforzare maggiormente la direttiva che regola la presenza di inquinanti. Un atto necessario per tutelare maggiormente la salute dei cittadini. Il rapporto dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA) pubblicato nel settembre 2012 evidenzia come il problema rimane ancora critico, soprattutto nelle aree urbane per gli elevati livelli di particolato e ozono. Nel rapporto europeo agli ultimi posti per la qualità dell'aria c'è proprio l'Italia.

Gli elevati livelli di smog sono tra le principali preoccupazioni dei cittadini di tutta Europa, come rivela l'Eurobarometro, lo strumento della Commissione Europea di analisi dell'opinione pubblica: più del 56% delle persone pensa che la qualità dell'aria respirata nell'ultimo decennio sia andata peggiorando. In Italia questa percezione è condivisa dall'81% della popolazione e il sentimento comune è che servano nuove misure per contrastare il fenomeno ma soprattutto che le amministrazioni pubbliche debbano prendere con maggior responsabilità ed impegno gli obiettivi prefissati, a differenza di quanto fatto fino ad ora. A confermare l'inefficacia degli interventi messi in campo fino ad oggi ci sono i dati aggiornati sull'inquinamento nelle città italiane. Come ogni anno anche nel 2012 in tutte le principali città italiane sono stati superati i livelli di polveri fini (PM10). Sono 52 le città, tra le 95 monitorate da Legambiente nell'ambito della classifica "PM10 ti tengo d'occhio", che hanno superato il bonus di 35 giorni di superamento del valore medio giornaliero di 50 microgrammi/metro cubo stabilito dalla legge. Alessandria, Frosinone, Cremona e Torino sono le prime città classificate, rispettivamente con 123, 120 e 118 giorni di superamento. Tra le prime dieci città anche Milano con 106 giorni di superamento. In generale è l'area della Pianura Padana a confermarsi come la zona più critica con 18 città tra le prime 20 posizioni che ricadono nelle regioni di Lombardia, Piemonte, Emilia Romagna e Veneto. Ma non è solo il nord a soffrire di elevati livelli di inquinamento nelle città. Al ventesimo posto troviamo infatti Napoli con 85 giorni di superamento e a seguire Cagliari (64), Pescara (62), Ancona (61), Roma (57) e Palermo (55). Oltre al PM10, con l'entrata in vigore del Decreto Legislativo 155/2010, le città sono obbligate a monitorare anche la frazione più leggera e più pericolosa delle polveri, ovvero il PM2.5 (il particolato costituito da particelle con diametro inferiore ai 2.5 micron). Nonostante il monitoraggio sia obbligatorio già dal 2011 e sia fissato il valore obiettivo di 25 microgrammi/metro cubo come media annuale, ancora oggi sono disponibili i dati di poche città. Tra quelle monitorate da Legambiente i valori del PM2.5 sono fuori norma in 22 città

(52%). Al primo posto ancora una volta le città dell'area Padana: Torino, Padova, Lecco, Milano e Brescia con un valore medio annuo compreso tra 35 e 32 microgrammi/metro cubo. Tra gli altri inquinanti che continuano a minacciare la qualità dell'aria troviamo poi gli ossidi di azoto che in 24 delle 83 città monitorate dal rapporto 2012 di Legambiente Ecosistema Urbano, hanno superato la concentrazione media annua di 40 microgrammi/metro cubo stabilita dalla legge. Firenze, Torino, Milano e Roma sono ai primi posti della classifica. Infine a preoccupare maggiormente nei mesi estivi, ci sono i livelli di ozono che risultano elevati in 44 delle 78 città monitorate da Legambiente nel rapporto Ecosistema Urbano. È stata la stessa Comunità Europea a chiedere all'Italia misure risolutive per ridurre l'inquinamento atmosferico. Il 19 dicembre 2012 è arrivata la sentenza da parte della Corte di Giustizia Europea che ha accolto il ricorso presentato dalla Commissione Europea per l'inadempienza dell'Italia *"(...) avendo omesso di provvedere, per gli anni 2006 – 2007, affinché le concentrazioni di PM10 nell'aria ambiente non superassero, nelle 55 zone e agglomerati italiani considerati nella diffida della Commissione europea del 2 febbraio 2009, i valori limite fissati all'art.5, par. 1, della direttiva 1999/30CE ...(omissis)..., è venuta meno agli obblighi ad essa incombenti in forza di tale disposizione."* La procedura è stata aperta nel giugno del 2008, quando la Commissione Europea ha informato il nostro Paese di voler avviare un procedimento di infrazione sui dati di qualità dell'aria forniti per gli anni 2006 e 2007, visto che i valori limite venivano superati per lunghi periodi e in molte zone. Con enorme ritardo e solo dopo una lettera di diffida (02 febbraio 2009), l'Italia ha presentato 2 istanze di deroga relative a 67 zone (che coinvolgevano 12 regioni e due provincie autonome) e 12 zone (che riguardavano altre 3 regioni). In risposta a queste istanze la Commissione Europea ha sollevato delle obiezioni su 62 delle 67 zone segnalate nella prima istanza e su 11 delle 12 zone segnalate nella seconda istanza. Le regioni coinvolte sono Lazio, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna, Liguria, Lombardia, Marche, Umbria, Piemonte, Toscana, Veneto e Provincia autonoma di

Trento (I istanza); Campania, Puglia e Sicilia (II istanza). Il giudizio della Corte ha constatato l'inadempienza della Repubblica Italiana. Tra le motivazioni l'assenza di un Piano nazionale per combattere lo smog, più volte annunciato e mai arrivato, è perché *“gli argomenti adottati dalla Repubblica Italiana sono troppo generici e imprecisi per poter configurare un caso di forza maggiore”*. La procedura si riferisce ai dati forniti dall'Italia relativamente alle concentrazioni di PM10 per gli anni 2006 e 2007. Ma è la stessa Commissione Europea a confermare che ancora oggi il problema non è stato minimamente risolto. La qualità dell'aria costituisce ancora oggi uno dei problemi principali con cui sindaci e Amministratori devono confrontarsi. L'elevato livello di inquinamento in gran parte delle aree urbane italiane richiede interventi urgenti e risolutivi. Se per alcuni inquinanti i valori registrati sono per lo più rientrati ormai da diversi anni, al di sotto delle soglie stabilite dalla normativa, rimane ancora alta l'attenzione per altri che invece continuano a costituire un rischio per la qualità dell'aria e soprattutto per la salute dei cittadini. In particolare le polveri fini (PM10 e PM2.5), gli ossidi di azoto e l'ozono che ancora oggi raggiungono concentrazioni superiori alla soglia stabilita dalla legge come riportato nei dati che seguono.

3.1 CLASSIFICA DI PM10 E PM2.5 DEL 2012

A far scattare l'emergenza smog durante i mesi invernali sono sempre le polveri fini, ovvero il PM10 e il PM2.5 (particolato formato da particelle con dimensioni inferiori rispettivamente ai 10 e ai 2.5 micron (μm), unità di misura che corrisponde a 1 millesimo di millimetro). Proprio per le loro dimensioni così piccole e per il fatto che sono costituite da una miscela di sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera, questo inquinante risulta molto pericoloso per la salute dei cittadini e il rischio aumenta al diminuire delle dimensioni delle particelle. Più sono piccole, maggiore è la capacità di penetrare in profondità nell'apparato respiratorio o addirittura in quello circolatorio e cardiovascolare. La fonte principale è costituita dai processi di combustione, scarichi delle autovetture, impianti di riscaldamento e processi industriali che

costituiscono la fonte primaria principale. Il PM però, soprattutto le frazioni più fini (dal PM2.5 in giù) può formarsi anche per origine secondaria, ovvero per reazioni tra i diversi inquinanti presenti in atmosfera. Tra i principali precursori della formazione di PM secondario ci sono gli ossidi di azoto. L'elevata presenza di polveri fini nell'aria delle città (PM10), è ancora oggi uno dei problemi principali per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico. Il Decreto Legislativo 155/2010 pone come limite per la concentrazione di PM10 il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera da non superare per più di 35 volte in un anno. Ma anche durante il 2012 è stato dimostrato come nelle aree urbane è difficile a rimanere sotto la soglia stabilita. Di seguito vengono riportate le città che nel corso del 2012 non hanno rispettato tali limiti:

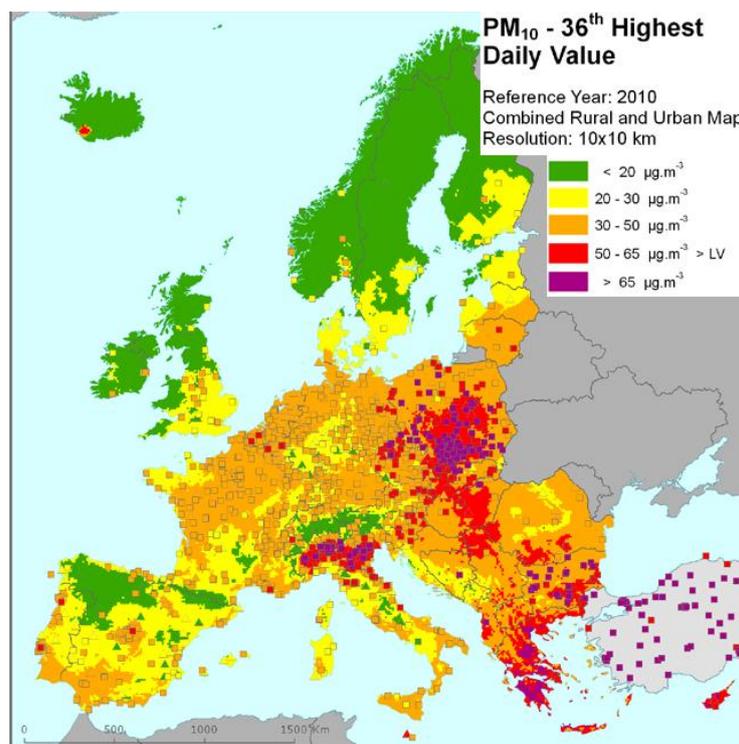


Figura 2. Valori di PM10.

Tabella 1 - PM10 ti tengo d'occhio: la classifica dei capoluoghi di provincia che hanno superato la soglia limite di polveri sottili in un anno; il Dlgs 155/2010 prevede un numero massimo di 35 giorni/anno con concentrazioni superiori a 50 µg/m³.

| <i>Posizione</i> | <i>Capoluogo di Provincia (centralina peggiore)</i> | <i>Giorni di superamento 2012</i> | <i>Posizione</i> | <i>Capoluogo di Provincia (centralina)</i> | <i>Giorni di superamento 2012</i> |
|------------------|---|-----------------------------------|------------------|--|-----------------------------------|
| 1 | Alessandria (D'Annunzio) | 123 | 21 | Bologna (Porta S. Felice) | 73 |
| 2 | Frosinone (Frosinone scalo) | 120 | 22 | Piacenza (via Giordani) | 71 |
| 3 | Cremona (Via Fatebenefratelli) | 118 | 23 | Firenze (Mosse) | 68 |
| 3 | Torino (Consolata) | 118 | 24 | Ravenna (via Caorle) | 66 |
| 4 | Parma (Via Montebello) | 115 | 25 | Cagliari (P.zza Sant'Avendrace) | 64 (al 16 dicembre) |
| 5 | Vicenza (VI Quartiere Italia) | 114 | 25 | Lodi (V.le Vignati) | 64 |
| 6 | Brescia (Villaggio Sereno) | 106 | 26 | Pescara (V.le Bovio) | 62 |
| 6 | Milano (Pascal Città studi) | 106 | 26 | Terni (Le Grazie) | 62 |
| 7 | Verona (Borgo Milano) | 103 | 27 | Ancona (via Bocconi) | 61 |
| 8 | Bergamo (via Garibaldi) | 99 | 28 | Como (V.le Cattaneo) | 58 |
| 9 | Asti (Baussano) | 97 | 29 | Roma (C.so Francia) | 57 |
| 10 | Monza (via Machiavelli) | 96 | 30 | Palermo (Di Blasi) | 55 |
| 11 | Reggio Emilia (V.le Timavo) | 93 | 31 | Lucca (Micheletto) | 54 |
| 12 | Mantova (S. Agnese) | 90 | 32 | Forlì (via Roma) | 52 |
| 13 | Padova (Mandria) | 91 | 33 | Biella (Lamarmora) | 50 |
| 13 | Benevento (Via Floria) | 91 | 34 | Varese (via Copelli) | 48 |
| 13 | Rovigo (Centro) | 91 | 35 | Trieste (Via Carpineto) | 45 |
| 14 | Rimini (Flaminia) | 88 | 36 | Lecco (via Amendola) | 44 |
| 14 | Treviso (via Lancieri) | 88 | 37 | Pordenone (centro) | 43 |
| 15 | Napoli (Ente Ferrovie) | 85 | 38 | Prato (Roma) | 42 |
| 15 | Modena (Giardini) | 85 | 39 | Latina (via Romagnoli) | 41 |
| 16 | Novara (Roma) | 84 | 40 | Cuneo (Alpini) | 40 |
| 17 | Pavia (P.zza Minerva) | 83 | 41 | Aosta (via Primo Maggio) | 39 |
| 18 | Vercelli (Gastaldi) | 79 | 42 | Trento (via Bolzano) | 38 |
| 19 | Ferrara (C.so Isonzo) | 77 | 43 | Sondrio (via Mazzini) | 36 |
| 20 | Venezia (Parco Bissuola) | 76 | | | |

Fonte: elaborazione Legambiente su dati Arpa Regionali.

Relativamente alle 95 città monitorate, i dati a disposizione indicano che il 54% ha superato i 35 giorni consentiti per legge. In ben 51 città la centralina posizionata nelle zone a maggior rischio di inquinamento ha fatto registrare valori ben oltre il consentito: Alessandria (123), Frosinone (120), Cremona e Torino (118) sul podio, tra i peggiori capoluoghi di regione sempre Torino e poi Milano (106). Le prime 10 in classifica sono quasi tutte città dell'area padana [Lombardia (4 città), Piemonte (2),

Veneto (2), Emilia Romagna (1)] tranne Frosinone, capoluogo di provincia laziale, che ancora una volta si conferma tra le città con i livelli più elevati di PM10. Ma non è solo un problema del nord Italia. Al ventesimo posto troviamo infatti Napoli (con 85 superamenti registrati), Firenze (68), Cagliari (64), Roma (57), Palermo (55).

Il 15% delle 51 città in questione ha superato tale limite più del triplo delle volte; il 38% lo ha superato più del doppio mentre il 19% lo ha superato di una volta e mezza. E se per diversi motivi legati agli aspetti meteorologici ogni anno può risultare più favorevole o meno alla concentrazione o dispersione degli inquinanti, dal confronto con i dati delle passate edizioni di “Mal’Aria” fino al 2009 emerge un dato che non ammette scuse o attenuanti: gran parte di queste città hanno sempre superato, dal 2009 al 2012, i valori imposti dalla legge. Se facessimo una media sugli ultimi 4 anni delle giornate in cui il limite per il PM10 è stato superato, ci sarebbero 7 città con una media superiore a 100 giorni/anno, con Torino capofila con una media di 140 giorni l’anno, corrispondenti a circa 5 mesi all’anno. Oltre al PM10, con l’entrata in vigore del Decreto Legislativo 155/2010 le città sono obbligate a monitorare anche la frazione più leggera e più pericolosa delle polveri, ovvero il PM2.5 (il particolato costituito da particelle con diametro inferiore ai 2.5 micron). Dal 2011 in particolare, questo monitoraggio è diventato obbligatorio ed è entrato in vigore il decreto che fissa al 2015 il raggiungimento del valore obiettivo di 25 µg/m³ come limite medio annuo. Anche se i dati sul PM2.5 iniziano ad essere maggiormente diffusi e reperibili, le centraline urbane che rilevano questo parametro sono ancora poche e soprattutto sono poche le città di cui sono disponibili e consultabili dati aggiornati. Ci si augura che l’attenzione e l’informazione verso questo inquinante si diffonda in maniera più capillare visto l’importanza e gli effetti che ha sulla salute dell’uomo. I dati riportati nel dossier sono relativi al 2011 e si riferiscono al monitoraggio di 42 città (quelle per cui erano disponibili e accessibili dai siti internet delle Arpa). Di queste, 21 hanno raggiunto o superato la media annuale prevista di 25 µg/m³.

Map 2.2 Number of days on which ozone concentrations exceeded the long-term objective for the protection of human health during the summer of 2010

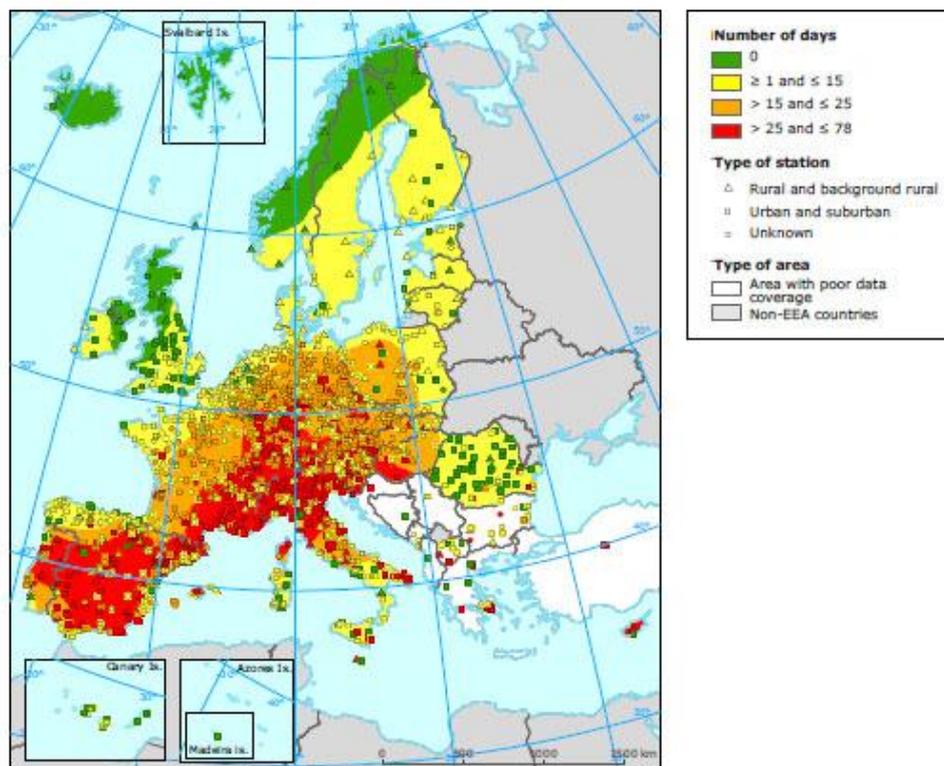


Figura 3. Valori di PM 2.5.

Tabella 2 - PM2.5: Città che hanno superato il valore obiettivo di 25 µg/m³ come media annuale (Dlgs 155/2010) – dati 2011).

| <i>n°</i> | <i>Città (centralina)</i> | <i>Valore medio annuo (2011)</i> | <i>n°</i> | <i>Città</i> | <i>Valore medio annuo (2011)</i> |
|-----------|----------------------------|----------------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------------|
| 1 | Torino (Lingotto) | 35 | 12 | Vercelli (Coni) | 28 |
| 2 | Padova (Mandria) | 34 | 13 | Verona (Cason) | 28 |
| 3 | Milano (via Pascal) | 33 | 14 | Bergamo (via Meucci) | 27 |
| 4 | Brescia (V.ggio Sereno) | 32 | 15 | Piacenza (P.co Montecucco) | 27 |
| 5 | Vicenza (Quartiere Italia) | 31 | 16 | Novara (Verdi) | 26 |
| 6 | Rovigo (Centro) | 31 | 17 | Varese (via Copelli) | 26 |
| 7 | Treviso (via Lancieri) | 31 | 18 | Roma (C.so Francia) | 26 |
| 8 | Cremona (Fatebenefratelli) | 31 | 19 | Reggio Emilia (S. Lazzaro) | 25 |
| 9 | Venezia (P.co Bissuola) | 30 | 20 | Frosinone (Mazzini) | 25 |
| 10 | Alessandria (Volta) | 30 | 21 | Modena (P.co Ferrari) | 25 |
| 11 | Asti (D'Acquisto) | 29 | | | |

Fonte: elaborazione Legambiente su dati Arpa Regionali.

Nella classifica redatta sempre in funzione ai valori registrati dalla centralina le città peggiori sono: Torino (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Padova (34) e Milano (33) sono le prime 3 classificate. Le 21 città sono quasi tutte comprese nell'area padana (anche per una maggiore disponibilità dei dati e di diffusione del monitoraggio del PM2.5 in queste città) eccetto due aree urbane Roma (con una media annuale di 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e Frosinone (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) del Lazio.

3.2 IL BIOSSIDO DI AZOTO

L' NO_2 è un inquinante secondario che risulta tossico per l'uomo per le sue capacità irritanti per le vie respiratorie e si forma per reazione chimica nell'atmosfera dall'ossidazione del monossido di azoto (NO), le cui fonti principali sono il trasporto su strada, il riscaldamento e i processi di combustione industriale. Gli ossidi di azoto nell'aria sono i principali precursori dell'inquinamento atmosferico secondario, i cui prodotti sono ad esempio l'ozono o il particolato ultrafine, caratteristica che rende l' NO_2 ancora più pericoloso e le politiche di riduzione di questa sostanza ancora più urgenti.

Tabella 3 - NO₂: media dei valori medi annuali registrati dalle centraline presenti sul territorio comunale (limite di legge D.Lgs.155/2010: 40 µg/m³ come media annuale).

| n° | Città | Media (µg/m ³) | n° | Città | Media (µg/m ³) | n° | città | Media (µg/m ³) |
|----|---------------|----------------------------|----|---------------|----------------------------|----|---------------|----------------------------|
| 1 | Firenze | 62,5 | 29 | Perugia | 39 | 57 | Prato | 32 |
| 2 | Torino | 61,4 | 30 | Treviso | 39 | 58 | Rimini | 31,7 |
| 3 | Milano | 60,9 | 31 | Venezia | 38,8 | 59 | Sassari | 31,5 |
| 4 | Roma | 60,2 | 32 | Alessandria | 38,7 | 60 | Pesaro | 31,2 |
| 5 | Como | 58,0 | 33 | Livorno | 38,5 | 61 | Cuneo | 31 |
| 6 | Monza | 58 | 34 | Bologna | 38,0 | 62 | Nuoro | 30 |
| 7 | Lecco | 56 | 35 | Rovigo | 38 | 63 | Sondrio | 30 |
| 8 | Brescia | 52,7 | 36 | Siena | 38 | 64 | Imperia | 29,7 |
| 9 | Genova | 49,8 | 37 | Catania | 37,9 | 65 | Ravenna | 29,5 |
| 10 | Trieste | 48,8 | 38 | Bolzano | 37,7 | 66 | Aosta | 29,0 |
| 11 | Modena | 48,7 | 39 | Bari | 37,3 | 67 | Caserta | 29,0 |
| 12 | Bergamo | 47,5 | 40 | Siracusa | 37 | 68 | Campobasso | 28,5 |
| 13 | Latina | 45 | 41 | Piacenza | 36,7 | 69 | Verbania | 27 |
| 14 | Verona | 44 | 42 | Arezzo | 36,5 | 70 | Pistoia | 26 |
| 15 | Padova | 43,7 | 43 | Teramo | 36,4 | 71 | Rieti | 26 |
| 16 | Novara | 42,7 | 44 | Viterbo | 36 | 72 | Gorizia | 25 |
| 17 | Trento | 42,5 | 45 | Cremona | 35,5 | 73 | Savona | 24,7 |
| 18 | Varese | 42,5 | 46 | Cagliari | 35,3 | 74 | Terni | 24,7 |
| 19 | Pescara | 42 | 47 | Ferrara | 35,3 | 75 | Ascoli Piceno | 24,2 |
| 20 | Vicenza | 42 | 48 | Lucca | 35 | 76 | Belluno | 24,0 |
| 21 | Pordenone | 41,7 | 49 | Vercelli | 35 | 77 | Lecce | 23 |
| 22 | Reggio Emilia | 40,7 | 50 | Forlì | 34 | 78 | Brindisi | 22,0 |
| 23 | Cosenza | 40,6 | 51 | Caltanissetta | 33,8 | 79 | Foggia | 22 |
| 24 | Frosinone | 40,5 | 52 | Lodi | 33,5 | 80 | Agrigento | 21,1 |
| 25 | Asti | 40,0 | 53 | Mantova | 33,3 | 81 | Macerata | 18,6 |
| 26 | Parma | 40 | 54 | Grosseto | 33 | 82 | Ragusa | 18 |
| 27 | Udine | 39,3 | 55 | La Spezia | 32,6 | 83 | Oristano | 16 |
| 28 | Biella | 39,0 | 56 | Pisa | 32 | | | |

Fonte: Legambiente, rapporto Ecosistema Urbano XIX edizione 2012 (dati 2011).

I limiti stabiliti nel D.Lgs. 155 del 2010 prevede un limite medio annuo di 40 µg/m³ ed una concentrazione media oraria di 200 µg/m³ da non superare per più di 18 giorni all'anno. Nel 2011, come dimostrano i dati del rapporto Ecosistema Urbano XIX di Legambiente, su 83 città monitorate 24 sono risultate fuori legge, avendo superato il limite medio annuo previsto dalla normativa vigente. Ben 4 città (Firenze, Torino, Milano e Roma) superano del 50% il valore di 40 µg/m³; altre 3 città (Como, Monza e Lecco) superano del 40%, 1 città supera del 30% e altre 3 del 20%. A conferma

della persistenza del problema nel corso degli anni e confrontando i dati del 2011 con quelli del 2009 (dal rapporto Ecosistema Urbano XVII edizione anno 2010, riferiti dati 2009), si nota come in 12 delle 24 città in cui si è superato il limite nel 2011 i valori medi annuali sono addirittura aumentati rispetto agli stessi del 2009 (Firenze +30%; Lecco Trieste e Modena +20%; Roma, Bergamo, Varese, Pescara e Cosenza +10%; Verona Novara +6%; Padova +2%).

3.3 OZONO

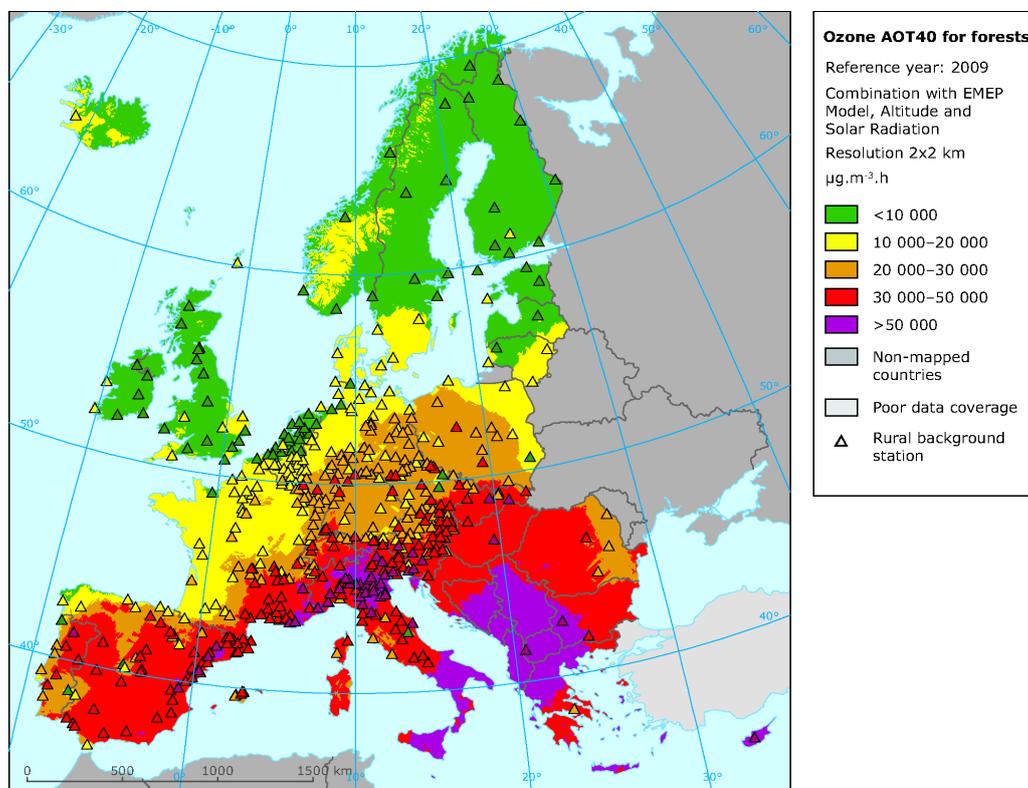


Figura 4. Valori Ozono.

Se l'emergenza smog nei centri urbani scatta soprattutto nei mesi invernali, anche i mesi più caldi dell'anno non sono esonerati da questo problema. In particolare a raggiungere valori elevati durante il periodo estivo, nell'aria che respiriamo, è la concentrazione di ozono. L'ozono è un composto gassoso di origine naturale presente nella stratosfera terrestre. La sua presenza nelle porzioni più basse (la troposfera) non è di origine naturale e risulta essere dannosa per la salute dell'uomo. È un inquinante

di tipo secondario, la sua formazione deriva da complesse reazioni fotochimiche, favorite dall'aumento della radiazione solare del periodo estivo, possibili per la presenza in atmosfera di altri composti gassosi definiti precursori, come gli ossidi di azoto (NO - NO₂), i composti organici volatili (VOC) ed in parte l'ossido di carbonio. I limiti previsti dalla normativa (D.Lgs. 155 del 2010) per le emissioni di ozono troposferico (O₃) consentono un massimo di 25 giorni di superamento della soglia giornaliera pari a 120 µg/m³ mediata su otto ore consecutive. Dall'indagine condotta da Legambiente nell'ambito del rapporto Ecosistema Urbano XIX, con dati riferiti al 2011, emerge che delle 78 città che hanno risposto al questionario, ben 44 città, il 57% del totale, ha superato il limite delle 25 giornate nell'arco dell'anno. Il dato dei superamenti si riferisce ad un valore medio ottenuto dalle registrazioni delle singole centraline presenti nelle città. Mantova al primo posto ha totalizzato un numero di superamenti (130), cinque volte maggiore di quello previsto dalla normativa. Le prime dieci Mantova (130), Lecco (94), Bergamo (90), Reggio Emilia (89), Parma (85), La Spezia (84), Padova (83), Brescia (79), Varese (77) e Modena (76) hanno superato il valore limite di tre o quattro volte. Le prime posizioni ancora una volta sono occupate dalle città dell'area padana, tra le altre città fuori legge troviamo anche capoluoghi del centro sud come L'Aquila (75 giorni di superamento), Frosinone (64), Lecce (49), Potenza (43), Ascoli Piceno (41) e Rieti (36). Confrontando i dati con i valori del 2009 (rapporto Ecosistema Urbano XVII edizione anno 2010 riferito ai dati 2009) si nota che a Mantova le giornate fuori norma sono aumentate del 51%; a Reggio Emilia del 65%, a Parma dell'80%. Altre città hanno "incrementato" la loro evasione dalle 25 giornate limite di oltre il 170% (Piacenza) fino a raggiungere addirittura il 500% in più a La Spezia. Va ricordato che la Direttiva Europea (2008/50/EU) a cui fa riferimento il Decreto Legislativo 155/2010, prevedeva che il valore obiettivo era da raggiungere entro il 1 gennaio 2010. In Italia quindi non solo non si è raggiunto l'obiettivo nei tempi stabiliti ma negli anni a seguire la situazione è andata addirittura peggiorando.

Tabella 4 - Ozono: media del n° di giorni di superamento della media mobile sulle 8 ore di 120 µg/m³ registrato da tutte le centraline presenti sul territorio comunale (limite massimo consentito 25 giorni di superamento/anno).

| <i>n°</i> | <i>Città</i> | <i>Giorni di superamento (media)</i> | <i>n°</i> | <i>Città</i> | <i>Giorni di superamento (media)</i> | <i>n°</i> | <i>Città</i> | <i>Giorni di superamento (media)</i> |
|-----------|---------------|--------------------------------------|-----------|---------------|--------------------------------------|-----------|---------------|--------------------------------------|
| 1 | Mantova | 130,0 | 27 | Verona | 48,5 | 53 | Aosta | 16,5 |
| 2 | Lecco | 94,0 | 28 | Rovigo | 48,0 | 54 | Catania | 16,0 |
| 3 | Bergamo | 90,0 | 29 | Milano | 47,3 | 55 | Pesaro | 15,0 |
| 4 | Reggio Emilia | 89,0 | 30 | Brindisi | 47,0 | 56 | Campobasso | 14,0 |
| 5 | Parma | 85,0 | 31 | Gorizia | 47,0 | 57 | Verbania | 14,0 |
| 6 | La Spezia | 84,0 | 32 | Lucca | 46,0 | 58 | Trieste | 13,5 |
| 7 | Padova | 83,3 | 33 | Alessandria | 44,0 | 59 | Pisa | 12,0 |
| 8 | Brescia | 79,0 | 34 | Potenza | 43,0 | 60 | Cosenza | 12,0 |
| 9 | Varese | 77,0 | 35 | Bolzano | 42,0 | 61 | Bari | 7,0 |
| 10 | Modena | 76,0 | 36 | Forlì | 42,0 | 62 | Nuoro | 7,0 |
| 11 | L'Aquila | 75,0 | 37 | Ascoli Piceno | 41,5 | 63 | Ragusa | 6,5 |
| 12 | Udine | 73,0 | 38 | Belluno | 40,0 | 64 | Matera | 6,0 |
| 13 | Cremona | 71,0 | 39 | Firenze | 40,0 | 65 | Grosseto | 5,5 |
| 14 | Piacenza | 71,0 | 40 | Sondrio | 38,0 | 66 | Ancona | 5,0 |
| 15 | Vicenza | 70,5 | 41 | Rieti | 36,0 | 67 | Savona | 5,0 |
| 16 | Bologna | 69,5 | 42 | Como | 35,0 | 68 | Rimini | 4,0 |
| 17 | Ferrara | 69,0 | 43 | Lodi | 33,0 | 69 | Macerata | 2,5 |
| 18 | Frosinone | 64,0 | 44 | Torino | 30,0 | 70 | Viterbo | 2,0 |
| 19 | Trento | 63,0 | 45 | Ravenna | 29,0 | 71 | Cagliari | 0,0 |
| 20 | Cuneo | 57,0 | 46 | Livorno | 22,5 | 72 | Latina | 0,0 |
| 21 | Asti | 54,0 | 47 | Genova | 21,7 | 73 | Pescara | 0,0 |
| 22 | Monza | 53,0 | 48 | Perugia | 19,7 | 74 | Salerno | 0,0 |
| 23 | Biella | 52,0 | 49 | Roma | 19,1 | 75 | Sassari | 0,0 |
| 24 | Venezia | 50,0 | 50 | Pordenone | 19,0 | 76 | Siracusa | 0,0 |
| 25 | Lecce | 49,5 | 51 | Teramo | 19,0 | 77 | Caltanissetta | 0,0 |
| 26 | Treviso | 49,0 | 52 | Terni | 18,6 | 78 | Oristano | 0,0 |

Fonte: Legambiente, rapporto Ecosistema Urbano XIX edizione 2012 (dati 2011).

3.4 L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO IN ITALIA

Gli inquinanti atmosferici sono tutti quegli elementi che alterano e modificano la composizione naturale dell'atmosfera terrestre. La maggior parte di questi composti è fortemente legata alle attività antropiche e la loro emissione e conseguente concentrazione in atmosfera, risulta essere pericolosa per l'uomo e per l'ambiente.

Nelle città italiane le fonti principali d'inquinamento sono il trasporto stradale, gli impianti di riscaldamento e le attività industriali, quest'ultima specialmente nelle città che vivono a ridosso dei grandi stabilimenti produttivi del Paese. In Italia fino ad oggi le politiche messe in campo per migliorare la qualità dell'aria hanno avuto effetto solo su alcuni inquinanti atmosferici, mentre per altri le emissioni sono rimaste pressoché invariate negli ultimi 10 anni. I dati annuali sulle emissioni in atmosfera, disaggregati per settori, sono gestiti dall'Ispra (Istituto Superiore Per la Ricerca Ambientale) ed attualmente sono disponibili i valori di emissioni fino al 2010. Per evidenziare l'andamento delle emissioni in Italia sono stati analizzati i dati delle serie storiche delle emissioni forniti dall'Ispra relativamente all'ultimo decennio disponibile (dal 2000 al 2010).

Tabella 5 – Variazione delle emissioni dei principali inquinanti atmosferici tra il 2000 e il 2010.

| Inquinante | 2000 | 2010 | variazione (%) |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| IPA (Kg) | 115.020,72 | 152.627,68 | 32,7% |
| Benzene (Mg) | 18.933,50 | 7.078,99 | -62,6% |
| PM10 (Mg) | 208.970,78 | 202.063,62 | -3,3% |
| PM2.5 (Mg) | 178.059,03 | 173.207,57 | -2,7% |
| CO2 (Mg) | 462.485.087,54 | 426.086.644,32 | -7,9% |
| CH4 (Mg) | 2.180.924,77 | 1.788.288,63 | -18,0% |
| N2O (Mg) | 127.706,97 | 87.798,39 | -31,3% |
| CO (Mg) | 4.856.674,95 | 2.710.995,19 | -44,2% |
| NOx (Mg) | 1.431.155,58 | 965.975,31 | -32,5% |
| NMVOC (Mg) | 1.620.132,39 | 1.102.514,96 | -31,9% |
| SOx (Mg) | 749.479,24 | 210.147,38 | -72,0% |
| NH3 (Mg) | 448.580,65 | 379.026,00 | -15,5% |

Fonte: Elaborazione Legambiente su dati ISPRA – SINAnet Rete del sistema Informativo Nazionale Ambientale.

Per alcuni inquinanti, come il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di zolfo (SOx) e il benzene (C6H6) nell'ultimo decennio le emissioni si sono ridotte notevolmente (44% in meno per il CO, 72% per gli SOx e 63% per il C6H6). Altri invece mantengono un andamento più o meno costante, a dimostrazione che gli interventi e le politiche messe in campo fino ad oggi non hanno avuto efficacia. Altri inquinanti

sono diminuiti in maniera meno consistente negli anni o sono rimasti pressoché invariati, presentando ancora oggi concentrazioni elevate nell'aria. Le emissioni di polveri fini (PM10 e PM2.5) non si sono ridotte in maniera evidente in Italia nel decennio analizzato (2000 – 2010): solo il 3,3% per il PM10 e solo il 2,7% per il PM2.5. Tra le cause di questo andamento c'è la complessità delle fonti di emissione di questo inquinante e dei processi che causano la sua presenza nell'atmosfera. Analizzando il contributo del traffico veicolare alla formazione delle polveri sottili, si nota come il continuo miglioramento dell'efficienza dei motori abbia ridotto i consumi di carburante e le quantità di emissioni di alcuni tipi di inquinanti come la CO ma di fatto ha aumentato le concentrazioni di altri tipi di gas che si sono rilevati precursori dei materiali particolati di origine secondaria. A questo si aggiunge poi il notevole aumento del numero di veicoli circolanti nell'ultimo decennio e il relativo traffico che si è generato, con conseguente aumento della percentuale di particolato generata dall'usura dei pneumatici, dei freni e dell'asfalto o il maggior sollevamento da terra del particolato depositato in precedenza. Anche le emissioni degli ossidi e biossidi di azoto hanno subito una riduzione minore rispetto agli altri inquinanti (32% negli ultimi dieci anni). In controtendenza rispetto a tutti gli altri sono gli IPA (Idrocarburi policiclici aromatici) che negli ultimi 10 anni hanno visto aumentare l'emissione del 30% in Italia. Esistono centinaia di composti all'interno di questo gruppo con diverse caratteristiche alcune delle quali altamente tossiche. Tra queste il benzo(a)pirene è *“il marker per il rischio cancerogeno della famiglia degli idrocarburi policiclici aromatici”*. L'origine principale degli IPA è la combustione delle sostanze organiche e risulta strettamente connessa ai settori del riscaldamento (oltre il 50% delle emissioni nazionali) e l'industria (circa il 30%) e solo in minima parte (2%) dal traffico. La concentrazione di queste sostanze raggiunge i picchi più alti specialmente nei mesi invernali.

A seguire riporto la sentenza della Corte Europea riguardo la sanzione imposta alla Repubblica Italiana il 19 Dicembre 2012:

SENTENZA DELLA CORTE (Prima Sezione)

19 dicembre 2012 (*)

«Inadempimento di uno Stato – Ambiente – Direttiva 1999/30/CE – Controllo dell'inquinamento – Valori limite per le concentrazioni di PM10 nell'aria ambiente»

Sentenza

1 Con il suo ricorso, la Commissione europea chiede alla Corte di dichiarare che la Repubblica italiana, avendo omesso di provvedere, per diversi anni consecutivi, affinché le concentrazioni di PM10 nell'aria ambiente non superassero, in numerose zone e agglomerati situati sul territorio italiano, i valori limite fissati all'articolo 5, paragrafo 1, della direttiva 1999/30/CE del Consiglio, del 22 aprile 1999, concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo (GU L 163, pag. 41), divenuto articolo 13, paragrafo 1, della direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa (GU L 152, pag. 1), è venuta meno agli obblighi ad essa incombenti in forza del suddetto articolo 5

La questione è un po' più lunga e complessa e merita un approfondimento. Le varie direttive europee emanate nel corso degli anni possono essere brevemente riassunte come segue:

La direttiva 96/62/CE prevede che gli Stati membri presentino alla Commissione Europea delle relazioni annuali sul rispetto dei valori limite di PM10 che elaborino l'elenco delle zone in cui i livelli di uno o più inquinanti superino i valori limite e adottino misure che consentano di raggiungere il valore limite entro il periodo di tempo stabilito.

La direttiva 1999/30 fissa due tipi di limiti per il PM10 da raggiungere in due distinte fasi: dal 2005 al 2009 il valore giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non deve essere superato per più di 35 giorni all'anno. Il valore medio annuo non deve invece superare i $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dal 1° gennaio 2010 il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non deve essere superato per più di 7 giornate all'anno e il valore medio annuo deve essere inferiore a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La successiva direttiva 2008/50 entrata in vigore l'11 giugno 2008 prevede delle proroghe ai termini stabiliti precedentemente solo in determinate condizioni (art.22),

prevedendo inoltre che nelle zone per cui viene chiesta la proroga vengano predisposti dei piani di qualità dell'aria finalizzati al raggiungimento dell'obiettivo finale. Questi sono gli aspetti rilevanti delle normative europee per la gestione della qualità dell'aria a livello comunitario.

In Italia i problemi cronici di inquinamento atmosferico sono una realtà che spesso è stata sottovalutata e rimandata fino a quando la Commissione Europea nel giugno del 2008, ha informato il nostro Paese di voler avviare un procedimento di infrazione sui dati di qualità dell'aria forniti per gli anni 2006 e 2007, dove risultava che i valori limite venivano superati per lunghi periodi e in molte zone. Inoltre l'Italia non aveva provveduto a fare istanza di proroga nei tempi previsti dalla legge. Infatti, con enorme ritardo e solo dopo una lettera di diffida (02 febbraio 2009), l'Italia ha presentato 2 istanze di deroga relative rispettivamente a 67 zone (che coinvolgevano 12 regioni e due provincie autonome) e 12 zone (che riguardavano altre 3 regioni). In risposta a queste istanze la Commissione Europea ha sollevato delle obiezioni su 62 delle 67 zone segnalate nella prima istanza e su 11 delle 12 zone segnalate nella seconda istanza. Le regioni coinvolte sono Lazio, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna, Liguria, Lombardia, Marche, Umbria, Piemonte, Toscana, Veneto e Provincia autonoma di Trento (I istanza); Campania, Puglia e Sicilia (II istanza). Il passo successivo della Commissione è stato quello di *“invitare lo Stato membro ad adottare i provvedimenti necessari a conformarsi ai suoi obblighi entro un termine di due mesi dalla data di decorrenza della notifica”*, datata 7 maggio 2010. La risposta Italiana è pervenuta nel luglio successivo, in essa veniva citata l'elaborazione di una *“strategia nazionale”* che consisteva in *“misure legislative e regolamentari nonché in linee guida relative ai settori di attività produttive maggiormente responsabili delle emissioni di PM10 e di sostanze inquinanti suscettibili di trasformarsi in PM10”*. Nell'Agosto dello stesso anno l'Italia ha ammesso che i valori limite erano ancora superati in numerose zone al termine della scadenza fissata. Sempre nella stessa missiva l'Italia ha comunicato che sarebbero state adottate misure nazionali a partire

dall'autunno successivo, con tanto di valutazione di impatto riguardante le zone con valori sopra i limiti previsti per poter usufruire di una nuova deroga. Da questo momento il silenzio. La Commissione Europea non è stata più informata sull'adozione di tali misure nazionali, né sono state fornite le valutazioni di impatto delle zone interessate, né sono giunte istanze di deroga. A questo punto la Commissione ha proposto il ricorso alla Corte di Giustizia. Nel corso della causa tra le argomentazioni delle parti, l'Italia ha dichiarato in conclusione che l'obiettivo da raggiungere, fissato nei limiti di legge previsti era *“impossibile da raggiungere”* e che per ottenerlo sarebbe stato necessario *“adottare misure drastiche sul piano economico e sociale”*, fornendo 5 motivazioni per spiegare il perché i valori limite di legge non erano stati raggiunti nei limiti di tempo previsti. Il giudizio della Corte ha constatato l'inadempienza della Repubblica Italiana per gli anni 2006 e 2007, ritenendo non ammissibili le giustificazioni fornite in quanto *“gli Stati membri sono tenuti a rispettare i termini originariamente fissati”* ed in quanto *“gli argomenti adottati dalla Repubblica Italiana sono troppo generici e imprecisi per poter configurare un caso di forza maggiore”*. In virtù di tali motivazioni l'Italia è stata condannata (sentenza del 19/12/2012). Il caso in esame si riferisce ai dati forniti dall'Italia sulla qualità dell'aria, nello specifico relativamente alle concentrazioni di PM10 per gli anni 2006 e 2007. Anche i dati disponibili per gli anni dal 2008 ad oggi non sono in linea con la normativa vigente. Il problema quindi non è stato risolto, anzi, sotto certi punti di vista la situazione è addirittura peggiorata. Questo comporterà altri ricorsi da parte della Commissione Europea con ulteriori, inevitabili, sentenze di inadempienza da parte dello Stato italiano. E tutto a scapito della salute dei cittadini.

CAPITOLO 4

MODELLO UFORE

Il modello UFORE (Urban Forest Effects Model, a.k.a. i-Tree ECO) è stato sviluppato nel 1990 da un gruppo di ricercatori del US Forest Service, è un modello computerizzato che fornisce protocolli di campionamento su base statistica e calcola gli effetti sulle strutture ambientali delle foreste urbane. Questo software può essere usato da ricercatori o manager che vogliono studiare gli effetti dei boschi urbani sull'ambiente, o la riduzione dell'inquinamento attraverso l'uso degli alberi.

Il modello è progettato per utilizzare dati standardizzati su appezzamenti di terreno situati in modo casuale, per misurare l'inquinamento atmosferico e i dati meteorologici di ogni singola ora, di quantificare la struttura della Foresta Urbana e i numerosi effetti relativi ad essa inerenti alle città di tutto il mondo. Il modello calcola diversi parametri sulla Foresta Urbana tra cui:

1. Composizione delle specie
2. Distribuzione del diametro
3. Salute dell'albero e della foglia
4. Diversità della specie
5. Densità dell'albero
6. Biomassa dell'albero

Oltre a questo il Modello calcola varie funzioni e relativi valori sugli effetti degli alberi nella Foresta Urbana:

1. Inquinamento atmosferico
2. I gas serra e il riscaldamento globale
3. Il risparmio di consumo d'energia

Questo modello è attualmente disponibile attraverso I –Tree¹. Il programma è stato scritto in SAS (linguaggio di programmazione) ed è attualmente in fase di conversione con codice basato su Windows. Nuovi moduli analitici sono e saranno sviluppati in futuro tra cui una funzionalità di mappatura e analisi GIS². Esso presenta informazioni su come stabilire trame e variabili di misura che possono essere utilizzate per quantificare la struttura della Foresta Urbana con relative funzioni e valori.

Entriamo ora nella specifica descrizione dei modelli UFORE.

I modelli UFORE usano terreni standard, l'inquinamento atmosferico e i dati meteorologici per quantificare la struttura delle foreste urbane e i numerosi effetti relativi ad esse in varie città degli Stati Uniti (Nowak e Crane, 2000). Attualmente ci sono cinque componenti del modello:

1. UFORE – A: Anatomia della Foresta Urbana: quantifica la struttura della foresta urbana (ad esempio: composizione delle specie, densità dell'albero, salute dell'albero, superficie fogliare, biomassa della foglia e la biomassa dell'albero) basandosi su dati che vengono raccolti in loco.
2. UFORE – B: Emissioni di Composto Biogenico Volatile e Organico (VOC): quantifica le emissioni VOC orarie della foresta urbana (isoprene, monoterpeni e altre emissioni VOC che contribuiscono alla formazione di O₃) basati su dati raccolti sul campo, su dati meteorologici e infine quantifica la formazione di O₃ e CO che sono basati sulle emissioni VOC.

¹ I – TREE: Sono dei Software della USDA FOREST SERVICE che forniscono strumenti di valutazione, analisi e benefici in silvicoltura urbana. I Software forniscono i dati di base che è possibile utilizzare per dimostrare il valore e definire le priorità per rendere più efficace il processo decisionale. Essi sono di dominio pubblico e sono accessibili a tutti.

² Sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici (geo-riferiti).

3. UFORE – C: Immagazzinamento e Sequestro del Carbonio: calcola il C totale depositato, il C lordo e netto, il C sequestrato/trattenuto annualmente dalla foresta urbana, basandosi su dati raccolti sul campo.
4. UFORE – D: Deposito Secco di Inquinamento Atmosferico: quantifica l'ammontare orario d'inquinamento rimosso dalla foresta urbana e l'associata percentuale di miglioramento della qualità dell'aria durante tutto l'anno. La rimozione dell'inquinamento è calcolata per O₃, SO₂, NO₂, CO e PM10, ed è basata su dati meteorologici, su dati raccolti sul campo e sui dati della concentrazione d'inquinamento atmosferico.
5. UFORE – E: Conservazione Energetica: stima gli effetti degli alberi sul consumo di energia degli edifici e le conseguenti emissioni di carbonio dagli impianti energetici.

4.1 UFORE – A: ANATOMIA DELLA FORESTA URBANA

L'anatomia della foresta urbana rappresenta la disposizione spaziale e le caratteristiche della vegetazione in relazione con altri oggetti (ad esempio gli edifici all'interno di aree urbane). Durante la stagione vegetativa gli appezzamenti di terra calcolati in 0.04 ha (equivalenti a 1 acre) erano distribuiti casualmente tra i vari tipi di uso del suolo in proporzione allo stimato ammontare di copertura arborea, o erano casualmente distribuiti all'interno di uguali celle della griglia, tali che il numero delle celle eguagliasse il numero totale di appezzamenti di terreno desiderati. Con la strategia della griglia casuale, gli appezzamenti di terreno sono stratificati a posteriori dal tipo di uso del terreno stesso. Su ogni appezzamento sono stati stimati i seguenti dati generali ad esso relativi:

- Percentuale di copertura arborea.
- Uso attuale dell'appezzamento di terreno.

- Percentuale dell'appezzamento all'interno del terreno utilizzato.
- Copertura del suolo: percentuale di suolo coperto dai seguenti tipi di coperture quali: cemento, edifici, asfalto. Altri impermeabili tra cui: terreno, roccia permeabile, pacciamme, erbaceo (eccetto erba e cespugli), erba curata, erba spontanea e acqua.
- Percentuale della copertura di cespugli.

Per ogni massa di cespugli sono state registrate le seguenti informazioni: genere, altezza, percentuale del volume della massa del cespuglio privo di foglie e infine percentuale dell'area totale dei cespugli nell'appezzamento di terra occupata dalla massa di cespugli.

Per ogni albero di un appezzamento di terreno, con diametro minimo all'altezza del petto di 2.54 cm (equivalenti a 1 pollice) sono state registrate le seguenti informazioni:

- Specie.
- Numero di fusti.
- Diametro base altezza di ogni fusto.
- Altezza dell'albero.
- Altezza alla base della chioma.
- Larghezza della chioma (media di due misurazioni perpendicolari).
- Percentuale di rami morenti nella chioma (usato per valutare la condizione della chioma dell'albero).
- Percentuale del volume della chioma senza le foglie (0 – 100 %).

- Percentuale dell'area di terra impermeabile al di sotto dell'intera linea di gocciolamento della chioma dell'albero.
- Percentuale dell'area di terra al di sotto dell'intera linea di gocciolamento della cupola della chioma dell'albero, che è occupata da cespugli.
- Esposizione alla luce della chioma: numero dei lati dell'albero che ricevono la luce del sole dall'alto.
- Distanza dagli edifici residenziali.
- Direzione verso gli edifici.
- Albero su strada: Y sì, N no.

4.1.1 AREA FOGLIARE E BIOMASSA DELLA FOGLIA

L'area fogliare e la biomassa della foglia di alberi singoli vengono calcolate usando delle equazioni di regressione per specie urbane decidue. (Nowak, 1996). Se i coefficienti di schermatura (che è la percentuale d'intensità di luce intercettata dal fogliame delle chiome degli alberi) usati nella regressione non esistono per una singola specie, vengono usate le medie della singola specie della pianta. Per gli alberi decidui che risultano troppo grandi o larghi per essere usati direttamente nell'equazione di regressione, l'indice dell'area fogliare media (LAI: m² di area fogliare per m² proiettati dalla chioma sull'area del suolo) è calcolato attraverso l'equazione di regressione per la taglia massima dell'albero che è basata sull'appropriato rapporto altezza – larghezza e sulla classe del coefficiente di schermatura dell'albero. Per gli alberi decidui con rapporto altezza per larghezza troppo grandi o troppo piccoli per essere usati direttamente nelle equazioni di regressione, l'altezza o la larghezza dell'albero è ridimensionata per permettere alla chioma la portata massima o minima del rapporto altezza per larghezza. L'area fogliare è calcolata utilizzando l'equazione di regressione con il massimo o minimo

rapporto; l'area fogliare viene poi ridimensionata in maniera proporzionale in modo da raggiungere il volume originario della chioma. Per le conifere (esclusi i pini) la media LAI per la classe di rapporto altezza per larghezza per alberi decidui con un coefficiente di schermatura di 0.91, è applicabile all'area del suolo dell'albero per calcolare l'area fogliare.

Per quanto concerne la biomassa della foglia dell'albero non può essere calcolata direttamente dalle equazioni di regressione (a causa dei parametri dell'albero fuori dai termini dell'equazione), così la biomassa è calcolata convertendo l'area fogliare stimata usando delle misure (specifiche per specie) del peso in g della foglia secca/m² dell'area fogliare.

4.1.2 DIVERSITA' DELLE SPECIE

Gli indici delle specie diverse (indice di Shannon - Wiener) e delle ricchezze delle specie, ossia il numero di specie sono calcolati per gli alberi viventi nell'intera città (Barbour et al. 1980). La proporzione della popolazione degli alberi che ha origine da differenti parti del paese e del mondo è calcolata basandosi sul raggio di natività di ogni specie (Hough 1907, Grimm 1962, Platt 1968, Little 1971, 1976, 1977, 1978, Viereck e Little 1975, Preston 1976, Clark 1979, Burns e Honkala 1990 a, b, Gleason e Cronquist 1991).

4.1.3 VALORE COMPENSATORIO

Il valore strutturale o compensatorio degli alberi è basato su metodi del Council of Tree and Landscape Appraisers (1992). Questo valore si basa sul costo di rimpiazzo di un albero simile. Viene usato per accordi monetari in caso di controversie per il danno o la morte di piante per richieste assicurative di pagamento diretto e perdita del valore di proprietà per detrazioni fiscali. Altri valori possono essere ascritti agli alberi basandosi su fattori come l'aumento del valore della proprietà locale o le funzioni ambientali fornite (ad es. la riduzione dell'inquinamento atmosferico) ma la valutazione compensatoria è il metodo più diretto. Esso è basato su quattro

caratteristiche dell'albero: l'area del tronco (sezione incrociata dell'area su diametro base e altezza), le specie, la condizione e la locazione. L'area del tronco e le specie sono usate per determinare il valore base, che è poi moltiplicato per gli indici di condizione e locazione per determinare il valore compensatorio finale dell'albero.

4.1.4 EFFETTI DEGLI INSETTI

La proporzione di area fogliare e popolazione viva dell'albero e il valore compensatorio stimato in varie classi di vulnerabilità all'alimentazione della falena zingara (gipsy moth), dello scarabeo asiatico dalle lunghe corna e del rodilegno smeraldo del frassino è calcolato per rilevare il potenziale danno alla foresta urbana associato a questi parassiti.

4.1.5 USO DELLA TERRA

Per determinare l'accuratezza della mappa è stato fatto un riferimento incrociato tra l'uso della terra determinato nel campo e l'uso della stessa classificato dalla mappa dell'utilizzo della terra. La proporzione della popolazione delle specie, dell'area fogliare e della biomassa della foglia in ogni classe di diametro base altezza, sono calcolate, come proporzioni della popolazione delle specie per le varie classi di condizione e per il suo diametro, la base, l'altezza e classe di condizione. I dati ricavati sul campo sono immessi nel modulo dell'UFORE – A per calcolare i totali, le medie, e gli errori standard per specie, utilizzo della terra e città totali per le strutture delle foreste urbane. Gli errori standard per l'area fogliare e la biomassa della foglia riportano errori di campionatura piuttosto che errori di stima.

4.2 UFORE – B: EMISSIONI BIOGENICHE

I composti volatili organici (VOC) possono contribuire alla formazione di O₃ e CO. L'ammontare di emissioni VOC dipende dalle specie dell'albero, dalla biomassa della foglia, dalla temperatura dell'aria e da altri fattori ambientali. UFORE – B misura l'emissione oraria di isoprene (C₅H₈), monoterpeni (C₁₀ terpenoidi) e altri

composti organici volatili (OVOC) per specie, per ogni utilizzo del terreno e per l'intera città. La biomassa della foglia della specie (dall'UFORE - A) è moltiplicata per i fattori di emissione specifici del genere (Nowak et al. 2002a) per produrre livelli di emissione standardizzati a 30°C e flussi di radiazioni foto sinteticamente attive (PAR) di $1.000\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Se non sono disponibili informazioni specifiche su quella specie vengono usati valori di emissione mediani per la famiglia, l'ordine o l'ordine superiore. Le emissioni standardizzate sono convertite in emissioni attuali basandosi su fattori di correzione della luce e della temperatura (Geron et al. 1994) e su dati meteorologici locali.

4.3 UFORE – C: DEPOSITO E SEQUESTRO DEL CARBONIO ANNUALE

L'aumento dei livelli di CO₂ e di altri gas ad effetto serra (metano, clorofluorocarburi, protossido di azoto) nell'atmosfera, contribuiscono ad incrementare la temperatura della stessa attraverso l'intrappolamento nell'atmosfera di certe lunghezza d'onda di radiazioni (U.S. Nat. Res. Council, 1983). Attraverso i processi di crescita, gli alberi rimuovono il CO₂ dall'atmosfera e immagazzinano il C nella loro biomassa. Per ogni albero misurato, la sua biomassa viene calcolata utilizzando le equazioni allometriche (Nowak 1994b; Nowak ed altri, 2002b). Le equazioni che prevedono la biomassa sopra il livello del suolo vengono convertite nell'intera biomassa dell'albero basandosi sul rapporto della radice alla crescita delle pianta del valore di 0.26 (Cairns ed altri 1997). Le equazioni che calcolano il peso fresco della biomassa sono moltiplicate per i fattori di conversione specifici della specie o del genere per rendere il peso secco della biomassa. Gli alberi mantenuti con crescita libera, tendono ad avere una biomassa sopra il terreno inferiore di quella prevista dalle equazioni sulla biomassa derivante dalla foresta, per gli alberi con stesso diametro, base e altezza. Per stimare questa differenza i risultati della biomassa per gli alberi urbani sono moltiplicati per il fattore 0.8 (Nowak 1994b). Per gli alberi trovati in condizioni più naturali (terre incolte o riserve

forestali) non vengono fatte alcune correzioni. Siccome gli alberi decidui perdono le foglie annualmente per loro viene calcolato solamente il carbonio immagazzinato nel legno. La biomassa complessiva del peso dell'albero da secco è convertita nel totale di carbonio immagazzinato moltiplicando per 0.5 (Forest Products Lab, 1952; Chow and Rolfe 1989). Le molteplici equazioni usate per le singole specie sono combinate assieme per produrre un'equazione di previsione per un'ampia gamma di diametri delle specie individuali. Il processo che combina le formule individuali (con una gamma limitata di diametri) in un'unica formula delle specie, più generale, produce risultati che sono tipicamente all'interno del 2% dell'originale immagazzinamento di carbonio totale stimato per le foreste urbane. Le formule sono combinate per prevenire delle stime di sequestro disgiunte, che possono verificarsi quando il calcolo si sposta attraverso le equazioni di biomassa individuale. Se non possono essere trovate equazioni allometriche per una singola specie, viene usata la media dei risultati delle equazioni dello stesso genere. Se non si trova alcuna equazione di genere, viene usato il risultato medio derivante da tutte le equazioni delle latifoglie e delle conifere.

4.4 UFORE – D: RIMOZIONE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

L'UFORE – D è usato per stimare la deposizione secca dell'inquinamento atmosferico (ad es. rimozione dell'inquinamento durante i periodi senza precipitazioni) per alberi e arbusti (Nowak e altri, 1998). Questo modulo calcola la deposizione secca oraria di O₃, SO₂, NO₂, CO e PM₁₀ per il manto arboreo attraverso l'anno, basandosi sui dati della copertura dell'albero, i dati atmosferici NCDC (National Climatic Data Center) orari e i dati della concentrazione dell'inquinamento monitorati dall'Agenzia di Protezione Ambientale degli Stati Uniti (EPA).

4.5 UFORE – E: EFFETTI DELL'ENERGIA DELL'EDIFICIO

L'UFORE – E stima gli effetti degli alberi sull'uso di energia degli edifici e le conseguenti emissioni di carbonio dagli impianti energetici. I metodi per queste stime sono basati su un rapporto redatto da McPherson e Simpson (1999). Per ogni albero all'interno di 18 m da un edificio residenziale a due piani o meno sono state registrate le informazioni sulla distanza e la direzione verso l'edificio. Ogni albero che è più piccolo di 6 m in altezza o più distante di 18 m dall'edificio, è considerato come se non avesse alcun effetto sull'utilizzo d'energia dell'edificio. Usando la dimensione dell'albero, la distanza, la posizione dell'edificio, la regione climatica, il tipo di foglia (decidua o sempreverde) e la percentuale di copertura di edifici e alberi sull'appezzamento, l'ammontare di carbonio ridotto a causa della presenza di alberi, è calcolato basandosi sui metodi di McPherson e Simpson (1999). Effetti energetici predefiniti per albero sono fissati per ogni regione climatica, per tipo di edificio antico (periodo di costruzione), dimensione dell'albero, distanza dall'edificio, uso energetico (riscaldamento o raffreddamento) e/o tipo di foglia (decidua o sempreverde) dipendente dal tipo di effetto energetico dell'albero (schermatura dell'albero, effetti frangivento e effetti del clima locale) (McPherson e Simpson 1999). I valori degli effetti di schermatura e climatici predefiniti sono applicati a tutti gli alberi; gli effetti di riscaldamento derivanti dall'energia frangivento sono assegnati a ogni albero sempreverde.

CAPITOLO 5

VERDE PENSILE

Quando si parla di “giardino pensile” o di copertura a verde, si pensa subito ad un tetto o ad una terrazza. In realtà la tecnologia si è sviluppata negli anni in una direzione tale per cui si potrebbe meglio definirla come “tecnologia per realizzare opere a verde su superfici non in contatto con il suolo naturale” (ISPRA 2012)³. Oggetto d’inverdimento pensile possono essere, quindi, non solo coperture, tetti e terrazze, ma anche garage interrati, gallerie, passanti ferroviari e superfici inerti in genere, anche in ambiente interno. Un sistema per giardino pensile deve rispondere principalmente a due importanti esigenze:

- Consentire alla copertura di espletare la propria funzione di difesa dalle intemperie con particolare riguardo alla captazione e drenaggio delle acque meteoriche
- Fornire un ambiente adatto alla vita e allo sviluppo duraturo della vegetazione, senza richiedere, in funzione della destinazione d’uso della superficie, difficili e costosi interventi di manutenzione.

La prima esigenza prevede una progettazione di tipo esclusivamente tecnico mentre, nella seconda rientra anche la progettazione che deve avere come presupposto la conoscenza delle caratteristiche biotecniche delle piante e delle complesse interazioni con i fattori ambientali.

Un giardino pensile è certamente costituito da vegetazione, ma altresì importante dev’essere l’applicazione di soluzioni e sistemi ben progettati e dimensionati per la gestione delle acque sia piovane che d’irrigazione.

³ ISPRA: ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE

5.1 INVERDIMENTO PENSILE ESTENSIVO ED INTENSIVO

L'inverdimento pensile estensivo si applica su coperture piane o inclinate di grandi dimensioni, prevalentemente su capannoni ed edifici industriali e commerciali in sostituzione delle usuali coperture con zavoratura in ghiaia o altri materiali inerti. Non è da considerarsi un giardino fruibile ma una "copertura a verde con" valenza anche di mitigazione e compensazione ambientale. L'inverdimento pensile estensivo è un sistema che, dopo il primo o secondo anno dall'impianto, richiede manutenzione ridotta. Normalmente sono sufficienti uno o due interventi l'anno. E' strutturato in modo che l'approvvigionamento idrico e di elementi nutritivi avvenga, nella misura maggiore possibile, attraverso processi naturali. La vegetazione impiegata è normalmente costituita da piante a sviluppo contenuto in altezza (non esclusivamente) che richiedono ridotta manutenzione e con caratteristiche di veloce radicamento e copertura, resistenza alla siccità e al gelo, buona autorigenerazione e autopropagazione. Si possono impiegare con successo numerose erbacee perenni ma occorre valutare, caso per caso, quale sia la manutenzione a regime richiesta dalle specie utilizzate. Lo spessore del substrato è, normalmente, ridotto; per il nord e il centro Italia a partire da circa 8 cm, che rappresentano il minimo nelle nostre condizioni climatiche per i Sedum, fino a circa 15 cm in funzione delle esigenze delle specie adottate. Questi spessori sono leggermente da aumentare a mano a mano che ci si sposta verso le regioni meridionali. Il substrato impiegato è costituito prevalentemente da componenti minerali. Il peso delle stratificazioni in massima saturazione idrica è superiore ai 100 Kg/m².



Figura 1. Estensivo a Sedum.



Figura 2. Estensivo Naturale.

L'inverdimento pensile intensivo rappresenta il giardino vero e proprio, "classico", provvisto di prati, cespugli, alberi ed elementi di arredo come a terra. Esso è una struttura fruibile ed è l'erede dell'antica concezione del "giardino pensile". E' un

sistema che richiede sempre regolare manutenzione (sfalci, irrigazione, diserbi, concimazioni). Si impiega un'ampia gamma di specie e associazioni vegetali: tappeti erbosi, erbacee perenni cespugli, alberi... Lo spessore del substrato è superiore ai 15 cm e normalmente non supera i 40 – 50 cm pur potendo, in casi particolari, raggiungere anche i 100, 150 cm o più. Il substrato impiegato è costituito da una miscela bilanciata di elementi minerali e organici. Il peso delle stratificazioni in massima saturazione idrica è superiore ai 200 Kg/m² (valori minimi). Il peso massimo è determinato, oltre che dallo spessore del substrato, dal tipo di vegetazione e dalle soluzioni di arredo eventualmente inserite. L'inverdimento intensivo viene impiegato per la realizzazione di veri e propri giardini su qualsiasi tipo di superficie pensile: tetti, terrazze e garage.





Figura 3. Ierbimenti Intensivi.

In conclusione si può dire che la destinazione a verde della copertura degli edifici è una delle principali strategie impiegate in Bioarchitettura per limitare l'impatto ambientale della costruzione. Il mix tra substrati e vegetali permette di realizzare delle coperture relativamente ben isolate, protette dall'aria e dall'acqua, resistenti al vento e al fuoco. Il tutto tramite materiali facilmente disponibili.

Contribuisce alla riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio e quindi alla riduzione delle emissioni di CO₂ sia perché apporta altri numerosi vantaggi economici ed ecologici tra i quali:

1. Assorbe temporaneamente l'acqua piovana e la rilascia lentamente per cui evita gli allagamenti per tracimazione della rete fognaria.
2. Filtra l'inquinamento urbano e riduce l'anidride carbonica.
3. Filtra l'acqua piovana inquinata.
4. Raffredda l'aria per evapotraspirazione di vapore acqueo.
5. Riduce la velocità del vento.
6. Favorisce l'insediamento di ecosistemi animali.
7. Riduce la trasmissione dei rumori all'interno dell'edificio.
8. Riduce gli effetti delle "isole di calore urbane".

9. Aumenta il volano termico della copertura.
10. Aumenta la resistenza termica della copertura.
11. Protegge il manto impermeabile e ne prolunga la durata.

5.2 NORMA UNI 11235:2007

In Italia per la realizzazione degli inerbimenti sia intensivi che estensivi si fa riferimento alla Normativa UNI "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture a verde". Il verde pensile viene inteso oggi non solo come fattore estetico ma anche come strumento di mitigazione e compensazione ambientale e come mezzo per aumentare il benessere ambientale e ha iniziato a prendere piede in Italia anche se lentamente, circa una quindicina d'anni fa.

Fino ad oggi le coperture a verde pensile sono state progettate in assenza di una precisa normativa tecnica di riferimento, causando purtroppo la realizzazione di numerose opere a verde pensile che hanno fornito e forniscono tuttora prestazioni insoddisfacenti o che sono andate incontro al fallimento o, nel migliore dei casi, che presentano rapporti costi/benefici negativi, inaccettabili o non previsti, spesso in controtendenza alle aspettative del committente.

Nel 2007 l'istituto UNI ha pubblicato la norma 11235, "La progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione delle coperture a verde pensile". Essa è un vero codice di buona pratica e rappresenta la regola dell'arte in Italia. La norma considera il verde pensile un "sistema tetto" in tutta la sua completezza: vengono presi in considerazione tutti gli elementi che possono comporre una stratigrafia e ne vengono definiti i requisiti minimi.

Tra questi elementi i seguenti, definiti primari, devono sempre essere presenti:

1. Elemento portante.
2. Elemento di tenuta dell'acqua.
3. Elemento di protezione all'azione delle radici (integrato o meno).
4. Elemento di protezione meccanica.

5. Elemento di accumulo idrico.
6. Elemento drenante.
7. Elemento filtrante.
8. Strato colturale.
9. Strato di vegetazione.

Per ognuno di questi elementi vengono descritte le tipologie comunemente diffuse allo stato dell'arte e le prestazioni che devono soddisfare. Il valore di ogni caratteristica viene espresso in funzione di una norma di riferimento, che a sua volta definisce le procedure per la determinazione della caratteristica stessa. Un elemento può svolgere più di una funzione, ad esempio un manto impermeabile idoneo può svolgere sia la funzione di tenuta all'acqua che quella di barriera alla penetrazione delle radici.

La norma non è semplicemente una norma di prodotto o di materiale ma è una di "sistema" che non si limita unicamente a definire le caratteristiche e le prestazioni di singoli materiali ma che tiene conto delle interazioni tra i singoli elementi e strati della copertura arrivando a definire le caratteristiche, le prestazioni e relativi metodi di misura del sistema complesso.

Sono state inserite le stratificazioni di impermeabilizzazione nel sistema complessivo. Il progetto, deve tenere conto di tutte le caratteristiche e prestazioni dei vari elementi presenti, a partire dall'elemento di supporto grezzo. Questo è sicuramente l'aspetto che qualifica notevolmente questa norma in confronto con tutte le altre norme europee attualmente in vigore.

La struttura dell'impianto normativo inizia con una parte che fornisce i termini e le definizioni delle coperture verdi; segue una parte che definisce i requisiti di una copertura a verde e una sezione dedicata alla progettazione e composizione della copertura a verde, viene poi elencata tutta la documentazione che deve essere redatta dal progettista. La norma tiene conto dei vari aspetti, dalle sezioni correnti alle

sezioni di dettaglio, a tutti i dettagli esecutivi, al contenuto del capitolato, ai materiali e i componenti che possono essere utilizzati per le coperture a verde.

La norma si conclude con le istruzioni legate alla cantieristica, cioè all'esecuzione della copertura, ai controlli nell'esecuzione, ai parametri di collaudo e alla manutenzione.

La norma fornisce le specifiche e i criteri di calcolo riguardanti la composizione degli strati primari (portante, di tenuta, di protezione dall'azione delle radici, drenanti, filtranti, di accumulo idrico, strati colturali e di vegetazione, etc...) e di quelli secondari (strato di barriera a vapore, strato termoisolante, strato di pendenza, di protezione, di zavorramento, strato antierosione, impianti di irrigazione, etc...), indicando gli spessori minimi da utilizzare in base al tipo di vegetazione. Ad esempio, per erbacee perenni a piccolo sviluppo è sufficiente uno strato colturale di 10 cm, mentre per i tappeti erbosi ne sono necessari almeno 15. Per quanto riguarda gli arbusti di piccola taglia, lo spessore minimo deve essere 20 cm fino ad arrivare ad un metro per gli alberi di prima grandezza che possono arrivare fino ad un massimo di 16 metri di altezza.

Sia in Italia che all'estero, negli ultimi dieci anni, si è assistito alla formazione di un interesse crescente su questo tema. Indicazioni interessanti sono state sviluppate nei regolamenti edilizi delle città maggiormente sensibili alla risoluzione di problematiche energetiche e microclimatiche, sia attraverso l'intervento a scala urbana che a livello del singolo edificio.

Nella parte iniziale della norma vengono definiti i criteri progettuali di cui nel seguito si riporta una sintesi.

A. Generalità. Obiettivi e funzioni di una copertura a verde

- a. Fruibilità della copertura. Si deve prendere in considerazione il tipo di attività ed i carichi agenti sulla vegetazione, in funzione anche degli oneri manutentivi.
- b. Fruibilità visiva.

- c. Influenza sulle prestazioni interne dell'edificio, con particolare attenzione all'isolamento termico ed in certa misura quello acustico.
- d. Influenza sulle prestazioni esterne dell'edificio: mitigare l'isola di calore, regimare le acque piovane ed assorbire polveri sottili.
- e. Compensazione ambientale: capacità della copertura e del sistema architettonico in cui è inserita di “restituire integralmente o parzialmente le valenze che il sistema ambientale originario conferiva al contesto”. Uno dei benefici importanti di una copertura a verde può essere quello legato al possibile valore ecologico che può assumere.

B. Analisi del contesto

- a. “Il contesto è analizzato dal punto di vista climatico e territoriale, in relazione alla definizione dello schema funzionale della copertura e della tipologia vegetativa”.
- b. La scelta della vegetazione deve tener conto del contesto climatico e delle caratteristiche del sito, per un periodo di ritorno di almeno 20 anni. Per esempio deve considerare:
 - 1. Radiazione solare
 - 2. Idrometeore
 - 3. Atmosfera
- c. Agenti e requisiti. Gli agenti interferenti sul sistema copertura a verde di cui il progettista deve tenere maggiormente conto sono i seguenti:
 - Agenti
 - Idrici
 - Biologici
 - Chimici
 - Carichi permanenti e sovraccarichi variabili
 - Termici, connessi alla tipologia costruttiva
 - Radiativi

➤ Requisiti

- Capacità agronomica (es. capacità di scambio cationico)
- Capacità drenante
- Capacità di aerazione dello strato drenante
- Capacità di accumulo idrico
- Capacità di aerazione dello strato colturale
- Resistenza agli attacchi biologici

d. Elementi, strati ed impianti componenti il sistema

- Elementi primari
- Elementi secondari ed impianti complementari
- Elementi accessori

e. Progettazione degli elementi o strati

- Progettazione dell'elemento portante
- Progettazione dello strato termoisolante
- Progettazione dell'elemento di tenuta all'acqua
- Progettazione dell'elemento di protezione all'azione delle radici
 - a. Barriera meccanica
 - b. Barriera chimica
- Progettazione dell'elemento di protezione meccanica
- Progettazione dell'elemento drenante
 - a. In aggregati naturali
 - b. In prefabbricati plastici
- Progettazione dell'elemento di accumulo idrico
- Progettazione dell'elemento filtrante
 - a. In aggregato naturale

b. In geosintetico

- Progettazione dell'elemento di ancoraggio della vegetazione
- Progettazione dello strato antierosione
- Progettazione dello strato colturale
- Progettazione dello strato di vegetazione
- Progettazione dell'impianto di irrigazione

Numerosi sono i vantaggi derivanti dall'applicazione del verde pensile in ambito urbano. Nelle nostre città gli insediamenti abitativi e industriali aumentano sempre più. Con ogni costruzione va perso un pezzo di natura. L'uso intensivo del territorio porta a conseguenze negative: il clima si modifica, la rete di smaltimento delle acque è sovraccaricata, il mondo animale e vegetale s'impoverisce. Nelle città la qualità dell'aria è sensibilmente peggiore che nelle zone circostanti: essa è asciutta, carica di polveri e di gas. Cemento, pietre, asfalto, che sono i materiali maggiormente impiegati in città, accumulano calore e producono polvere. Con la costruzione di edifici le superfici sono moltiplicate frenando in questo modo il vento e riducendo il ricambio dell'aria. Le emissioni domestiche del traffico e delle industrie, come fonti aggiuntive, causano nuvole di caligine sopra alla città. Al contrario, sopra alle superfici verdi, l'aria è più umida e pulita. La vegetazione rinfresca l'aria attraverso l'evaporazione, produce ossigeno e fissa le polveri. Nelle città non ci sono sufficienti aree verdi e quindi può essere decisivo l'inverdimento dei tetti per contribuire al miglioramento del clima. I fattori negativi portano un influsso negativo anche sull'equilibrio dell'ambiente e del paesaggio. Ad esempio canali e corsi d'acqua sono sovraccaricati. Nelle città le superfici impermeabilizzate lasciano scorrere velocemente l'acqua piovana nelle fitta rete dei canali di deflusso. Quando la pioggia cessa la città è subito asciutta. Attraverso le canalizzazioni è smaltita velocemente un'onda d'acqua sporca e satura di sostanze irritanti o tossiche. Nella campagna non edificata, invece, l'acqua è accumulata nel terreno e alimenta le falde. Prati e campi

rimangono umidi anche a giorni di distanza dalle piogge. Il tetto verde esplica una funzione simile. Durante le piogge funziona come una spugna provocando una forte riduzione del deflusso. Una gran quantità di questi tetti verdi, accumulando acqua, può contribuire a diminuire sensibilmente il carico della rete di drenaggio delle città. Possono essere risparmiati gli oneri per costose opere per l'accumulo e la regolazione idrica. Il verde pensile porta vantaggi anche ai proprietari degli edifici. La qualità della vita e il valore dell'immobile aumentano, un tetto verde fornisce anche isolamento termico aggiuntivo. Le intemperie non hanno nessuna azione diretta sull'impermeabilizzazione e sulla struttura delle coperture che sono così protette. Inoltre viene migliorato il clima degli ambienti interni delle abitazioni. In estate è piacevolmente fresco, in inverno si risparmia sui costi di riscaldamento.

5.3 TIPOLOGIE DI VEGETAZIONE CHE VENGONO UTILIZZATE NEI GIARDINI PENSILI

Le tipologie di vegetazione comunemente utilizzate e che di seguito verranno brevemente descritte, rispecchiano un approccio al verde pensile principalmente estetico oppure, quando tecnico, poco attento all'importanza funzionale della vegetazione. Tuttavia si sta diffondendo una crescente sensibilità per gli aspetti ecologici e un maggiore approfondimento tecnico rivolto all'elemento vegetale. Queste due nuove esigenze, naturalistica e tecnica, si trovano sempre più concordi nell'esigenza di imitare il più possibile gli equilibri che si instaurano in un ecosistema naturale, da cui non deriva solo una maggiore stabilità e resistenza del sistema, ma anche un miglioramento delle prestazioni termodinamiche ed idrauliche.

In linea generale lo stadio più evoluto a cui il progettista potrebbe puntare è il prato arbustato. Ma vanno utilizzati in maniera ponderata anche stadi di sviluppo meno strutturati, ricreando aree con comunità di tipo pioniero. Tali precauzioni sono necessarie ai fini di creare ecosistemi prossimi naturali in grado di tollerare le perturbazioni ambientali. Per quanto riguarda invece le coperture gestite a giardino

(quindi intensive), si auspica comunque una riscoperta ed una valorizzazione delle essenze autoctone.

5.3.1 PRATO FRUIBILE



E' l'applicazione più comune nei giardini privati in cui il giardino viene impiegato come spazio ludico. Richiede una continua e costante manutenzione per impedire l'ingresso di piante infestanti, per mantenere alto il valore estetico, per sostenere il carico usurante e per controllare l'attacco di funghi e parassiti. Il consumo di acqua per l'irrigazione è elevato soprattutto nei periodi primaverile ed estivo. Lo spessore di substrato relativamente elevato rende le sue prestazioni termodinamiche generalmente buone.

5.3.2 TAPPETO DI SEDUM



E' la soluzione più diffusa per quanto riguarda le coperture estensive. Nasce nel clima continentale, dove in effetti richiede minimi interventi di manutenzione e nessuna irrigazione. Nei climi di tipo mediterraneo i tappeti di *Sedum* necessitano di un "irrigazione di soccorso nel periodo estivo" se si vuole che mantengano una densa copertura e la manutenzione deve essere più frequente poiché gli interstizi fra le piante di *Sedum* non vengono riempiti da muschi (come nel nord Europa) e vi è una maggiore facilità di aggressione da parte di infestanti. In ogni caso, nei nostri climi, lo sviluppo di muschi non è generalmente da considerarsi come un evento positivo. Il diserbo deve venir effettuato a mano per estirpazione, rendendo la manutenzione più onerosa di quanto comunemente creduto.

5.3.3 PRATO NATURALE



Il prato è una soluzione che ha cominciato a venir utilizzata solo recentemente e che va in assoluta controtendenza rispetto alle altre soluzioni per l'elevato valore tecnico e per l'alta diversità di specie. È ottenuto per semina a spaglio di una grande varietà di specie erbacee autoctone. In clima sub-mediterraneo soddisfa ottimamente i requisiti energetici idraulici e di biodiversità, con costi di manutenzione molto bassi. Risulta dunque una soluzione ideale per le coperture estensive in tutto il nord e centro della penisola italiana. Dopo opportune valutazioni, può essere adatta anche al sud. Rispetto ai tappeti di *Sedum* necessita di spessori leggermente maggiori, che si ripercuotono sui costi iniziali, che però vengono ampiamente compensati da prestazioni energetiche migliori e dai minori oneri manutentivi. La miscela di essenze va dovutamente calibrata in funzione delle condizioni ambientali, prediligendo le specie autoctone selvatiche.

5.3.4 TAPPETO DI ERBACEE PERENNI



Consiste in una soluzione estensiva ottenuta per posa di piante in vaso o in alveolo. Vi sono in Italia molti esempi di tappeti a perenni, soprattutto nella fascia centrale. E' una soluzione di tipo estensivo tecnicamente raccomandabile soprattutto per le zone climatiche più aride, perché possono essere selezionate specie che resistono bene alla siccità. L'impiego di piante in vaso rende questa soluzione piuttosto costosa ma permette anche di gestire in modo efficace l'impatto scenico, avendo il pieno controllo sulla disposizione di ogni singola specie vegetale. Da un punto di vista tecnico le prestazioni sono simili a quelle del prato, anche se la manutenzione in fase iniziale è sicuramente più elevata. Anche in questo caso si raccomanda una particolare attenzione all'impiego di piante autoctone. La soluzione conserva un certo carattere di artificiosità, mantenendo un livello ecologico inferiore rispetto al prato, ma se ben progettata dal punto di vista botanico, può avere notevole valore estetico e buona valenza ecologica.

5.3.5 ARBUSTI TAPPEZZANTI E SUFFRUTICI



Possono essere utilizzati sia per coperture estensive che intensive. Per le estensive possono essere impiegati insieme con altre tipologie (*Sedum* o prato naturale) per abbattere il vento, creando un microclima più favorevole e per aumentare la variabilità di specie.

Molte specie possono vivere in spessori di substrato molto ridotti. Per le coperture intensive gli arbusti costituiscono uno degli elementi più rilevanti dal punto di vista compositivo. In questa categoria rientrano le piante aromatiche, che possono essere utilizzate per creare soluzioni geometriche come filari o altro. Le piante aromatiche sono particolarmente raccomandate per la loro resistenza alla siccità, per gli aspetti estetici e per i profumi che rilasciano nell'aria.

5.3.6 ORTO



La soluzione ad orto rappresenta un interessantissimo strumento di sostenibilità e viene spesso utilizzato anche per il forte e positivo impatto che può avere sul tessuto sociale, se non altro dal punto di vista psicologico. Richiede un impianto tecnico molto diverso dalle altre tipologie per garantire una maggiore resistenza dell'elemento di impermeabilizzazione che altrimenti rischierebbe di venir danneggiato durante le lavorazioni. Lo spessore di substrato è variabile soprattutto in funzione del tipo di ortaggi che si prevede di coltivare. In linea generica non vi è alcuna evidenza che i substrati tecnogenici per verde pensile comportino alterazioni alla salubrità ed alla qualità organolettica degli ortaggi. Al contrario è opportuno far notare che i terreni vulcanici (da cui si ricavano solitamente le principali componenti dei substrati per verde pensile) risultano fra i più fertili ed adatti alle pratiche agricole. In ogni caso si raccomanda al progettista di verificare che il substrato previsto venga costruito ricorrendo solo a materie prime naturali o comunque che non presenti rischi per la salute.

5.3.7 ALBERI E SIEPI



Queste piante richiedono in genere spessori di substrato consistenti e un grado di manutenzione elevato. Sono quindi essenzialmente legate alle coperture intensive. In questo caso si raccomanda al progettista di valutare con attenzione i sestii di impianto in modo da ridurre, per quanto possibile, gli spessori di substrato. E' inoltre opportuno utilizzare sempre piante giovani per farle adattare al meglio alle condizioni locali. Siepi ed alberi conferiscono alla copertura un elevato valore estetico e paesaggistico. Abbinati con il prato fruibile ed elementi di arredo consentono di realizzare veri e propri giardini.

5.4 CAMPI D'APPLICAZIONE DEL VERDE PENSILE

Di seguito si elencano 7 tra le principali tipologie edilizie interessate dal verde pensile. Per ogni tipologia si delineano brevemente le caratteristiche più comuni, gli aspetti critici ed alcune considerazioni tecniche generiche.

5.4.1 INFRASTRUTTURE

In questa categoria rientra un insieme alquanto eterogeneo di opere che possono trarre vantaggio dall'utilizzo di sistemi a verde pensile. Tra queste si possono ricordare tutte le varie gallerie artificiali stradali e ferroviarie, sovrappassi faunistici per deframmentazione di habitat, pensiline ferroviarie, palazzine in ambito stradale e ferroviario. La problematica che generalmente affligge le coperture a verde non professionali, in queste opere, è legata all'elevato spessore di terreno che bisogna riportare al di sopra della struttura per avere maggiori possibilità che negli anni si ricrei quell'equilibrio ecologico in grado di permettere uno sviluppo adeguato alla vegetazione. Il terreno di riporto utilizzato e steso con elevati spessori risulta completamente privo di struttura, con caratteristiche agronomiche scarse e dà luogo solitamente a comunità vegetali fortemente caratterizzate da specie ruderali. I costi manutentivi sono molto elevati ma necessari per riuscire ad ottenere risultati accettabili dal punto di vista estetico e naturalistico, ad una distanza di tempo comunque non inferiore ad alcuni anni. L'utilizzo di sistemi a verde pensile professionali in questo settore comporta notevoli benefici, garantendo pesi ridotti, bassa manutenzione e raggiungimento di ottimi risultati di sviluppo della vegetazione già nel primo anno.

Siccome l'esigenza comune nella maggioranza dei casi citati è mitigare l'impatto sul paesaggio e l'ambiente in generale, sarebbe opportuno progettare il verde pensile in modo adeguato specialmente per quanto riguarda il valore ecologico, con particolare attenzione a quei casi particolari in cui il verde pensile è in diretta continuità con il terreno (sovrappassi per la fauna) dove sarà particolarmente opportuno cercare di ricreare una comunità vegetale coerente con le associazioni vegetali circostanti o in rapporto catenale con queste.

5.4.2 TERRAZZE PRIVATE

In questa classe si considerano tutte quelle superfici di dimensioni medio piccole ad uso fondamentalmente privato e con finalità prevalentemente estetiche e ludiche. Normalmente si impiega una grande varietà vegetazionale (dal tappeto erboso a siepi fino a grossi arbusti e piccoli alberi), la presenza di aree pavimentate e non di rado arredi pesanti (gazebo, serre solari, piscine, ecc).

Il costo dell'intervento è legato all'ottimizzazione delle lavorazioni e dei dettagli esecutivi. Il progettista dovrà prevedere di sfruttare spessori variabili del substrato in modo da coltivare ogni tipologia vegetale sul minimo spessore richiesto. Piccoli dislivelli, facilmente gestibili sul piano dell'estetica, possono ridurre cospicuamente i costi ed aumentare la sostenibilità ambientale dell'edificio.

Le terrazze private richiedono di solito una certa costanza nella manutenzione, ma la supervisione frequente di personale specializzato o dello stesso utente ridimensiona l'importanza di ricorrere a sistemi automatizzati ed intelligenti di irrigazione. Nei casi limite può essere necessaria anche solo una presa d'acqua per l'irrigazione manuale. Grande importanza assume invece la capacità di volano idrico del sistema, per offrire maggiore autonomia al sistema e maggiore flessibilità al manutentore. Nel caso si preveda vegetazione intensiva e irrigazione manuale, predisporre la copertura per contenere almeno 80 l/m² di volume di acqua disponibile. Nonostante il tipo di utilizzo non sia favorevole alla conservazione della biodiversità, il progettista potrebbe valutare la possibilità di dedicare piccole aree marginali e meno disturbate della terrazza alla creazione di un prato naturale a basso numero di sfalci. Questi piccoli spazi possono giovare alla creazione di piccole nicchie ecologiche ed al sostegno di corridoi ecologici.

5.4.3 COPERTURE DI CONDOMINI

In questa applicazione le coperture a verde possono svolgere una o più delle funzioni tecniche precedentemente indicate, tuttavia l'importanza della copertura dal punto di vista termodinamico risulta tendenzialmente ridimensionata a causa del fattore di forma dei condomini. Il verde pensile può valorizzare l'edificio anche attraverso la creazione di superfici con alto valore ecologico. Soluzioni da preferire saranno quelle di prato naturale, erbe aromatiche, piccoli arbusti tappezzanti autoctoni, ispirandosi il più possibile alle serie dinamiche della vegetazione potenziale di riferimento. In generale le specie autoctone correttamente associate richiedono infatti manutenzione ridotta, resistono eccellentemente all'ingresso di piante infestanti e sono estremamente stabili alle oscillazioni climatiche tipiche dell'area sub-mediterranea. Per ridurre i consumi d'acqua e gli interventi di manutenzione, è assolutamente opportuno ricorrere a dispositivi di irrigazione automatizzati ad elevate prestazioni. In ordine di prestazioni decrescenti:

1. Dispositivi di irrigazione controllata sulla base del potenziale idrico, con algoritmo di irrigazione che avvia l'irrigazione al decrescere del potenziale idrico al di sotto di -1MPa , portandolo a convergere su valori fisiologici di poco superiori al punto di appassimento permanente
2. Dispositivi di irrigazione controllata sulla base del contenuto volumetrico d'acqua nel substrato, tali da inibire l'irrigazione programmata al raggiungimento di valori massimi di contenuto idrico.
3. Dispositivi di irrigazione programmata dotati di sensore pioggia.

Altra direzione progettuale che sta portando importanti frutti a livello di tessuto sociale è la creazione sulla copertura di spazi verdi comuni o piccoli appezzamenti privati adibiti ad orto. Infine va tenuta in considerazione l'importanza che il verde pensile può rivestire nel prolungare la vita dell'impermeabilizzazione.

5.4.4 PIAZZE AREE VERDI PUBBLICHE E GARAGE INTERRATI

Queste coperture sono di solito accomunate da alcune importanti caratteristiche: si tratta di edifici non climatizzati, le superfici in gioco sono spesso molto ampie e la corretta gestione delle acque piovane assume un'importanza prioritaria. La criticità nella gestione dei deflussi è ulteriormente accentuata dalla complessità delle finiture superficiali infatti è piuttosto comune la presenza affiancata di aree verdi con vegetazione arborea, aree carrabili, pedonali, fontane e altri arredi pesanti.

Tutto ciò obbliga il progettista a effettuare tutte le verifiche di tipo idraulico, in modo da scegliere i sistemi sulla base del loro coefficiente di deflusso per dimensionare correttamente il numero e la dimensione degli scarichi e la portata del sistema drenante.

Raccomandabile anche l'adozione di sistemi atti a semplificare il drenaggio e la riduzione dei dettagli dell'impermeabilizzazione. Trattandosi di superfici ad uso pubblico è raccomandabile prevedere la raccolta ed il riutilizzo dell'acqua piovana di deflusso da utilizzare per l'irrigazione.

La funzione termica del verde pensile in questa circostanza va circoscritta ai benefici che può offrire nel moderare l'effetto di isola di calore. Per raggiungere questo obiettivo è importante utilizzare vegetazione ad elevata traspirazione e prevedere per l'appunto anche alberature. Un buon compromesso tra costi e benefici è dato dal posizionamento localizzato di alberature di terza grandezza, realizzabili con 50 cm di substrato a compattazione avvenuta e sufficienti per offrire adeguato ombreggiamento. Tuttavia è doveroso segnalare la pratica assolutamente obsoleta di prevedere spessori uniformi di substrato di 50 cm o superiori. Tale strategia risulta anti-economica e totalmente contraria ai principi di sostenibilità ambientale. Spessori superiori ai 20 – 30 cm, solitamente non apportano ulteriori miglioramenti significativi delle prestazioni tecniche. Il progettista dovrà pertanto prevedere sempre lo spessore minimo possibile in funzione delle prestazioni tecniche attese e dei requisiti dettati dalle condizioni ambientali, come definito nella norma UNI 11235 e

nelle presenti linee guida. Spessori superiori di substrato andranno previsti solo ed unicamente nelle aree e negli spessori strettamente necessari allo sviluppo di particolari specie arbustive o arboree, ricorrendo alla stesura del substrato in spessori variabili.

La scelta delle piante può essere operata piuttosto in funzione di altre caratteristiche, come la percezione visiva e olfattiva, tenendo conto della storia e cultura locali o dando luogo a giardini per anziani, terapeutici, didattici ecc.

5.4.5 CAPANNONI INDUSTRIALI

Gli elementi caratterizzanti questo tipo di coperture sono: grandi superfici ed elevate lunghezze di drenaggio (solitamente gli scarichi vengono portati in facciata).

Le funzioni tecniche richieste sono solitamente: aumento di durata dell'impermeabilizzazione, riduzione del numero degli scarichi, raffrescamento passivo. Spesso però sui capannoni industriali il verde pensile viene realizzato a seguito di prescrizioni o in base a regolamenti urbanistici, poiché il pianificatore deve tener conto del forte impatto ambientale indotto dalle zone di espansione, soprattutto riguardo alla sigillazione dei suoli, l'isola di calore, gli effetti sull'ecosistema e sul paesaggio. In questo caso al progettista vengono richieste soluzioni economiche, di bassa manutenzione, basso fabbisogno idrico, buon coefficiente di deflusso ed un sostegno alla conservazione delle aree naturali. Anche nel caso di coperture non soggette a climatizzazione, il carico termico estivo può essere tale da creare forti condizioni di disagio per i lavoratori, in buona parte a causa dell'elevato rapporto di forma, con condizioni microclimatiche che risentono in particolare del comportamento termico della copertura, che in questo caso è una delle superfici maggiori e la più esposta. Per questo, in presenza di coperture tradizionali in metallo o elementi prefabbricati, la temperatura superficiale interna risulta frequentemente maggiore della temperatura del pavimento di più di 7°C causando un fenomeno di disagio da asimmetria radiante (EN ISO 7730), indipendentemente dalla temperatura

dell'aria. In questi casi gli impianti di ventilazione o di climatizzazione ad aria risultano poco utili. Grandi miglioramenti possono essere ottenuti con spessori di substrato relativamente contenuti. Solitamente queste coperture non sono fruibili e acquista importanza il ruolo del verde ai fini dell'inserimento paesaggistico e come strumento per aumentare il valore ecologico. Si raccomandano soluzioni a prato arido autoctone, che richiedono bassissima manutenzione e basse esigenze idriche.

5.4.6 CANTINE VITIVINICOLE

La progettazione di cantine vitivinicole richiede misure assolutamente peculiari per garantire grande inerzia termica, oltre che umidità e ventilazione adeguate.

Il verde pensile in questo settore può offrire prestazioni eccellenti in virtù delle sue caratteristiche inerziali uniche. Dal punto di vista termodinamico si potrebbero utilizzare soluzioni tali da portare lo sfasamento attraverso l'intera copertura a valori superiori alle 12 ore, riducendo il più possibile le oscillazioni della temperatura superficiale interna della copertura. Vanno adottati preferibilmente dispositivi di irrigazione basati sul rilevamento del potenziale idrico, in grado di indurre il sistema a mantenere bassi contenuti idrici ed aumentando così l'effetto di isolamento diffuso, favorevole al miglioramento delle prestazioni termodinamiche.

Il verde pensile va progettato in modo da contribuire all'inserimento paesaggistico, tentando di riprodurre nel modo più aderente possibile associazioni vegetali autoctone, con particolare attenzione alle serie dinamiche caratteristiche.

5.4.7 SCUOLE ED EDIFICI PUBBLICI

Il verde pensile su edifici pubblici deve risultare coerente con una strategia generale di sostenibilità e salvaguardia del patrimonio ambientale e delle risorse naturali.

Ove non vi sia una marcata esigenza di inserimento paesaggistico (per mancanza di visibilità della copertura o perché la copertura si trova in un tessuto urbanizzato) è lecito ed auspicabile ampliare la scelta di associazioni vegetali per creare opportunità

di conservazione o diffusione di nicchie ecologiche presenti sul territorio regionale, favorendo anche la naturale connotazione microclimatica presente in copertura.

È raccomandato prevedere serbatoi per il recupero delle acque di deflusso per l'irrigazione di soccorso. Dal punto di vista termodinamico, questi edifici sono caratterizzati solitamente da importanti carichi termici interni, dovuti all'affollamento (con particolare riferimento alle scuole) e spesso alle grandi vetrate, utili alla corretta illuminazione degli ambienti di lavoro, ma responsabili di un importante ingresso di calore solare per radiazione. Si raccomanda di non superare i valori di coibentazione previsti dalla normativa in vigore tenendo conto, dove possibile, anche della resistenza termica offerta dal sistema a verde pensile. Inoltre vanno preferibilmente sfruttati sistemi con elevate prestazioni inerziali, più che resistive. Nel caso di scuole è auspicabile predisporre la copertura per essere utilizzata anche a fini didattici.

CAPITOLO 6

VERDE VERTICALE

A partire dagli anni '90 il verde verticale ha assunto una sempre maggiore estensione d'uso e si fa riferimento al complesso di tecniche e soluzioni costruttive finalizzate al rivestimento con vegetazione di facciate di edifici e manufatti.

In base alle differenti modalità costruttive, di coltivazione della vegetazione, alle possibili applicazioni e alle varie classi di benefici, bisogna tracciare una distinzione tra verde parietale, muro vegetale e giardino verticale.

Verde parietale: s'intende il rivestimento di facciate architettoniche e di manufatti ottenuto con vegetazione rampicante, piantata generalmente a terra alla base dell'edificio, o con vegetazione ricadente, messa a dimora in contenitori o vasche collocate sulla sua sommità. Si può includere in questa categoria anche la tradizionale coltivazione a spalliera di piante da frutto, che ancora in alcuni paesi europei viene utilizzata per allevare piccoli alberelli interamente addossati alle mura dell'abitazione. Il verde parietale nelle versioni più elaborate prevede l'uso di apposite strutture di sostegno (telai, griglie, sistemi tesati, etc.) e la sua applicazione ha origini remote. Gli interventi di verde parietale hanno successo quando si viene a determinare una integrazione equilibrata tra vegetazione e manufatto, in particolare quando sono soddisfatte le necessità delle piante in merito al clima, all'esposizione, alla luce, al terreno, all'acqua e quando non si creano condizioni di pericolosità e di danneggiamento dei materiali, delle superfici e delle strutture architettoniche.

Per questo nella realizzazione di opere di verde parietale risultano di fondamentale importanza la scelta delle specie botaniche idonee all'impianto, con la valutazione della morfologia di crescita, della capacità di sviluppo e delle modalità di ancoraggio più appropriate, così come la considerazione delle caratteristiche della facciata (altezza, estensione della superficie da ricoprire, esposizione, struttura, materiali, capacità di carico).

Muro vegetale: ci si riferisce a quella gamma di soluzioni che prevedono l'uso di componenti industriali per realizzare strutture verticali, anche autoportanti, rivestite di vegetazione tappezzante e arbustiva e dotate di impianto automatico d'irrigazione integrato, che si prestano ad essere utilizzate efficacemente negli interventi di mitigazione di impatti di infrastrutture e servizi, soprattutto se certificate come barriere acustiche fonoassorbenti, e come elementi di protezione e definizione spaziale.

Giardino verticale: si indica un dispositivo polimaterico per la coltivazione di un'ampia gamma di specie botaniche (arbustive ed erbacee) che utilizza il piano verticale del costruito che di norma è dotato di impianto di irrigazione automatico integrato ed è realizzabile sia mediante sistemi industriali totalmente o parzialmente prefabbricati sia mediante libero assemblaggio di componenti di produzione industriale. Parlare di giardino verticale significa riferirsi a qualcosa di molto più strutturato dal punto di vista tecnico-costruttivo, rispetto a un tradizionale rivestimento di facciate con piante rampicanti, molto più complesso dal punto di vista della ricerca progettuale. Il giardino verticale può essere anche interpretato come espressione di un'ideale di bella natura concepito per l'ambiente urbano: una natura tecnologicamente specializzata, che si sviluppa e cresce grazie all'uso di particolari impianti e tecniche colturali, dando vita a immagini ibride in cui differenti materiali, organici e inorganici, vegetali e minerali, si integrano.

La gamma di soluzioni tecniche e progettuali riconducibili a questa categoria è molto ampia ed estremamente diversificata, tanto che induce alla individuazione di tre varianti tipologiche e quindi di tre sottocategorie, tra loro ben differenti, che sono codificate rispetto alle più diffuse modalità costruttive e agli esiti compositivi.

Primo tipo - Giardini verticali a contenitori integrati: sono realizzati mediante inserimento di vasi, contenitori o vasche lineari in strutture architettoniche o manufatti, a definizione di trame e partiture in facciata di edifici o di creazione di inconsueti effetti plastici quando utilizzati per caratterizzare particolari manufatti.

Queste soluzioni, dove la vegetazione alligna di norma in substrati organici, costituiscono una variante in chiave tecnologica di interventi di arredo urbano presenti nella tradizione storica vernacolare mediterranea, relativi alla collocazione di vasche di pietra o vasi di cotto con erbacee, rampicanti e piccoli arbusti sulla facciata di case e sulla superficie verticale delle cinte murarie.

Secondo tipo - Giardini verticali in combinazione: sono realizzati con sistemi costruttivi che richiedono l'uso di cavi tesati, sostegni, impalcature abbinati a contenitori, vasche o fioriere. I sistemi risultano assemblati tendenzialmente per sovrapposizione e interconnessione delle diverse parti e componenti. Anche in questo caso si opta soprattutto per l'utilizzo, come ambiente di coltivazione, di substrati organici.

Terzo tipo - Giardini verticali a estensione continua complanare: sono costituiti da componenti di produzione industriale, assemblati così da essere tra loro strettamente interconnessi (per stratificazione, per incastro e/o per accostamento di parti e componenti) così da creare un piano di coltivazione in verticale esteso e continuo. Questi sistemi tendono a sfruttare pienamente i principi della tecnica idroponica e contemplano l'uso sia di substrati inorganici (feltro, perlite) che organici (ad esempio sfagno, terriccio alleggerito): nel primo caso si parla di sistemi leggeri e a strati, che possono avere uno spessore totale compreso tra i 12 ed i 20 cm, in cui si ricorre all'uso di griglie o telai (di alluminio, acciaio o legno) e substrato tessile, nel secondo caso si parla di sistemi cosiddetti pesanti, realizzati con elementi modulari a cassoni o gabbioni, pannelli di materiale espanso, fibra, sfagno.

Un giardino verticale è in ogni caso un sistema vivente a regime di crescita controllato, che richiede cura, specifiche attenzioni manutentive e un monitoraggio costante del corretto funzionamento degli impianti che lo compongono, in particolare quello d'irrigazione. La quasi totalità dei sistemi costruttivi industriali di giardini verticali è basata sull'applicazione della tecnica idroponica o fertirrigazione, modalità di coltivazione che permette di sostituire la terra con un substrato inerte

biologicamente (ad esempio argilla espansa, perlite, materiale tessile) su cui le piante irrigate con una soluzione nutritiva di acqua e minerali essenziali, possono radicare e svilupparsi. La coltivazione idroponica sostituendo al terreno naturale un ambiente fisico controllato, si basa sostanzialmente su una riduzione delle reciproche interferenze tra i vari fattori che intervengono nel processo di crescita e sviluppo delle piante. Più precisamente:

- La funzione di protezione delle radici nei confronti degli agenti atmosferici è svolta da un substrato solido inerte e tendenzialmente asettico, che non ha funzione di ancoraggio: il requisito di base è quello di presentare un grado di porosità sufficiente a permettere la circolazione della soluzione nutritiva e ospitare i capillari radicali.
- La funzione trofica del terreno è completamente surrogata dall'apporto di sostanze nutritive veicolate per mezzo di un impianto di fertirrigazione.

Numerosi sono i possibili benefici che derivano dall'inserimento di materiale vegetale nelle strutture architettoniche, soprattutto se progettati in una dimensione di ricerca interdisciplinare, dove trovano fattiva integrazione bioarchitettura, arte dei giardini, paesaggistica, arte ambientale, agronomia, ingegneria naturalistica. Rispetto alle realizzazioni outdoor si parla ad esempio di: miglioramento del rapporto massa inorganica/materia inorganica, incremento della biodiversità in ambiente urbano, benefici a livello microclimatico, produzione di ossigeno e biomassa, possibilità di riciclo delle acque reflue e di raccolta delle acque meteoriche, creazione di filtri per le polveri sottili, possibile costituzione di micro habitat per avifauna e microfauna, mitigazione degli impatti visivi di insediamenti e infrastrutture, isolamento termico e in alcuni casi acustico di edifici, creazione di schermi e filtri visivi. A questi vanno poi sommati gli effetti positivi legati al miglioramento della qualità visiva e percettiva di un ambiente costruito arricchito dalla presenza diffusa di vegetazione. Non meno significativi sono i vantaggi derivanti da utilizzi in indoor di giardini verticali: assorbimento di rumori, miglioramento della qualità dell'aria e della

temperatura interna con possibilità di regolazione dell'umidità di ambienti riscaldati e/o condizionati, qualificazione estetica di spazi abitabili, effetti positivi sulla salute mentale e fisica dei fruitori.

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

6.1 TIPOLOGIE DI VERDE VERTICALE

Bisogna apportare una diversificazione nella tipologia di verde verticale, che ad oggi è identificato nella macro categoria del verde urbano, come verde architettonico, poiché trattasi di una “epidermide verde” direttamente apposta sull'edificio e qui installata tramite un sistema di ancoraggio. Da un punto di vista della struttura del progetto ornamentale, questo si diversifica in una parte vegetale o in giardino verticale. Il primo richiede la creazione di una parete omogenea verde dislocata ad una certa distanza dalla parete da raffrescare, questo è quello che viene definito verde parietale termine che esplica la funzione assegnata (ombreggiamento a parete) che può essere realizzato con impianti discontinui (cioè a parziale copertura della parete) o continui (a totale copertura della parete) e che richiede un uso preminente delle specie rampicanti (normalmente caducifoglie in parte sud, sempreverdi in parte nord), abbinato ad erbacee e arbusti da foglie e da fiori installati su sistemi di fioriera inseriti sul sistema di ancoraggio impiegato per il rampicante.

Il controllo della qualità dei materiali vegetali si basa sulla corrispondenza a determinati standard, che si possono riassumere in aspetti qualitativi intrinseci e aspetti qualitativi estrinseci.

Per quelli intrinseci, riferendosi a quei requisiti non evidenti o non percepibili immediatamente visionando la pianta, e quindi bene porre attenzione a:

- Le piante devono essere sane, esenti da parassiti o malattie fitopatologiche.
- Devono presentare un apparato radicale ben sviluppato e conforme alla tipologia di pianta, la sua età, il tipo di substrato.
- Per le piante prodotte in contenitore le zolle devono essere compatte e ben esplorate dalle radici, senza eccessiva stratificazione delle radici assorbenti.

Per quelli estrinseci analizzando l'aspetto esteriore delle piante, si deve porre attenzione:

- Le piante devono soddisfare i minimi dimensionali (altezza, diametro o circonferenza) della misura della categoria merceologica in cui sono state classificate.
- Il fusto, i rami e la vegetazione non devono presentare danni fisiologici di rilievo che ne pregiudichino l'estetica e/o il futuro sviluppo della pianta.
- Le piante devono presentare uno sviluppo della parte aerea omogeneamente distribuito per settori mentre per quelle ad accrescimento eretto devono avere un apice dominante, in modo da non alterare l'habitus vegetativo caratteristico della specie/varietà.
- Il portamento delle piante sia conforme a quello originario e identitario per la singola specie.

E' importante ricordare che le piante vista la normativa vigente sono dotate di documento (passaporto delle piante) che ne certifica la provenienza, denominazione botanica e stato di salute, e che rappresenta una garanzia relativa alla filiera di produzione.

6.2 ASPETTI AMBIENTALI CONDIZIONANTI

Le piante devono vivere occupando uno spazio trofico diverso da quello naturale, perciò è opportuno porre attenzione ai condizionamenti legati all'ambiente dove

saranno impiantate al fine di valutare la resistenza dinamica del materiale vegetale (resilienza) e alle possibili interferenze ambientali. Il riferimento è verso lo sradicamento, condizione particolarmente sentita in verticale per piante molto vigorose e quindi in grado di produrre masse vegetali significative in un lasso di tempo contenuto; allo stroncamento di assi erbacei o legnosi, in ragione di una tenuta dei tessuti alle sollecitazioni a taglio a cui sono sottoposti gli steli per effetto del proprio peso (a cui si aggiunge l'amplificazione dell'effetto per azione del vento); all'asfissia radicale, collegata ad un eccessivo costipamento del substrato di radicazione o a una non corretta ripartizione – distribuzione del capillizio radicale, la quale è altresì soggetta alla durezza dell'ambiente dove vegetare, quindi agli effetti dell'aridità radicale (a causa della carenza idrica) e al disseccamento di parti aeree, per eccessiva attività di evapotraspirazione indotta da fattori di pressione quali il vento o il surriscaldamento della superficie per irraggiamento diretto e indiretto, che rappresentano un fattore limitante lo sviluppo dei materiali vegetali fino ad essere causa principale di fallimento dell'impianto verticale.

6.3 ASPETTI FISIOLÓGICI CONDIZIONANTI

Le piante hanno una direzionalità marcata nei flussi di crescita di chioma, fusti, rami, gemme, radici la quale risulta vincolata ad una codifica di comportamento contenuta nei caratteri generici: il tropismo reazione di orientamento degli organi di una pianta (radici, steli, foglie e fiori) a un'anisotropia ambientale. L'anisotropia ambientale è la proprietà per la quale le caratteristiche di un determinato oggetto dipendono dalla direzione lungo la quale queste sono considerate. In questo senso per le piante da collocare in un giardino in verticale possono diventare fattori limitanti il geotropismo (fattore di gravità a cui va a legarsi l'attrazione verso il suolo) e l'eliotropismo (fattore luce a cui va a legarsi l'attrazione verso il sole), se la specie posta in condizione di crescita su una parete verticale non sopporti i movimenti in negativo

degli assi vegetali che sono resi obbligati dalla “nuova” dimensione spaziale di crescita.

6.4 ASPETTI ESPOSITIVI CONDIZIONANTI

L'esposizione e l'orientamento della parete dell'edificio che ospita il giardino, richiedono un'attenzione specifica, sia verso la selezione del materiale, sia verso le possibili combinazioni che derivano con quegli elementi climatici particolarmente incidenti sull'area (vedi vento, precipitazioni, irraggiamento, nuvolosità). Le problematiche principali in parete nord sono legate essenzialmente a scontrarsi con venti freddi, secchi, provenienti dal quadrante nord (Tramontana, Grecale) a cui si somma un minore irraggiamento della parete e una relativa incidenza del numero di giorni nuvolosi nell'arco dell'anno. Bisogna tenere in considerazione che il grado di irraggiamento risente anche della latitudine e quindi al Nord Italia è da porre attenzione alla scelta botanica (dove diventa un fattore limitante) rispetto ad una collocazione al Centro–Sud Italia (a partire dalla zona di Roma in giù) dove l'andamento dell'eliofania relativa su scala annuale consente una tolleranza maggiore e quindi la possibilità d'impiegare sulla parete materiale botanico tendenzialmente poco sciafilo. Sul fronte nord sono preferibili specie sempreverdi a carattere legnoso, suffruticoso ed erbaceo, capace di sopportare forti sbalzi giornalieri e annuali della temperatura (*ruscus aculeatus*, *waldstenia ternata*, *ophiopogon japonicus*) quelle in grado di vegetare e di fiorire durante il periodo invernale con illuminazione molto contenuta (piante fotoperiodiche brevidiurne con meno di 4 ore di luce al giorno come *azalea japonica*, *gaulthera mucronata*); cespiti che predispongono una tessitura fogliare a più strati della copertura vegetale, così da avere una distribuzione omogenea ed efficace tra foglie di luce e foglie di ombra (*vinca minor*). Riguardo alle pareti est, sud e ovest, considerando la criticità del periodo tardo primaverile ed estivo e al forte irraggiamento giornaliero, si dovrà lavorare in modo diverso da quelle prima esposte, basandosi su specie che fioriscono in primavera–estate (quindi

con termoperiodo longidiurne) e neutrodiurne. Nel caso dell'esposizione ad est, la ricerca verte su specie in grado di sopportare la forte incidenza termica legata al fatto che i raggi solari colpiscono perpendicolarmente le piante, ma con una durata e intensità sicuramente inferiore a quelle che si raggiunge in parete sud e in parete ovest, dove su quest'ultima normalmente si registrano la maggior incidenza della disidratazione dato che i raggi solari colpiscono perpendicolarmente le piante. Sono indicate le specie eliofile, con foglie ispessite e lamina fogliare di dimensioni contenute come: graminacee macroterme ornamentali (stipa tenuissima e festuca glauca), aromatiche (timi, santoline, rosmarino, lavanda), caducifoglie arbustive (gaura lindheimeri), bulbose mediterranee (hemerocallis, iris rizomatoso) e le essenze mediterranee in genere, con limite rispetto al gelo e rispetto alle scelte varietali man mano che ci si sposta da latitudini calde a latitudini fredde andando a favorire un impiego maggiore di essenze caducifoglie longidiurne come ad esempio rose a cespuglio.

6.5 ASPETTI COMPOSITIVI CONDIZIONANTI

Esistono in linea di massima 4 aspetti compositivi che sono:

1. Architettonico dove la composizione deve dare risalto alle forme e ai colori delle componenti vegetali, cercando quindi una partitura che esalta il singolo (tramite la ricerca di specie con forti contenuti estetici individuali) più che l'insieme, con la riedizione di forme tradizionali del giardino (siepi, bordure).
2. Naturalistico dove l'ambizione è quella di ricreare e ricostruire delle scenografie naturaliformi, ricercando tramite impiego della forma pulvinante e ricadente la costruzione di un mosaico a incastro delle diverse tessere – specie.
3. Floreale dove l'ispirazione è chiaramente alla pittura e alla rappresentazione di pattern cromatici dai contorni definiti.
4. Orticolo creando l'illusione di un orto tramite presenze significative e prelievo di frutti eduli direttamente dalla parete giardino.

6.6 ASPETTI BIOLOGICI CONDIZIONANTI

Lo studio delle forme biologiche dei vegetali, cioè delle forme di adattamento acquisite dai vegetali per superare le avversità, è un approccio ecologico ma ha il pregio di ricondurre la ricerca su quali componenti vegetali siano idonei per il verticale facendo il raffronto con le condizioni ambientali presenti nei luoghi nativi.

6.7 ESEMPIO DI PARETE VERDE



Figura 1. Il Più' alto Giardino Verticale in SRI LANKA.

Il più alto giardino verticale del mondo sorgerà in Sri Lanka entro il 2016, ad accoglierlo sarà un grattacielo da primato, il grattacielo Clearpoint Residencies, una struttura che unirà l'altezza all'efficienza energetica ed alla sostenibilità. Il progetto è firmato dagli architetti Milroy Perera Associates e Maga Engineering che hanno immaginato un grattacielo di 46 piani destinato a 164 appartamenti, completamente mimetizzato dal verde che dovrebbe rivestirne le facciate e caratterizzare ciascuna unità abitativa. Una volta completato, il giardino verticale del Clearpoint Residencies, sarà il più alto muro vegetale del mondo, trasformandosi in un filtro verde naturale tra l'esterno e l'interno, per favorire il raffrescamento degli appartamenti e contemporaneamente ridurre l'effetto isola di calore sulla città.

CAPITOLO 7

COME LE PIANTE ABBASSANO L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Le funzioni della vegetazione si possono racchiudere in:

1. AMBIENTALE: miglioramento delle condizioni dello spazio che ci circonda e del luogo in cui viviamo; si estrinseca a differenti livelli:
 - a. Depurazione chimica dell'atmosfera: le piante assorbono anidride carbonica che attraverso la fotosintesi porta alla produzione di zuccheri ed alla liberazione di ossigeno:
 - Un albero di medie dimensioni riesce ad assorbire, durante il suo ciclo vitale, circa 2,5 tonnellate di anidride carbonica.
 - Un ettaro di bosco assorbe, in un anno, la CO₂ prodotta da un'autovettura che percorra circa 80.000 Km e produce l'ossigeno per 40 persone ogni giorno.
 - Tenuto conto della riduzione dell'attività fotosintetica nel periodo invernale, si può supporre che una superficie fogliare di circa 1200 mq (superficie stimata per una latifolia adulta di medie dimensioni) sia sufficiente a fornire il fabbisogno annuale di ossigeno per una persona.
 - Un faggio giunto a maturità, con un'altezza di 25 mt ed una chioma di 15 mt, ha una superficie stimata di circa 1600 mq e produce in una giornata assolata circa 1712 gr di O₂ l'ora, attuando una trasformazione del carbonio in carboidrati pari a 1600 gr/ora.
 - Si può supporre che una pianta adulta possa giornalmente produrre ossigeno sufficiente per la respirazione di tre persone, ed eliminare anidride carbonica prodotta in una giornata da 1000 metri cubi di volume abitativo.

Tabella 1. Un esempio può essere dato dai seguenti alberi dove troviamo l'ossigeno elaborato dalla superficie fogliare:

| <i>NOME PIANTA</i> | <i>Gr/dmq ora</i> |
|-----------------------|-------------------|
| <i>Betulla</i> | 2.53 |
| <i>Faggio</i> | 1.76 |
| <i>Farnia</i> | 1.53 |
| <i>Pino silvestre</i> | 1.20 |
| <i>Abete rosso</i> | 1.15 |

Fonte 1. (Hausen, 1995).

b. Gas tossici: oltre all'anidride carbonica, anche altri gas, specialmente l'anidride solforosa vengono assorbiti dalle piante, con notevole vantaggio per l'apparato respiratorio degli altri esseri viventi:

- Una struttura alberata in prossimità delle strade consente di rimuovere fino al 10% di biossido d'azoto (ed il 15-20% di polveri sottili); (Wesseling, 2004).
- Alcuni studi hanno dimostrato che per la rimozione degli inquinanti gassosi le piante agiscono attraverso meccanismi fisici e chimici che avvengono sulla parte esterna delle foglie e nei tessuti: attraverso assorbimento superficiale dei composti, attraverso precipitazioni e immagazzinamento dei composti tossici nei tessuti cellulari e attraverso l'utilizzazione dei composti tossici nei tessuti cellulari.
- Gli stessi studi hanno messo in evidenza che le piante svolgendo questa funzione, possono essere danneggiate, sia per l'occlusione degli stomi, sia per danni agli apparati vegetali, sia per gli effetti che queste sostanze possono avere sul loro metabolismo.

Tabella 2. La vegetazione è in grado di assorbire dall'atmosfera le seguenti quantità d'inquinanti:

| <i>Inquinanti atmosferici</i> | <i>Ug / mq ora</i> |
|-----------------------------------|--------------------|
| <i>Monossido di carbonio</i> | 2.500 |
| <i>Cloro</i> | 2.000 |
| <i>Fluoro</i> | 100 |
| <i>Ossido di azoto</i> | 2.000 |
| <i>Ozono</i> | 80.000 |
| <i>PAN (perossiacetilnitrati)</i> | 2.500 |
| <i>Anidride solforosa</i> | 500 |
| <i>Ammoniaca</i> | 400 |

Fonte 2. (Ricerca USA, www.fs.fed.us).

c. Fissazione delle polveri, prodotti catramosi ed oleosi: la funzione positiva è esercitata prevalentemente dalla parte più esterna della chioma e la velocità e quantità della deposizione dipende dalla densità e dalla forma delle particelle (PM10 e PM2,5).

- Un prato raccoglie a parità di superficie da 3 a 6 volte più polveri di una superficie liscia. Un albero con la sua massa fogliare trattiene le polveri in misura 10 volte superiore alla capacità di trattenuta della superficie coperta dalla proiezione della chioma su un prato.
- Uno studio condotto a Brighton (Gran Bretagna) ha dimostrato la cattura e ritenzione delle particelle di un olmo alto 21 mt sito a ridosso di una strada ad alto traffico veicolare che è riuscito a fissare in una sola stagione vegetativa 1072 g di particolato sospeso corrispondenti a 475 mg m⁻² di area fogliare.
- Uno studio condotto a Chicago (USA) ha dimostrato la cattura e ritenzione degli inquinanti su un ettaro di bosco, su una copertura dell'11% ha rimosso in un anno 591 tonnellate di inquinamento:

di cui 212 t di particolato inferiore a 10 micrometri, 191 t di ozono, 89 t di biossido di azoto, 84 t di biossido di zolfo e 15 t di monossido di carbonio.

- In generale, l'intercettazione da parte della vegetazione è un fenomeno alquanto variabile e dipende anche dalle forme, dimensioni e caratteristiche delle superfici vegetali intercettate (presenza di sostanze adesive quali cere, superfici bagnate, presenza di peluria, rugosità, etc., la riduzione dei particolati sembra essere leggermente maggiore per le sempreverdi.

Tabella 3. Fissazione delle polveri in 15 giorni su 100 gr di foglie:

| <i>Nome delle foglie</i> | <i>Fissazione polveri su 100 gr di foglie</i> |
|------------------------------|---|
| <i>Foglie di Olmo</i> | 2.735 |
| <i>Foglie di Ippocastano</i> | 2.295 |
| <i>Foglie di Sofora</i> | 0.996 |
| <i>Foglie di Pterocaria</i> | 0.979 |
| <i>Foglie di Tiglio</i> | 0.936 |

Fonte 3. (Leroy, 2011).

Tabella 4. Valutazione dell'efficacia dei tipi di piante più importanti per abbassare la concentrazione di polveri sottili, ossidi d'azoto e ozono nell'aria:

| <i>Alberi e Cespugli</i> | <i>Polveri sottili PM10</i> | <i>Ossidi di Azoto NO + NO₂</i> | <i>Ozono O₃</i> | <i>Emissione sostanze organiche volatili</i> |
|--------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------|--|
| <i>Acer platanoides</i> | X | XXX | XXX | - |
| <i>Aesculus Spp</i> | XX | XXX | XXX | - |
| <i>Ailanthus altissima</i> | X | XXX | XXX | X |
| <i>Alnus glutinosa</i> | X | XXX | XXX | - |
| <i>Betulla utilis</i> | XX | XXX | XXX | X |
| <i>Carpinus betulus</i> | XX | XXX | XXX | X |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | X | XXX | XXX | - |
| <i>Ginko biloba</i> | X | XXX | XXX | X |
| <i>Koleuteria paniculata</i> | X | XX | XX | XXX |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> | XX | XXX | XXX | XXX |
| <i>Mahonia Spp</i> | XX | XX | XX | XXX |
| <i>Pinus nigra</i> | XXX | X | X | X |
| <i>Pinus sylvestris</i> | XXX | X | X | X |
| <i>Platanus Spp</i> | XX | XXX | XXX | XXX |
| <i>Populus Spp</i> | XX | XXX | XXX | XXX |
| <i>Quercus robur</i> | X | XXX | XXX | XXX |
| <i>Roa Spp</i> | XX | XX | XX | X |
| <i>Sophora japonica</i> | XX | XXX | XXX | - |
| <i>Taxus Spp</i> | XXX | X | X | X |
| <i>Tilia cordata</i> | XX | XXX | XXX | X |
| <i>Tilia europea</i> | X | XXX | XXX | X |
| <i>Ulmus Spp</i> | XX | XXX | XXX | X |

Fonte 4. (Hiemstra, Schoenmaker van der Bijl, Tonneijck, 2010).

- d. Emissione vapore acqueo e regolazione termica: le masse di foglie impediscono l'eccessivo riscaldamento del suolo limitando l'evaporazione dell'acqua in esso contenuto; la vegetazione provoca

moti convettivi delle masse d'aria per effetto delle differenze di temperatura che si verificano fra le zone edificate e le aree verdi.

- E' stato stimato che una pianta adulta, isolata, di prima grandezza, con apporti idrici ottimali, può traspirare fino a 400 litri d'acqua al giorno, operando un consumo di calore latente pari a 580 Kcal ogni litro di acqua traspirata.
- Un ettaro di vegetazione può traspirare circa 17.000 litri di acqua in una giornata soleggiata; (Harris, 2001).
- Una superficie di 800 mq con una copertura arborea ed arbustiva del 30% può assorbire energia per 1,2 milioni di Kcal che riscalderebbero l'ambiente stesso. Questa energia equivale a quella necessaria per raffreddare in estate due case di medie dimensioni per 12 ore. (Oke, 1973).
- Da studi effettuati in diverse città è stato evidenziato la differenza di temperatura tra un parco ed una piazza all'interno della stessa area urbana: nelle ore notturne la differenza va da 1 a 5 °C, mentre nelle ore diurne va da 1 a 3 °C. Ciò che maggiormente modifica i valori sono le dimensioni dell'area verde ed il clima (più è secco maggiore è l'effetto). (Upnamis, Ruros, 1995).

Tabella 5. Coefficienti di ombreggiamento (% di trasmissione) per diverse specie nella stagione estiva ed Invernale:

| Nome Pianta | Coefficiente di ombreggiamento | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------|
| | Estate | Inverno |
| <i>Acer platanoides</i> | 0.12 | 0.69 |
| <i>Acer saccharinum</i> | 0.17 | 0.79 |
| <i>Aesculus hippocastanum</i> | 0.11 | 0.73 |
| <i>Betulla alba</i> | 0.18 | 0.62 |
| <i>Celtis australis</i> | 0.11 | 0.53 |
| <i>Fraxinum excelsior</i> | 0.15 | 0.59 |
| <i>Ginko biloba</i> | 0.19 | 0.63 |
| <i>Gleditsia triacanthos</i> | 0.36 | 0.70 |
| <i>Koelreuteria paniculata</i> | 0.19 | 0.65 |
| <i>Platanus acerifolia</i> | 0.14 | 0.55 |
| <i>Quercus robur</i> | 0.19 | 0.77 |
| <i>Tilia cordata</i> | 0.12 | 0.59 |

Fonte 5. (Scudo, 2003).

e. Schermo antirumore: nelle masse del fogliame le onde sonore si frazionano rapidamente e continuamente, ma sono inefficaci per le frequenze inferiori ai 1000 Hz; limiti di tale barriera sono i valori di attenuazione bassi e la necessità di avere distanze significative fra sorgente sonora e ricevente:

- Per ridurre in modo significativo il livello d'intensità dei rumori, da 5 a 10 decibel, è necessario una barriera verde di spessore variabile tra 40 e 100 mt (che corrisponde circa ai valori minimi per ottenere anche effetti microclimatici apprezzabili).
- Una siepe arboreo-arbustiva ben realizzata è in grado di abbassare l'inquinamento acustico di 0,10 decibel per metro di spessore per le basse frequenze e 0,20 decibel per metro di spessore per le alte

frequenze (i migliori risultati sono dati da siepi molto alte e dallo spessore di almeno 5 mt.).

- Ricerche su una cintura arborea caratterizzata da un impianto ad alta densità e costituito da specie arboreo ed arbustive con foglie larghe, spesse e provviste di picciolo, ha dato risultati significativi ma pur sempre contenuti.

Tabella 6. Caratteristiche di barriere acustiche ed attenuazione dell'intensità sonora:

| <i>Sorgente sonora</i> | <i>Distanza della barriera dalla fonte</i> | <i>Spessore della cintura arborea</i> | <i>Alt. Alberi al centro della barriera</i> | <i>Distanza tra fonte e ricevente</i> | <i>Valori di attenuazione</i> |
|---|--|---------------------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------|
| <i>Camion ed automobili ad alta velocità in zone rurali</i> | 16-20 mt | 20-30 mt | 14 mt e più | 36-50 mt | 8-12 db |
| <i>Traffico a media velocità</i> | 5-16 mt | 6-16 mt | Alberi alti 4.5-10 mt ed arbusti alti 2.5 mt | 11-32 mt | 8-12 db |

Fonte 6. (Cook & Van Haverbeke, 2005).

- f. Depurazione batteriologica dell'aria: il pulviscolo atmosferico, carico di batteri è fissato sulle foglie dall'umidità atmosferica, le foglie emettono sostanze volatili con potere germicida (Bussotti, 1998) e sterilizzano tali particelle.
2. SANITARIA: influenza che la vegetazione presente nelle aree verdi, negli spazi aperti ed in quelli interni ha sulla nostra salute. Secondo la definizione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità la salute "è uno stato di completo

benessere fisico, psicologico e sociale e non semplice assenza di malattie”. L’efficacia della funzione “sanitaria”, legata al senso di benessere psicologico, di serenità e di riposo indotto sulla psiche umana dalla vegetazione è ormai da molto tempo riconosciuta.

- Ricerche condotte in molti paesi (in particolare in Svezia) hanno dimostrato come la vista di aree verdi stimoli l’attività cerebrale determinando rilassamento dei soggetti e maggiore sopportazione agli stimoli negativi esterni.
- Studi (effettuati in USA) evidenziano che l’osservazione di aree verdi può ridurre lo stress e l’ansia.
- Altri studi (USA) hanno messo in evidenza come l’effetto compensativo e calmante della presenza delle piante ha un’influenza diretta sul periodo di convalescenza e di permanenza dei pazienti negli ospedali.
- Alcuni studi hanno dimostrato che in pazienti ospedalizzati, durante la loro degenza e stando a contatto con la natura hanno avuto una riduzione nella somministrazione di farmaci antidolorifici e un ridotto ricovero. Il contatto con la natura comporta un abbassamento della pressione sanguigna e rilassamento muscolare (Ulrich, 1992).

7.1 ALTRE FUNZIONI DELLA VEGETAZIONE

3. Ecologica: la vegetazione rappresenta un habitat ideale e una fonte di nutrimento per avifauna e piccoli mammiferi e aumento della biodiversità: “maggiore è il numero di esseri viventi in un ecosistema, migliore è l’equilibrio dell’ecosistema stesso”.
4. Protettiva: si esplica sia a livello del suolo riducendo l’azione battente della pioggia che limita notevolmente il compattamento e l’erosione superficiale, sia a livello aereo in funzione frangivento e schermo visivo.

5. Paesaggistica: elemento visivo-percettivo caratterizzante il paesaggio.
6. Ricreativa: offerta di spazi per il gioco, il riposo, lo sport, l'aggregazione.
7. Educativa: osservazione, conoscenza e rispetto di specie vegetali, animali e beni storici.
8. Culturale: luogo "naturale" necessario alla vita del singolo e della comunità.
9. Produttiva: coltivazione di specie vegetali.
10. Architettonica: impiego di vegetali per l'arredo e l'arricchimento dello spazio.
11. Bioclimatica: regolazione dei rapporti fra clima ed esseri viventi.
12. Economica: la presenza di parchi, aree verdi è in genere legata a valori immobiliari più elevati.

L'esigenza di verde in ambito urbano e periurbano non significa che qualunque tipologia di verde o tipo di vegetazione siano appropriati o addirittura auspicati. La pianificazione delle aree a verde non può essere solo un soddisfacimento degli standard o un'analisi basata unicamente su considerazioni funzionali o estetiche, ma deve coniugare tutte le funzioni ed i ruoli del verde soppesando le loro caratteristiche in modo mirato. Ugualmente chi progetta aree verdi deve conoscere tutte le varie implicazioni di quanto progettato, soprattutto in termini di costi di mantenimento in modo da produrre beni sostenibili sotto il profilo economico. In conclusione, il sistema delle aree verdi, quando pianificato, progettato e gestito correttamente, può contribuire in modo efficace ad un sensibile miglioramento della qualità della vita negli ambienti urbani e soddisfare, tramite criteri e metodi innovativi, non solo i target programmati di sostenibilità, ma anche di superarli.

7.2 LE PIANTE METABOLIZZANO GLI INQUINANTI



Che le piante siano la chiave per aumentare la qualità di vita di chi vive in città l'abbiamo detto tante volte. Una ricerca pubblicata sulla rivista scientifica *Environmental Science and Technology* afferma che “a livello stradale l'inquinamento potrebbe essere ridotto sino al 30% grazie all'azione depuratrice delle piante che assorbono biossido di azoto e particolato”. Sarebbe dunque auspicabile coprire le pareti dei palazzi con piante per ridurre l'inquinamento. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, ogni anno muoiono nel mondo, a causa dell'inquinamento urbano, fino ad un milione di persone. Secondo un modello matematico elaborato dalle Università di Birmingham e Lancaster, ricoprire le pareti dei palazzi con piante rampicanti ed arbusti a foglie larghe darebbe risultati molto più efficaci e rapidi di quanti non se ottengono con la catalizzazione degli scarichi delle vetture, ad un costo decisamente inferiore. Le zone più critiche sono evidentemente quelle dove maggiore è la densità delle attività umane o dove più frequenti sono le condizioni meteorologiche sfavorevoli alla diluizione e dispersione di inquinanti. E' questo il caso di numerose città e aree urbanizzate dell'Italia settentrionale e, in

particolare della Pianura Padana. Qui infatti ad un'elevata densità di abitazioni, attività industriali e trasporti veicolari sono associate frequenti condizioni di stabilità dell'aria che provocano il ristagno degli inquinanti negli strati bassi dell'atmosfera. Il risanamento della qualità dell'aria delle città è un processo complesso che deve tenere conto di tutti gli strumenti disponibili. Tra questi i meccanismi di rimozione degli inquinanti da parte del verde urbano, non appaiono oggi ancora adeguatamente riconosciuti e valorizzati. Tra le diverse funzioni che vengono infatti attribuite alla vegetazione presente nelle città (qualificazione estetica, ricreazione, ombreggiamento, regimazione delle acque, etc.) la capacità di rimuovere inquinanti atmosferici nell'aria da parte degli apparati fogliari è forse la meno nota. Alberi e arbusti oltre a cedere ossigeno e assorbire CO₂ sono in grado di intercettare e trattenere diversi inquinanti sia gassosi che particellari dannosi alla salute. Una sua stima quantitativa di questi processi è stata oggetto di approfonditi studi e oggi vi è consenso nel ritenere il verde urbano uno strumento importante da inserire nelle strategie per la protezione e il miglioramento della qualità dell'aria. I processi che consentono la rimozione di inquinanti atmosferici da parte delle foglie di alberi e arbusti sono diversi: il PM₁₀ è prevalentemente intercettato da parte delle superfici fogliari che se rugose, ricche di peli e essudati trattengono il particolato che viene poi dilavato dalle piogge. Una parte (in media il 50% circa) di queste polveri estremamente fini, qualora non piova per lungo tempo andrà incontro a fenomeni di risospensione. La rimozione di composti gassosi avviene in modi diversi: i composti più reattivi come l'ozono possono interagire con le superfici fogliari al solo contatto o penetrare negli stomi, le aperture di cui dispongono le piante per assorbire CO₂ e rilasciare acqua e O₂. Il flusso degli inquinanti dipende dalla loro concentrazione, dalla meteorologia, dalle caratteristiche della pianta. I maggiori effetti prodotti dal verde urbano sulla qualità dell'aria riguardano il particolato fine (PM₁₀ e PM_{2.5}), il biossido di azoto, il biossido di zolfo e l'ozono. Numerose città nel mondo (New York, Boston, Baltimora, Pechino, Puerto Alegre in Brasile, Santiago del Cile,

Madrid e altre) hanno effettuato analisi approfondite della capacità del verde urbano di migliorare la qualità dell'aria. Questi studi hanno evidenziato come la presenza di parchi urbani, viali alberati e giardini possa ridurre le concentrazioni di alcuni inquinanti dell'aria e in particolare, i valori di picco cioè le concentrazioni massime registrate nel corso della giornata. Le città menzionate hanno utilizzato il modello di calcolo UFORE sviluppato dal Servizio Forestale del Dipartimento dell'Agricoltura (USDA-FS, www.fs.fed.us).

7.3 IL MODELLO DI STIMA PER GLI INQUINANTI

Il modello impiegato per la stima degli inquinanti rimossi dalla vegetazione urbana si basa su una serie di funzioni matematiche che descrivono il comportamento degli apparati fogliari di alberi e arbusti, decidui o sempreverdi, nei confronti degli inquinanti atmosferici. Le informazioni relative ai processi fisiologici utilizzate dal modello derivano dai numerosi studi che negli ultimi vent'anni sono stati sviluppati su questo tema. Il modello UFORE - Urban Forest Effects è suddiviso in più moduli. Il primo viene utilizzato per realizzare un'analisi preliminare delle caratteristiche della vegetazione urbana e determinare i valori di una serie di grandezze che verranno utilizzate nelle fasi successive. La principale è la "superficie fogliare", cioè la somma dell'estensione di tutte le foglie che vanno a formare la chioma di un albero. I valori tra le diverse specie o tra alberi di dimensioni diverse possono risultare molto differenziati. Il modello dispone di un ampio database relativo a quasi 10.000 specie. Ad ogni specie sono associate funzioni che a partire dai dati di diametro del fusto, altezza, inserzione della chioma e diametro della chioma, consentono di giungere ad una stima della superficie fogliare. Le equazioni di regressione sono specifiche per le diverse essenze rilevate. La biomassa fogliare determinata in modo analogo mediante specifiche funzioni, costituisce il principale riferimento per la stima delle emissioni di composti precursori dell'ozono. Un altro modulo del modello consente la determinazione dei quantitativi di inquinanti rimossi dall'atmosfera da parte della

vegetazione. I fattori che maggiormente influiscono, oltre naturalmente alla specie, sono:

- Concentrazione di inquinanti: a concentrazioni più elevate maggiore è la rimozione relativa.
- La meteorologia: in giornate calde ma non torride si registrano i valori più elevati di scambi gassosi tra le foglie e l'atmosfera.
- La disponibilità d'acqua nei suoli: alberi ben riforniti d'acqua mantengono gli stomi aperti più a lungo rimuovendo quantitativi maggiori di inquinanti.
- Lo stato di salute degli alberi: alberi vitali hanno chiome più folte e scambi gassosi più intensi.
- La stagione: le specie decidue hanno scambi gassosi quasi esclusivamente nel periodo primaverile ed estivo.

Il modello valuta, con un apposito modulo, le emissioni di composti organici volatili che prodotti dagli alberi possono contribuire a formare l'ozono.

Il principale scambio gassoso con l'atmosfera riguarda l'assorbimento di biossido di carbonio (CO_2) e l'emissione di ossigeno (O_2). A questi processi si aggiunge l'intercettazione di polveri fini (PM10), il biossido di azoto (NO_2), l'ozono (O_3), il biossido di zolfo (SO_2). Il modello simula il comportamento delle foglie e dei processi che si svolgono sulla loro superficie con una cadenza oraria. Esso tiene inoltre conto dell'andamento meteorologico reale: i singoli episodi di pioggia, ad esempio, interrompono l'intercettazione di PM10. Più in generale nel corso dell'elaborazione si tiene conto di diversi processi fisiologici come la formazione delle foglie in primavera, la velocità con cui si sviluppano, l'epoca della loro caduta. Nel corso dell'autunno e dell'inverno le specie caducifoglie perdono le loro capacità di rimozione degli inquinanti. Il modello tuttavia tiene conto che un minimo di capacità residua si mantiene grazie all'azione delle cortecce. Il contributo più significativo in questo periodo dell'anno è dato tuttavia dalle specie sempreverdi.

Il modello UFORE consente di effettuare anche stime del sequestro di CO₂ da parte della vegetazione arborea.

7.4 GLI ALBERI: METABOLIZZATORI DELL'INQUINAMENTO

Se non ci fossero gli alberi, le città risulterebbero assolutamente "inospitali". Le foglie assorbono anidride carbonica e cedono ossigeno; rimuovono numerosi inquinanti dannosi alla salute e all'ambiente. Il PM10 (polveri sottili) è la particella più presente nel particolato: il pulviscolo sospeso nell'atmosfera. Il PM10 è intercettato dalle foglie e la sua rimozione è correlata allo sviluppo della superficie delle foglie. Oltre al PM10, il "disinquinamento" operato dalle foglie riguarda anche la polveri più sottili (PM 2,5), il biossido d'azoto, lo zolfo e l'ozono. L'ozono negli strati bassi dell'atmosfera (troposfera) è un "inquinante secondario", si forma dalla reazione di alcuni composti e attraverso le vie respiratorie entra in contatto con il corpo umano e può così provocare seri danni alla salute, ma anche a quello delle piante. È sulle foglie, sulle loro superfici, che avvengono gli scambi gassosi con l'esterno. L'attività delle piante può inibire l'azione dell'ozono, può incidere sui valori più alti riducendoli. Da tutte queste fonti di inquinamento, le piante si difendono emettendo delle sostanze, i phytoncidi. Queste sostanze però salvaguardano anche la salute degli esseri umani che respirandoli, aumentano il livello delle cellule "killer naturali" che sono parte della risposta immunitaria. Camminare quindi in un bosco, o in un parco, è benefico: i livelli di globuli bianchi aumentano, si abbassa la frequenza cardiaca, la pressione arteriosa e i livelli dell'ormone cortisolo, legato allo stress. Numerose inoltre sono le piante disinquinanti in grado agire nelle abitazioni, anche per l'elettrosmog e la loro capacità si deve sempre alle foglie in grado di "catturare" le sostanze chimiche presenti nell'aria, inglobarle dopo alcuni procedimenti biologici e farle assorbire da microrganismi. Il tricloroetilene presente in vernici e solventi viene assorbito dai crisantemi, il benzene viene assorbito dal Philodendron, dalla Dracena marginata, dall'Edera e l'ammoniaca viene captata da azalee e palme. La

progettazione del verde deve tenere conto di tutti i possibili benefici che le piante ci possono offrire da quelli paesaggistici a quelli ambientali. Sono molti i benefici ambientali (miglioramento del microclima, fissazione della CO₂, purificazione dell'aria, riduzione del rumore, miglioramento del bilancio idrico, controllo dell'erosione), che le piante apportano ma uno degli aspetti più importanti, anche se meno conosciuti, è quello dei benefici apportati alla qualità dell'aria. Le piante sono infatti in grado di rimuovere grandissime quantità di alcuni dei principali inquinanti gassosi (CO₂, NO_x, CO, SO₂, O₃) e di particolato atmosferico (PM₁₀, PM_{2.5} che contengono moltissime particelle tossiche), le cosiddette polveri inalabili. Le piante sono infatti in grado di svolgere un'azione filtrante nei confronti di queste sostanze in diversi modi che dipendono: dalle caratteristiche fisico chimiche delle molecole coinvolte, dalla superficie complessiva della pianta esposta all'aria (foglie, fusto, rami etc.), dalla struttura della ramificazione, dalla rugosità delle superfici fogliari (per presenza di cere, peli etc.) ma anche dalla capacità di effettuare scambi gassosi efficienti con l'atmosfera. In questo settore vi è stato un notevole progresso negli ultimi decenni che ha permesso la realizzazione di modelli matematici di simulazione, empirici e meccanicistici, in grado di stimare con grande precisione le quantità di inquinanti rimosse da una data porzione di terreno coperto dalla vegetazione. Di recentissima applicazione vi è poi l'utilizzazione di questi modelli per simulare gli effetti di un parco in fase di progettazione. Questo permette di indirizzare il progetto nel disegno delle strutture vegetazionali e nella scelta di specie e cultivar in maniera da ottimizzare anche i benefici del verde sulla qualità dell'aria.

Figura 2. Particolare di lamina fogliare “pulita”, cioè prelevata in area dove la presenza di particolato atmosferico era minimale:

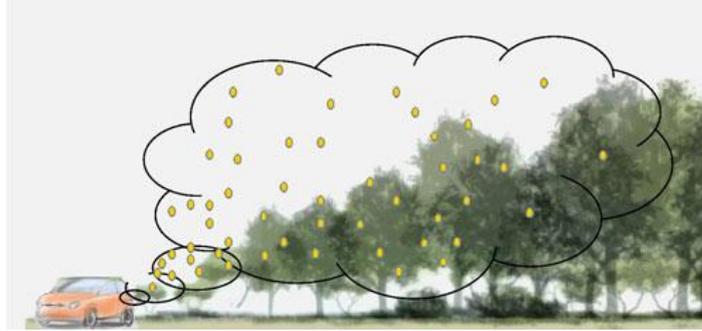


Fonte 7. Foglia di leccio (*Quercus ilex*) ripresa al microscopio elettronico a scansione presso il Dip. di Biologia vegetale della Università di Firenze (Paolo Grossoni e Alberto Giuntoli, 1989).

Figura 3. Particolare di lamina fogliare con presenza di particolato “catturato” dalla lamina fogliare:



Fonte 8. Foglia di leccio (*Quercus ilex*) ripresa al microscopio elettronico a scansione presso il Dip. di Biologia vegetale della Università di Firenze (Paolo Grossoni e Alberto Giuntoli, 1989).



Modalità di “cattura” delle polveri e degli altri inquinanti atmosferici. In linea generale si può affermare che i risultati migliori si ottengono utilizzando piante che hanno un’elevata efficienza nell’intercettare gli inquinanti per:

- Presenza di numerosi rami.
- Superficie fogliare abbondante e ruvida.
- Presenza di peluria.
- Presenza di cere e di superfici bagnate che ne migliorano l’efficienza della raccolta.

In inverno le piante a foglia caduca continuano ad intercettare le particelle che si depositano sul fusto e sui rami.

CAPITOLO 8

GLI ALBERI CI SALVANO LA VITA RIDUCENDO L'INQUINAMENTO DELL'ARIA

Da una stima effettuata su larga scala è stato calcolato che ogni anno gli alberi potrebbero salvare più di 850 vite umane e prevenire 670.000 volte l'incidenza dei sintomi delle malattie respiratorie acute. In uno studio pubblicato recentemente sulla rivista *Environmental Pollution* (1995), i ricercatori hanno valutato gli effetti della riduzione dell'inquinamento dell'aria da parte degli alberi sulla salute dell'uomo quantificandoli in circa 7 miliardi di dollari all'anno. Lo studio è basato su quattro inquinanti per i quali l'agenzia statunitense per la protezione ambientale, Environmental Protection Agency (EPA, www.epa.gov) ha stabilito gli indici di qualità dell'aria: biossido di azoto, ozono, biossido di zolfo e PM10 E PM2.5.

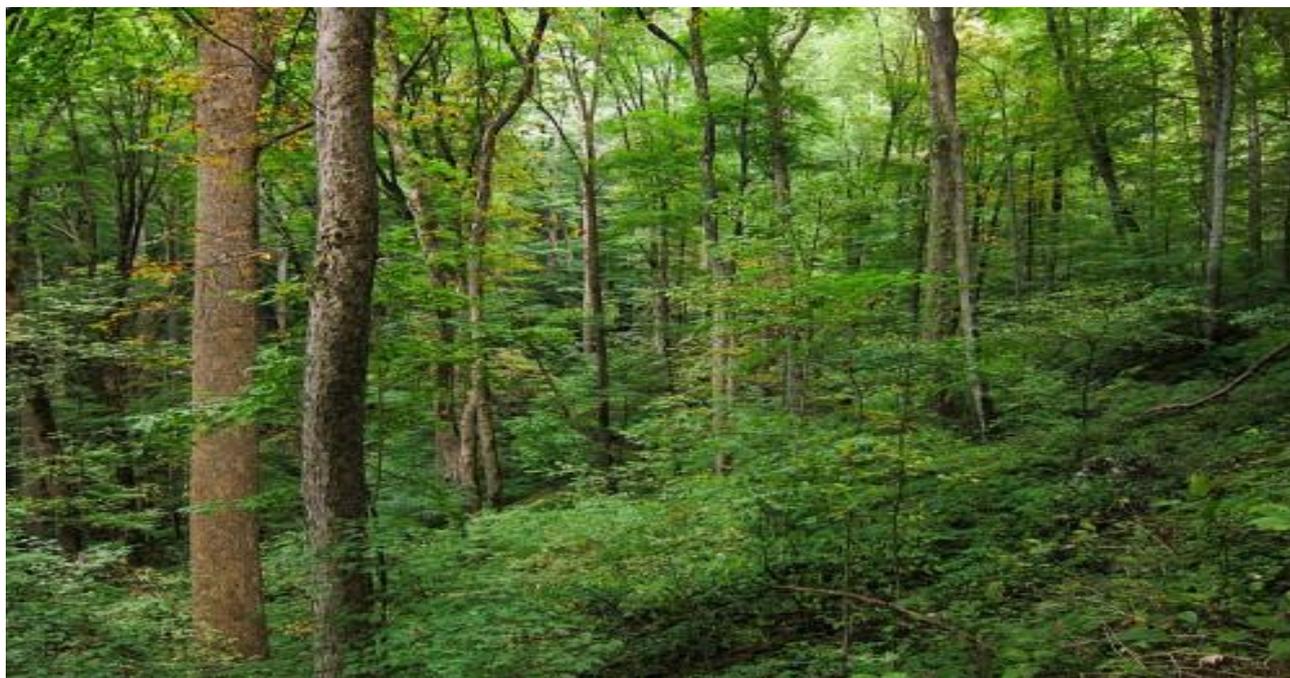


Figura 1. Gli effetti benefici degli alberi.

L'unicità dello studio, condotto da Dave Nowak ed Eric Greenfield (2012) del Servizio Forestale del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti e da Satoshi

Hirabayashi e Allison Bodine del Davey Institute (2012), sta nel fatto che i dati sulla rimozione dell'inquinamento dell'aria sono direttamente correlati agli effetti sul miglioramento della salute nell'uomo. Se da un lato questa riduzione degli inquinanti corrisponde solo a un lieve miglioramento della qualità dell'aria (meno dell'1%), dall'altro l'impatto di tale miglioramento sulla salute dell'uomo è sostanziale. La rimozione dell'inquinamento dell'aria da parte degli alberi avviene principalmente attraverso gli stomi fogliari, i quali assorbono gli inquinanti gassosi, mentre il materiale particolato viene intercettato sulla superficie della pianta. Nonostante questi meccanismi siano ben noti, la portata e il valore degli effetti degli alberi e delle foreste sulla qualità dell'aria restano tuttora sconosciuti. Gli scienziati hanno quindi utilizzato delle simulazioni al computer per calcolare delle stime relative al territorio degli Stati Uniti.



Figura 2. Stomi fogliari.

Il software utilizzato si chiama BenMAP (www.epa.gov) ed è un programma basato su Windows che utilizza i dati ottenuti con i sistemi GIS (Geographical Information System) per stimare l'impatto sulla salute e il valore monetario che si registrano quando una popolazione è esposta a cambiamenti nella qualità dell'aria. Dai calcoli è emerso che nel 2010 gli alberi e le foreste degli Stati Uniti hanno rimosso 17,4 milioni di tonnellate d'inquinanti dell'aria, con effetti sulla salute dell'uomo valutabili

in circa 7 miliardi di dollari. Dai calcoli effettuati si è notato che la rimozione dell'inquinamento è sostanzialmente maggiore nelle aree rurali rispetto alle aree urbane, tuttavia gli effetti sulla salute sono superiori nelle aree urbane. “Più dell'80% della popolazione americana risiede nelle aree urbane. Questa ricerca dimostra quindi che le foreste urbane sono d'importanza fondamentale per l'intera nazione” dichiara Michael T. Rains, (2006) direttore del Northern Research Station, stazione di ricerca del Servizio Forestale. Le informazioni e gli strumenti sviluppati da questa ricerca stanno contribuendo alla valorizzazione e alla gestione dei 138 milioni di acri di alberi e foreste che adornano le città, i paesi e le comunità. I benefici offerti dagli alberi variano in base alla copertura di vegetazione. La copertura arborea negli Stati Uniti è stimata intorno al 34,2%, ma può variare dal 2,6% in North Dakota all'88,9% in New Hampshire. “In termini d'impatto sulla salute, gli alberi delle aree urbane sono sostanzialmente più importanti rispetto a quelli delle zone rurali grazie alla loro vicinanza alle persone” sostiene Nowak (2012). “Abbiamo scoperto che, in generale, maggiore è la densità degli alberi, maggiore è la rimozione dell'inquinamento, e maggiore è la densità della popolazione, maggiore è il valore dei benefici sulla salute” (Novak, 2012).

8.1 GIARDINI VERTICALI E TETTI VERDI: UNA POSSIBILE

SOLUZIONE AI PROBLEMI DI INQUINAMENTO NELLE CITTA'

URBANE

Dal 2005, il 50% della popolazione mondiale vive nelle città e nei paesi industrializzati, ad oggi si è già superato l'80%. La crescita della popolazione urbana contribuisce a creare una serie di problemi ambientali, sia all'interno delle città che nelle aree circostanti a causa della grande domanda di cibo, energia e acqua. Molti di questi problemi sono causati direttamente o aggravati dalla rimozione della vegetazione e dall'espansione urbana. Si prevede che molti di questi problemi saranno ulteriormente impattanti nelle zone più colpite dai cambiamenti climatici, in

particolare quelli che subiranno ondate di calore, sbalzi di temperatura, deflusso delle acque piovane, qualità dell'acqua e biodiversità. I tetti verdi offrono una serie di benefici ambientali, sia per il settore pubblico che privato.

Ma quali sono i vantaggi effettivi dei tetti verdi e dei giardini verticali nelle grandi città?



Figura 3. Vantaggi e benefici di tetti verdi e pareti verdi.

- Impatto estetico.
- Riduzione dell'effetto “isola di calore” tipica delle città. L’aria calda che si libra sopra le città a causa dei materiali riflettenti e la mancanza della vegetazione è noto come effetto “Urban Heat Island”. L’aggregazione di tutto il calore assorbito e generato dagli edifici, strade, veicoli può portare nelle città addirittura da 7 a 10 °C di calore in più rispetto alle aree suburbane e rurali limitrofe.

- Riduzione di anidride carbonica ed effetto serra. Con il processo di fotosintesi, le piante trasformano l'anidride carbonica, l'acqua, la luce solare e l'energia in ossigeno e glucosio. Questo ciclo fornisce agli animali ed agli esseri umani ossigeno e cibo.
- Riduzione dell'inquinamento atmosferico. Un metro quadrato di tetto verde può rimuovere fino a 0,2 kg di particelle sospese nel cielo ogni anno.
- Riduzione dei carichi di riscaldamento e raffreddamento.
- Allungare la vita del tetto di un edificio da due a tre volte. Infatti, può durare il doppio del tempo rispetto a un tetto standard con l'impermeabilizzazione, fino a 40 anni. Aumenta la durata delle superfici perché è meglio protetta da eventuali danni meccanici, raggi UV, grandine e sbalzi di temperatura.
- Miglioramento dell'isolamento acustico. I test hanno dimostrato che il tetto verde può ridurre il suono interno di ben 40 decibel, molto importante per gli edifici che si trovano in zone molto rumorose, come quelle nei pressi di aeroporti o industrie.

8.2 I TETTI VERDI SONO UNA SOLUZIONE SEMPRE PIU' DIFFUSA ED

INTEGRATA ALL'INTERNO DEL PAESAGGIO URBANO

All'interno del paesaggio urbano possono rientrare i giardini sospesi e tutte le coperture vegetali che possono venire realizzate su tetti e superfici sopraelevate degli edifici. Alla base della diffusione dei tetti verdi vi è la loro duplice efficacia: da una parte, essi permettono di ridurre i consumi; dall'altra contribuiscono alla realizzazione di coperture in grado di ridurre le emissioni inquinanti e migliorare la qualità dell'aria. I tetti verdi possono venire realizzati su qualsiasi tipo di edificio, secondo diverse modalità che comportano anche costi e necessità di manutenzione variabili.

I tetti verdi possono essere estensivi o intensivi: questi ultimi sono anche chiamati giardini pensili, richiamando la celebre e antica tradizione babilonese. Un esempio di

green roofs moderno e avanzato potrebbe essere quello di Hualien (Taiwan), dove verrà creato nei prossimi anni un edificio montagna che sarà situato in una zona poco urbanizzata. Il complesso residenziale si trova sulla costa orientale di Taiwan, zona che di recente ha vissuto un drammatico via vai di giovani, che emigrano in centri urbani più grandi per cercare lavoro. L'area ha avuto una crescente domanda di abitazioni e strutture ricreative per anziani e pensionati. Oltre alle abitazioni hanno pensato allo sviluppo di aree ricreative, come negozi, ristoranti, sale multimediali, biblioteche, piscine, giardini comuni e servizi sanitari. L'intero quartiere incoraggia quindi l'interazione e i percorsi pubblici che possono essere utilizzati come luoghi di incontro e punti di contatto sociale. Il progetto ha sviluppato alcune abitazioni eco-friendly per anziani, caratterizzate da "strips" che corrono da est a ovest per integrarsi con il clima della regione e la creazione di zone d'ombra e di luce. Nello specifico, queste "strips" non sono altro che tetti verdi che si snodano e ondeggiando attraverso il complesso residenziale. Il complesso residenziale progettato dal danese Bjarne Ingels a Taiwan punta sulla copertura in manto erboso non solo per fini estetici ma anche con l'obiettivo di ridurre i consumi e contrastare il clima umido dell'area. A caratterizzare le residenze Hualien è soprattutto la progettazione architettonica: gli edifici che compongono il complesso hanno la forma di vere e proprie "montagne". Infatti l'area a ridosso della costa in cui sorgono le residenze Hualien affaccia su un panorama spettacolare caratterizzato dalla presenza della baia oceanica, dall'intersezione fra due delta fluviali e da una catena montuosa di cui le residenze di Hualien ricalcano la forma. Gli "strips" verdi che corrono da una base all'altra dei numerosi edifici che sorgeranno su una superficie complessiva di circa 120 mila m², oltre a creare il "crinale" serviranno a "schermare" gli edifici stessi, ossia a creare una "strato" dall'elevato potere isolante. Il manto erboso fungerà da mitigatore del caldo andando a contrastare il clima tropicale e umido tipico di Taiwan, infatti gli strips erbosi sono posizionati sulle facciate per ombreggiare le pareti più esposte

all'irraggiamento solare mentre sono lasciate "libere" quelle a nord per consentire alla luce naturale di filtrare all'interno delle strutture.



Figura 4. L'Edificio-montagna a TAIWAN

8.3 ALBERI: ALLEATI DELL'UOMO

E' stato messo a punto dall'Istituto di biometeorologia Ibimet, di Bologna un catalogo delle specie di piante più adatte ad assorbire gas serra e polveri sottili. La banca dati (presentata al simposio 2013 sugli alberi ornamentali delle zone temperate, di prossima pubblicazione) sarà uno strumento utile per chi vuole rendere le città più pulite investendo nel verde e per coloro che vogliono ornare un balcone o un giardino. "Se lo scopo principale è assorbire le polveri sottili, specie come il Melo da fiore (*Malus domestica*) e il Biancospino nostrano (*Crataegus monogyna*) hanno foglie capaci di catturarle, migliorando la qualità dell'aria" riferisce Rita Baraldi, a guida del progetto dell'Ibimet (2013). Un'altra pianta, il Carpino bianco (*Carpinus betulus*) assorbe bene la CO₂ ma non le polveri sottili perché le sue foglie sono lisce e senza peli. Ad accoppiare entrambe le caratteristiche, ossia grandi capacità di sequestrare sia gas serra sia polveri sottili, sono il Ginkgo Biloba, il Bagolaro (*Celtis australis*), i Tigli (*Tilia*) e l'Orniello (*Fraxinus ornus*).

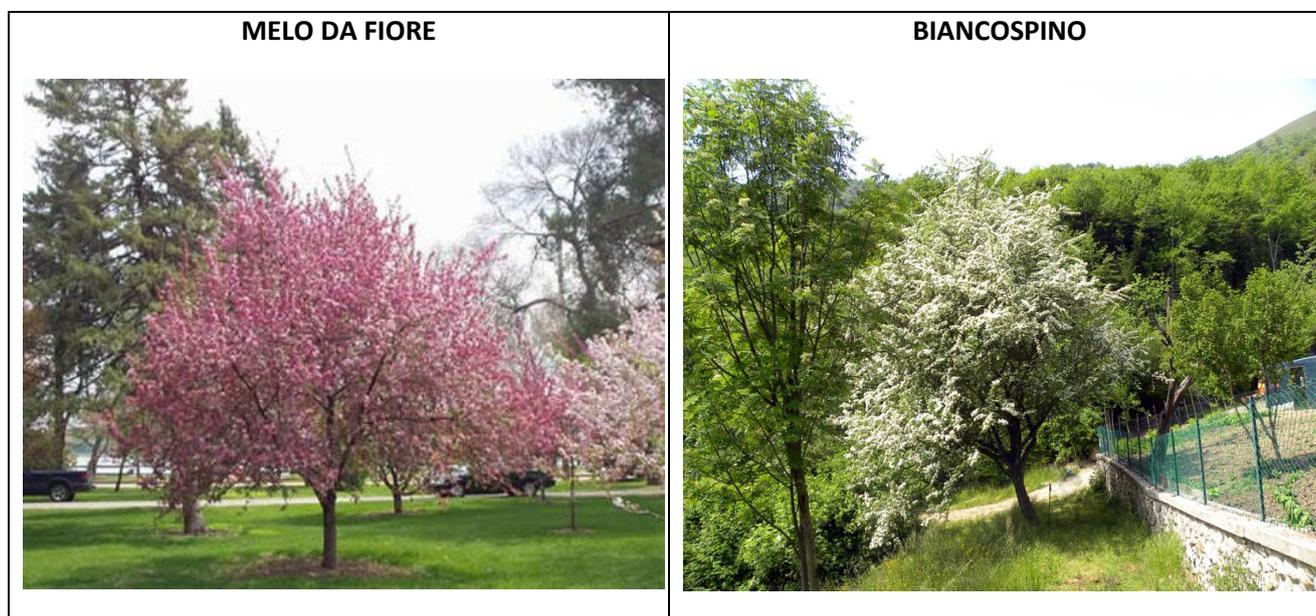


Tabella 1. Assorbimento di polveri sottili PM10-PM2.5.

CARPINO BIANCO



Tabella 2. Assorbimento CO₂.

GINKGO BILOBA



ORNIELLO



Tabella 3. Assorbimento sia di polveri sottili che di CO₂.

La capacità di catturare le polveri inquinanti risiede principalmente in due fattori:

1. La grandezza degli stomi (aperture dell'epidermide fogliare che permettono gli scambi gassosi con l'esterno).
2. Presenza di cere e tricomi (ovvero i peli, che conferiscono tomentosità alla foglia).

Il Ginkgo Biloba, per esempio, grazie a una superficie ricca di cere di forma poliedrica assorbe una quantità di CO₂ notevole, in confronto ad altre specie ornamentali. La banca dati (che raccoglie informazioni su alberi ornamentali delle zone temperate) sarà uno strumento utile per chi vuole rendere le città più pulite investendo nel verde. Le piante per loro natura rendono vivibile l'ambiente fornendo ossigeno, assorbendo l'anidride carbonica e combattendo il calore grazie alle loro chiome. I migliori alberi per assorbimento della tanto temuta CO₂ nell'atmosfera sono tre: il Tiglio selvatico (*Tilia cordata*), il Biancospino (*Crataegus monogyna*) e il Frassino o Orniello (*Fraxinus ornus*). Sicuramente si tratta di piante dalle mille virtù poiché hanno dalla loro anche altre preziose qualità: una grande chioma ombrosa per il Tiglio, le belle bacche rosse per il Biancospino, la resistenza a condizioni avverse per il Frassino o Orniello. Ma c'è anche un perdente in questa classifica: il Liquidambar (*Liquidambar styraciflua*) che non è ideale per le zone ad alto tasso di inquinamento a causa della sua bassa attività fotosintetica e della forte emissione di composti organici volatili. Oltre ai tetti verdi si può affermare che anche negli spazi aperti come giardini o strade cittadine, le piante contribuiscono a ridurre gli effetti dello smog assimilando monossido di carbonio, anidride solforosa, biossido d'azoto e polveri sottili e attenuando il rumore del traffico, come dimostrato da uno studio realizzato da ricercatori della Warnell School of Forestry and Natural Resources (2010) in Georgia, in cui è emersa la capacità di un viale alberato di abbattere il 60% dello smog prodotto dalle auto che lo percorrono. Le specie più indicate per depurare l'aria in città sono i Platani (*Platanus*), i Tigli (*Tilia*), i Pini (*Pinus*), le Acacie

(Acacia), i Cedri (*Citrus medica*), i Lecci (*Quercus ilex*), le Palme (Arecaceae) e alberi da siepe come il Lauro (Lauro), il Pitosforo (*Pittosporum*) e il Ligustro (*Ligustrum*). Tanti progetti stanno nascendo per promuovere l'aumento del patrimonio arboreo delle nostre città. E' un segnale forte che dovrebbe farci capire che probabilmente questi alberi, di cui parliamo tanto, fanno davvero molto per noi.

8.4 COME SI POTREBBE AFFRONTARE LA PROBLEMATICHE DEL RISCALDAMENTO URBANO

Esistono materiali eco-compatibili, tecnologie innovative e strategie sostenibili che hanno un impatto significativo sulla progettazione, costruzione e realizzazione sia di tetti verdi che di pareti verdi. Sono state spiegate chiaramente le problematiche cui ci troviamo davanti per quanto concerne l'inquinamento atmosferico, il riscaldamento urbano e le cause che possono avere sulla salute umana. Questi sono tutti fattori negativi ma di contro e per nostra fortuna abbiamo la possibilità di creare tetti verdi, pareti verdi, giardini urbani e parchi anche all'interno di agglomerati urbani. Le piante sono la fonte di vita di tutti gli esseri viventi. Esse ci danno l'ossigeno metabolizzando non solo l'anidride carbonica ma anche particolato e azoto attraverso i meccanismi della fotosintesi. Si dà sempre per scontato tutto ciò che costituisce una pianta, un arbusto, una erbacea o un semplice tappeto in erba ma non ci si sofferma mai sull'utilizzo che hanno nella nostra esistenza. Tutto il verde che ci circonda ha un ruolo fondamentale nella sopravvivenza della specie umana, senza di loro la vita non ci sarebbe. Per questo ho voluto concludere la tesi con il proporvi un viaggio intorno al mondo alla scoperta delle "costruzioni a verde" progettate, realizzate e in via di progettazione allo scopo di ridurre l'impatto ambientale e combattere il riscaldamento globale. Negli altri Stati si può dire che molto si è fatto e molto si farà per cercare di salvare vite umane e far vivere al meglio le persone che vi abitano e per cercare di salvaguardare il bene più prezioso che abbiamo fra le mani e cioè la TERRA e tutto ciò che vi abita.

8.5.1 GARDENS BY THE BAY, SINGAPORE



A Singapore ha aperto l'estate scorsa il Gardens by the Bay: un milione di metri quadrati di piante, giardini verticali e alberi, progettati allo scopo di realizzare una

“città giardino” che assorba l’inquinamento atmosferico e crei benessere per i cittadini. L’atrio del parco ospita circa 220.000 tipi di vegetazione, l’80% delle specie vegetali mondiali e diciotto “supertrees”, ovvero giardini verticali alti fino a 50 metri. L’acqua piovana viene recuperata e l’illuminazione del parco avviene grazie a pannelli solari. Allo scopo di combattere ulteriormente il riscaldamento urbano e rinfrescare la città, le strade e i marciapiedi sono stati costruiti con materiali speciali in grado di assorbire il calore. Il parco Gardens by the Bay, rientra nella strategia del Governo di Singapore di trasformare la capitale da “città-giardino” a “città in giardino”. L’obiettivo è quello di migliorare la qualità della vita, attraverso il verde e la flora. In questo parco ci sono diverse installazioni green come le Cloud Mountain e i Supertree. La Cloud Mountain è una montagna alta 42 metri con la struttura completamente rivestita di piante, soprattutto quelle epifite (come orchidee e felci) insieme a licopodi, bromeliacee e anthurium. La vetta è accessibile tramite un ascensore e, una volta in cima, i visitatori possono scendere seguendo un percorso circolare lungo 140 metri dal quale si può osservare una cascata di 35 metri. Un altro luogo suggestivo situato nei Gardens by the Bay è l’area dei Supertree: un giardino con alberi giganti di acciaio ma dal cuore green: gli alberi alti dai 25-50 metri sono realizzati con materiali ecosostenibili. La loro chioma è in realtà un insieme di pannelli fotovoltaici e di serbatoi di raccoglimento dell’acqua piovana, mentre i tronchi degli alberi ospitano numerose specie di piante che cambiano colore a seconda della stagione.

8.5.2 ACCADEMIA DELLA SCIENZA IN CALIFORNIA



Chi di noi da studente non ha mai sognato di avere uno spazio verde dove rilassarsi tra una lezione e l'altra? L'Accademia delle Scienze è una struttura di 50 mila m² con tanto di parco sul tetto, progettata e realizzata da Renzo Piano (2005). “L’idea di un tetto vivo, animato, che respira e dialoga con la natura circostante, in cui sono piantate 1,7 milioni di pianticelle autoctone della California, scelte tra le più resistenti alla siccità, l’ho presa da consuetudini antichissime delle nostre campagne, delle nostre montagne. La massa di terra e lo strato di vegetazione sopra i tetti di notte accumula umidità, e diventa un isolante termico quando arriva il sole e il calore del giorno”, riferisce Renzo Piano. Il tetto vivente assolve non solo alla funzione di isolante e “salva energia”, ma assicura il risparmio sulla manutenzione in quanto le piante sono graminacee autoctone che non necessitano di alcuna irrigazione. I diecimila metri quadrati del tetto sono costituiti da un tappeto di piante e di fiori selvatici della California, quattro specie di tipo perenne e cinque annuali, frutto di una selezione che ha riguardato trenta graminacee in grado di sopravvivere senza utilizzo

di fertilizzanti e senza irrigazione. Le piante sono contenute in cinquantamila “vassoi” in fibra di cocco.

8.5.3 ACROS DI FUKUOKA IN GIAPPONE



A Fukuoka, città giapponese, si può ammirare un edificio formato da due parti diverse: una più classica, con pareti finestrate per uffici e rappresentanze mentre un'altra è costituita da un tetto terrazzato che raggiunge l'altezza di 60 metri. Inaugurato come centro culturale internazionale nel 1995, l'edificio è una delle prime costruzioni moderne in architettura ecologica. Se osservato dal lato che sporge sulla strada commerciale più importante di Fukuoka, l'immobile non sembra particolarmente originale a causa delle sue tradizionali pareti di vetro. Se lo si guarda invece dall'altro lato si trasforma in un enorme giardino pensile valorizzato da circa 35.000 piante dislocate sui vari piani e costituito da terrazze panoramiche rivolte verso il parco interno. Il verde che ricopre l'Acros Building permette una regolazione

costante della temperatura, facendo così diminuire i consumi energetici dell'intero edificio. Il parco interno è di ben circa 100.000 m².

8.5.4 DONGTAN LA CITTA' VERDE DI SHANGHAI



La Cina si è adeguata in fatto di città completamente sostenibili con questo grande progetto che coinvolge una pianificazione urbanistica d'avanguardia: architettura

sostenibile, energie rinnovabili, trasporti ecologici e agricoltura. La città verde di Dongtan in grado di accogliere 500.000 abitanti, concentrata attorno al canale sud del Fiume Giallo Yang Tze, sarà collegata a Shanghai proprio grazie ad un nuovo ponte di futura costruzione creando uno dei principali e più grandi gateway finanziari e commerciali al mondo. La città verde di Dongtan occuperà un'area di 630 ettari ed è parte di un progetto per lo sviluppo della foce dello Yangtze. La città sarà ricca di spazi verdi pubblici, hotel, alberghi, teatri, centri commerciali e il nuovo porto di Dongtan.

8.5.5 NANYANG UNIVERSITA' TECNOLOGICA A SINGAPORE



La nuova struttura consiste in blocchi che sono interconnessi sotto un imponente manto verde che trasforma l'alta tecnologia della costruzione in una volumetria organica in sintonia con il paesaggio circostante. La Scuola di Arte, Design e Media presso Nanyang Technological University di Singapore ha una struttura interna di vetro e il tetto è completamente tappezzato da uno strato di erba naturale. Lo strato

aiuta ad assorbire i raggi del sole in estate e contenere il calore in inverno, inoltre è progettato per favorire la circolazione dell'aria all'interno dell'edificio riducendo i costi energetici, mitigando l'aria circostante e raccogliendo le acque piovane (che vengono poi riutilizzate) e purificando l'aria. Cinque piani di architettura maestosa ed eco-sostenibile totalmente immersi e mimetizzati in una splendida vallata naturale. Un “abbraccio architettonico” reso unico da un grandissimo tetto verde fruibile. Le grandi vetrate oltre a garantire una visione in continua osmosi con la natura circostante sono progettate per rendere gli ambienti estremamente luminosi minimizzando, fino a pomeriggio inoltrato, l'utilizzo dell'illuminazione artificiale. Di notte, invece, l'edificio si trasforma in una sorta di lanterna. Al suo interno si possono ammirare gli specchi d'acqua e il suono delle cascate artificiali. Il tetto verde offre maggiore coibentazione e contribuisce alla climatizzazione naturale dell'edificio, oltre a contenere un sistema di recupero delle acque piovane che servono per l'irrigazione delle aree a prato. Il campus universitario “Yunnan Garden” consiste in 200 ettari di parco nella parte sud ovest dell'isola.

8.5.6 GIARDINO VERTICALE PARK ROYAL A SINGAPORE



Situata tra il distretto finanziario di Hong Lim Park e gli appartamenti di Chinatown, la torre di questo hotel, alta 12 piani, è un progetto del Whoa Architects (2013) e non dista molto da una delle zone verdi di Singapore, anzi ne è praticamente il proseguo verticale. Infatti la caratteristica principale di questo albergo è il quantitativo di piante e alberi presenti. Enormi giardini circondano non solo gli spazi interni ma sono stati posti anche tra alcuni piani. Il concetto di edificio-giardino risponde perfettamente alla complessità architettonica della città. E' composto da un intreccio di sistemi naturali che incontrano la tecnologia più evoluta. Le colossali vetrate che spaziano sui laghetti artificiali e su questi giardini pensili, permettono di ammirare il paesaggio. Per la realizzazione dell'edificio sono stati progettati 15 mila metri quadrati di giardini sopraelevati, specchi d'acqua, cascate, terrazze e pareti verdi, per una superficie equivalente all'area del vicino Hong Lim Park, di cui il grattacielo amplia e riproduce gli ambienti e la biodiversità. I giardini del Park Royal ospitano un'enorme varietà di piante come alberi a tromba, palme, fiori che insieme creano un

ambiente lussureggiante sia all'esterno sia all'interno delle camere, spezzando in modo armonico la struttura dell'edificio e attirando un vasto numero di uccelli e insetti.

8.5.7 MASDAR CITY AD ABU DHABI



Nel cuore degli Emirati Arabi, a pochi chilometri dalla grande città di Abu Dhabi è stato progettato ed è in fase di costruzione la prima città ‘carbon neutral’: Masdar City, (inizio 2008 fine 2016). Letteralmente il suo nome vuol dire “città sorgente”, poiché l’intero progetto, seguito dallo studio di progettazione architettonica Foster

and Partners (2006) è stato pensato come una ‘sorgente’ di energie alternative che permettono alla città di autoalimentarsi e rendere la produzione dei rifiuti quasi uguale a zero. La città è collocata nel deserto, estendendosi su un’area di circa 6 km², è stata pianificata per una popolazione di circa 50.000 abitanti secondo i più innovativi principi tecnologici di eco sostenibilità.

8.5.8 HUNDERTWASSER A VIENNA



A Vienna Hundertwasser ha lasciato in eredità alla città questa meravigliosa struttura con tanto di tetto verde. La Hundertwasserhaus di Vienna (1983-1985) reca la firma inconfondibile dell'artista Friedensreich Hundertwasser. Chi abita nella Hundertwasserhaus ha anche il diritto di decorare la facciata intorno alle proprie finestre secondo il proprio gusto personale. In questo modo la casa situata nella via viennese Kegelgasse acquista ancora maggiore vivacità. Più di 200 alberi e arbusti sui balconi, sulle terrazze e sui tetti fanno della Hundertwasserhaus un'oasi verde nel cuore della città.

8.5.9 PATRICK BLANC E IL GIARDINO VERTICALE DI MADRID



Esempio di recupero di architettura post industriale ma anche di sensibilità eco sostenibile il giardino progettato da Patrick Blanc ha i muri esterni completamente ricoperti di vegetazione ed è alto 24 metri. Il giardino verticale a Madrid ha intorno a sé diversi musei ed è un perfetto mix tra arte, architettura e botanica. Quest'oasi in miniatura offre ai turisti e agli abitanti un fresco riparo dal clima torrido, in quanto l'impianto di auto-irrigazione sprigiona un getto di raffreddamento che mantiene verdi le oltre 15.000 piante, appartenenti a 250 specie che sono state utilizzate per decorarlo. Queste conferiscono movimento alla "parete" e regalano un impatto visivo davvero forte. Macchie di verde, rosso e giallo crescono a ciuffi sul muro. Il giardino verticale di Blanc dimostra come queste pareti verdi possono essere erette e crescere anche nei climi più caldi e secchi.

8.5.10 BOSCO VERTICALE: I GRATTACELI DI MILANO



Milano, si sa, è una fra le città italiane con più smog e qui sta prendendo vita il Bosco verticale. La sua finalità è la riqualificazione del quartiere storico Isola di Milano e lo scopo pratico è quello di ridurre del 30% i consumi, integrando il tutto in una soluzione estetica che si modificherà con il cambio delle stagioni. La struttura è sviluppata verso l'alto ed è composta da ben 100 diverse specie di alberi. Ogni pianta presente al suo interno è stata selezionata da esperti di botanica, i quali hanno privilegiato specie che riescono a prosperare all'interno di questo particolare microclima. Si parla di 900 alberi di dimensioni varie, 20.000 piante tra tappezzanti (capaci di crescere basse al suolo e ricoprire densamente il terreno), ricadenti e perenni, più altri 4.000 arbusti vari e cespugli. La diversità delle piante e le loro caratteristiche produrranno umidità, assorbendo CO₂ e producendo quindi ossigeno. Le due torri, alte 110 e 76 metri, potranno ospitare una popolazione pari quasi a

50.000 m² di singole abitazioni, permettendo così un risparmio territoriale su cui potrà essere sviluppata in seguito un'altra torre.

8.5.11 MUNICIPIO DI CHICAGO



William McDonough (2008) è l'architetto che ha progettato il tetto del municipio di Chicago che comprende 20.300 m² di tetto verde, in contrasto con i lastroni di pietra e marmo della città, caratterizzato da una folta copertura verde. L'acqua piovana viene raccolta per l'irrigazione e le piante e gli alberi assorbono l'inquinamento e rinfrescano l'aria della città. Il giardino ha oltre 20.000 piante erbacee e 150 specie tra fiori, arbusti, viti e alberi. Sebbene l'acqua piovana viene raccolta nei periodi di siccità estrema esiste un sistema d'irrigazione supplementare per aiutare le piante. Oltre a migliorare la qualità dell'aria il tetto verde si presume che riduca i costi energetici di oltre 5.000 \$ l'anno (Landscape Architecture Magazine, 2000).

8.5.12 FLOATING FOOD NEW YORK



Il Floating Food è una chiatta sul fiume Hudson, a New York, che fa da serra e da aula per corsi di educazione ambientale. È stata costruita nel 2007 ed essendo alimentata da energia solare, eolica e biocarburanti, la chiatta è a zero emissioni di CO₂. Le piante della serra sono coltivate secondo sistemi idroponici riutilizzando l'acqua piovana e del fiume. Un prototipo di circuito chiuso autosufficiente, che può essere replicato sui tetti delle case.

CONCLUSIONE

La conclusione di questo elaborato è la prova lampante di quanto noi siamo ancora lontani da creare determinate strutture verdi che possano costituire oltre che un piacevole fattore estetico anche un realistico utilizzo. Nel resto del mondo ci si scontra con una realtà ben diversa che ci porta ad affacciarsi a un mondo che ti lascia l'amaro in bocca perché ci si rende conto che le amministrazioni e i governi hanno voluto e hanno creduto che investire sul verde potesse essere oltre che un fattore estetico e di pregio, una soluzione per abbassare l'inquinamento e tutelare le persone che vi abitano. I tetti verdi, le pareti verdi sono il futuro in un mondo urbanizzato dove sembra che il verde non sia parte integrante del paesaggio ma sia un optional. Noi non abbiamo la cultura d'investire sul verde non viene data la giusta importanza e la valorizzazione che esso si merita. Le amministrazioni comunali, provinciali, il governo stesso fanno finta di niente chiudono gli occhi davanti a quello che succede, la Comunità Europea ci sanziona per non aver rispettato i limiti annui di inquinamento e sembra che il problema non sia neanche nostro. Noi siamo fortunati perché viviamo in uno dei Paesi più belli al mondo invidiato da molti Stati, ma dove non funziona niente, dove non si riesce a tutelare niente, non si riescono a fare leggi e dove c'è una scarsa o inesistente informazione su tante cose e una di queste è proprio il verde. Siamo circondati da quartieri obsoleti, caseggiati che cadono a pezzi dove il degrado e lo spaccio sono al primo posto. In questi luoghi si potrebbero creare grandi opere a verde se solo si investissero risorse e denaro. I tetti verdi sono da anni che vengono realizzati all'estero, sono anni che i governi investono denaro che creano "meraviglie" che cercano di mettere insieme tutti i requisiti per la salvaguardia del paesaggio e della salute umana. Ci si lamenta ogni volta che c'è un'alluvione e non si pensa all'urbanizzazione incontrollata con l'abbattimento di migliaia di alberi, ci si lamenta per gli smottamenti e le frane ma a ridosso non ci sono più alberi e quei pochi sono mal tenuti e cosa ancor più grave si ha dato il permesso di costruire dove non si poteva. Ci si lamenta per l'esondazione dei fiumi e non si parla che i loro corsi

sono stati deviati, tominati e sostituiti da parcheggi, si parla di città avvelenate con valori d'inquinamento alle stelle e nessuno fa niente. Il problema maggiore è la mancanza di finanziamenti per le opere a verde. Soprattutto dove non è possibile realizzare opere pubbliche quali parchi e giardini nelle grandi città l'alternativa sta nei tetti verdi e nelle pareti verdi che oltre a ridurre l'inquinamento, mitigare l'isola di calore, abbassare il rumore acustico fanno da isolante sia d'inverno che d'estate e sarebbero anche un'ottima soluzione per il recupero dell'acqua piovana. Il problema maggiore è riuscire a sensibilizzare la popolazione e spiegare loro le soluzioni che si potrebbero ottenere installando questi tipi di copertura a verde. Qualcosa negli ultimi anni si sta creando in Italia ma è ancora troppo poco. Bisogna divulgare l'importanza che ha il verde pubblico e tutti gli effetti benefici che esso potrebbe avere sia sul clima che sulla salute e il benessere delle persone.

BIBLIOGRAFIA

Abram P., *il Verde Pensile*, Sistemi Editoriali, 2011.

Agenzia Europea dell'Ambiente, *L'aria che respiriamo-Migliorare la qualità dell'aria in Europa*, 2013.

Bargagli R., *Monitoraggio degli inquinanti atmosferici persistenti mediante i muschi e le piante superiori*, 2006.

Bussotti F., Ferretti M., *Air pollution, forest condition and forest decline in Southern Europe. An over view*, *Environmental Pollution* 101, 49-65, 1998.

Cairns, M.A.; Brown, S.; Helmer, E.H.; Baumgardner, G.A. 1997. *Root biomass allocation in the world's upland forests*. *Oecologia*. 111: 1-11.

Chow, P.; Rolfe, G.L. 1989. *Carbon and hydrogen contents of short-rotation biomass of five hardwood species*. *Wood and Fiber Science*. 21(1): 30-36.

Ciccioli P., *Ruolo delle piante nella mitigazione dell'inquinamento atmosferico urbano e del riscaldamento globale*, 2009.

Cignarale A., *Alluvioni la soluzione è sui tetti*, 2013.

Council of Tree and Landscape Appraisers. 1992. *Guide for plant appraisal*.

Cook D.I., Van Haverbeke D.F., *Tree-Covered Land-Forms for Noise Control*, University Press of the Pacific, 2005.

Corrado M., *il Verde verticale*, Sistemi Editoriali, 2010.

Di Paolo A., Po M., *Il verde e la città*, 2010.

European Environment Agency – report, *Air Quality in Europe*, 2013.

European Environment Agency, *Air pollution fact sheet- Italy*, 2013.

FLL, Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof Sites: Roof-greening Guidelines (1995 edition), Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. V. (FLL), Bonn 1996.

Gallo A., Patrick Blanc e il giardino verticale di Madrid, 2014.

Gallo A., Bosco Verticale. I grattacieli verdi di Milano, 2014.

Gallo A., L'incredibile giardino verticale del Parkroyal a Singapore, 2014.

Gellini R., Giuntoli A., Grossoni P., e Schiff S., Giardino di Boboli: aspetti vegetazionali, condizioni fitosanitarie e metodologie di intervento, Firenze 1989.

Gleason, H.A.; Cronquist, A. 1991. Manual of vascular plants of Northeastern United States and Adjacent Canada. Bronx, NY: New York Botanical Garden. 910 p.

Hirabayashi, S., Kroll, C.N., Nowak, D.J., 2011. Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. Environ. Model. Softw. 26, 804 e 816.

Hirabayashi, S., Kroll, C.N., Nowak, D.J., 2012. I e Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions.

http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Dry_Deposition_Model_Descriptions.pdf (accessed 09.10.13).

Hough, R.B. 1907. Handbook of the trees of the Northern States and Canada. Lowville, NY: R.B. Hough. 470 p.

IPPC, 2001: Climate Change 2001: the scientific basis. In: Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B.A. Callender, E. Haites, N. Harris, K. Maskell, eds. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge- New York: Cambridge University Press, 2001.

ISPRA, Verde Pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico, Manuali e linee guida 78/2012.

ISPRA, Qualità dell'Ambiente Urbano – IX Rapporto, Edizione 2013.

Kipar, A.; Sala, G.; Vallone, F.; Cadeo, M.; Menke, P.; Thönnesen, M.; Beckröge, W.; Bauer, J.; Hiemstra, J.A.; Schoenmaker-van der Bijl, E.; Tonneijck, A.E.G.; Hoffman, M.H.A. Alberi e Piante: Nuovo respiro per la città, PPH, 2010.

Lombroso L., Tetti Verdi per un'aria più pulita, Giardinaggio, 2008.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.. 1999. Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters. Gen. Tech. Rep. PSW-171. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 237 p.

Nowak, D.J. 1996. Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees. *Forest Science*. 42(4): 504-507.

Nowak, D.J.; Crane, D.E. 2000. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen, M.; Burk, T., eds. *Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century: proceedings of the IUFRO conference*. Gen. Tech. Rep. NC-212, St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 714-720.

Nowak, D.J., Stevens, J.C., Sisinni, S.M., Luley, C.J. 2002a. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *J. Arboric*. 28(3): 113-122.

Nowak, D.J., Greenfield, E.J., 2010. Evaluating the National Land Cover Database tree canopy and impervious cover estimates across the conterminous United States: a comparison with photo-interpreted estimates. *Environ. Manag.* 46, 378 e 390.

Nowak, D.J., Greenfield, E.J., 2012. Tree and impervious cover in the United States. *Landsc. Urban Plan.* 107, 21 e 30.

Oke, T.R.: City size and the urban heat island. In: Atmospheric. Environment, 1973.

Perini K., Progettare il verde in città. Una strategia per l'architettura sostenibile. Spazi verdi al suolo. Coperture verdi. Verde verticale. Norme e case studio, Franco Angeli, 2013.

Perotti G., Ecoroof Garden, 2008.

Piccarolo P., Sala G., Spazi Verdi Pubblici e Privati, HOEPLI, 1995.

Pozzi A., Valagussa M., Il verde pensile nel clima mediterraneo, 2007.

Rains, Michael T. 2006. The future of long-term USDA Forest Service research sites in the Northeast.

Savoy, IL: International Society of Arboriculture. 103 p.

Seaton A., Godden D., MacNee W., Donaldson K., Particulate air pollution and acute health effects, The lancet, 1995.

Scudo G., Ochoa de la Torre J. M., Spazi verdi urbani, sistemi editoriali, Pozzuoli, 2003.

Verrilli S., Leroy C., Ciucci I., Tognotti L., Mazzini M.,” Verifica dei risultati di modellistica per il PM10 con i dati sperimentali nell'ambito del progetto PATOS” REGTOS – DIMNP/DICCSM NT, 2011.

Wesseling, J.P., Duyzer, J., Tonneijck, A.E.G., van Dijk, C.J., Effecten van groenelementn op NO2 en PM10 concentrats in de buitenlucht. TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn, 2004.

Zampetti G., Minutolo A., MAL'ARIA DI CITTA' 2013 “L'inquinamento atmosferico e acustico nelle città italiane, 2013”.

Zaza M. C., Tetti verdi sulle città, gardenia, 2006.

SITOLOGIA

www.architeturaecosostenibile.it

www.arpa.veneto.it

www.blueap.eu

www.epa.gov

www.fresialluminio.it

www.fs.fed.us

www.ibimet.cnr.it

www.iaa.cnr.it

www.ilverdeeditoriale.com

www.itreetools.org

www.nanopress.it

www.paperproject.it

www.parlamento.it

www.rinnovabili.it

www.theguardian.com

www.tuttogreen.it

www.wien.info.it

www.word-architects.com

RINGRAZIAMENTI

E' stato un percorso travagliato, difficile, quasi sempre in salita, a volte era più forte la volontà di mollare perché non pensavo fosse questa la strada giusta ma poi mi fermavo e pensavo a tutto quello che avevo investito fino a quel momento. Dentro di me dicevo che se non avessi concluso anche questo capitolo della mia vita molto probabilmente in futuro me ne sarei pentita. Ho avuto la fortuna di avere al mio fianco sia persone che non ci credevano e questo è stato un bene, perché mi hanno dato ancora più forza per dimostrare che alla fine di questo percorso ci sarei arrivata e altre persone che mi hanno sempre supportata e incoraggiata a raggiungere il mio obiettivo ma soprattutto forse hanno sofferto con me o più di me perché arrivassi a prendere la laurea, ed è a queste persone che vanno i miei ringraziamenti.

Dorilena, sei la persona che tutti vorrebbero al suo fianco, sei sempre stata fondamentale, hai avuto la pazienza di ascoltarmi ogni volta che andavo in crisi e volevo mollare, di supportarmi e ascoltarmi per ogni esame che dovevo affrontare. Sei una delle poche persone che non mi ha mai giudicata e che non aveva nessun dubbio del mio risultato.

Mamma, forse una pagina intera non basterebbe per ringraziarti. Sei la persona che ha creduto di più in assoluto in me, non hai mai avuto nessun dubbio e nessuna titubanza. A volte i tuoi silenzi parlavano più di mille parole. Hai sempre sofferto in silenzio quando volevo mollare, mi hai difesa quando gli altri non credevano in me ma cosa fondamentale è che la tua fiducia nei miei confronti non ha mai vacillato.

Serena, sei la persona e la sorella che tutti vorrebbero al suo fianco, il tuo sostegno in questi anni è stato fondamentale e impareggiabile. Mi hai sostenuta nei momenti difficili, mi sei stata accanto quando pensavo di cambiare strada. I tuoi silenzi a volte non li capivo, ma sono stati fondamentali per farmi capire veramente quanto credi in me.

Papà, molte volte non ci siamo capiti, anzi ci siamo scontrati magari a volte anche facendoci male. Forse molte volte non hai condiviso le mie scelte perché semplicemente non erano quelle che volevi per me o perché proprio non capivi il motivo. Purtroppo per me fino a qualche tempo fa esisteva solo aeronautica e tu questo non l'hai mai capito, forse perché non ti sei mai chiesto o non ti sei mai soffermato su cosa io volessi veramente per il mio futuro, ma poi con il passare del tempo mi sono resa conto che quello era passato e che tu mi avevi dato la possibilità di reinventarmi e di finire l'università raggiungendo questo traguardo. A volte mi chiedevo se quello che tu volevi era per il mio bene o per il tuo ma poi ho capito che oltre le incomprensioni, i tuoi silenzi, le mezze frasi dette non dette c'era qualcos'altro di più importante per te, il mio futuro.

Nonno e Nonna, quanti segreti che abbiamo, quante conversazioni, quanti consigli che siete sempre stati pronti a darmi. Mi avete sostenuta sempre in tutte le mie scelte senza mai giudicarmi, senza mai dirmi che sbagliavo. In questo percorso mi siete stati sempre vicini sostenendomi ma soprattutto incoraggiandomi senza mai dubitare di me. Siete due nonni meravigliosi e vi ringrazio per tutto quello che fate per me.

Vania, Enrico siete sempre stati pronti a incoraggiarmi a farmi vedere le cose in una prospettiva diversa anche se a volte io non vedevo un futuro. Avete sempre creduto in me e nel percorso di studio che ho scelto e per questo vi ringrazio.