



Accademia Italiana di Scienze Forestali  
FIRENZE

# IL RUOLO AMBIENTALE DEGLI ALBERI E DELLA FORESTA URBANA A FIRENZE

*a cura di*

Susanna Nocentini, Fabio Salbitano, Davide Travaglini







Accademia Italiana di Scienze Forestali  
FIRENZE

# IL RUOLO AMBIENTALE DEGLI ALBERI E DELLA FORESTA URBANA A FIRENZE

*a cura di*

Susanna Nocentini, Fabio Salbitano, Davide Travaglini

*Con il contributo di*



FONDAZIONE  
CR FIRENZE

ISBN 978-88-87553-26-0

© 2021 - Accademia Italiana di Scienze Forestali  
Piazza Edison, 11 - 50133 Firenze



*Chi pianta un albero  
pianta una speranza.*  
Lucy Larcom



## Indice

<i>Prefazione</i> (di O. Ciano) .....	7
1. F. Salbitano, F. Ferrini, G. Sanesi - <i>Perchè parliamo di Foresta Urbana</i> .....	11
2. M. Zoppi - <i>Firenze fra parchi, giardini e viali alberati</i> .....	19
3. F.G. Maetzke - <i>Se Morello ha il cappello ... Boschi e rimboschimenti di Monte Morello</i> .....	25
4. F. Bottalico, S. Nocentini, F. Salbitano, D. Travaglini - <i>La carta della foresta urbana del Comune di Firenze</i> .....	31
5. F. Bottalico, G. Chirici, F. Giannetti, S. Nocentini, E. Paoletti, F. Salbitano, D. Travaglini - <i>La rimozione degli inquinanti aerei da parte della foresta urbana di Firenze</i> .....	37
6. E. Paoletti, Y. Hoshika, E. Carrari - <i>Qualità dell'aria e foresta urbana a Firenze: quali alberi ci aiutano?</i> .....	45
7. C. Coccozza - <i>Biomonitoraggio di eventi inquinanti attraverso la dendrochimica</i> .....	49
8. F. Salbitano, S. Orlandini, M. Petralli, C. Foderi - <i>La foresta urbana di Firenze e i cambiamenti climatici</i> .....	57
9. G. Sanesi, F. Salbitano, F. Ferrini - <i>Gli alberi e le foreste urbane fanno star bene</i> .....	79
<i>Conclusioni</i> (di F. Salbitano, S. Nocentini, D. Travaglini) .....	91



## PREFAZIONE

Negli ultimi decenni si è verificata una importante revisione del ruolo ambientale degli alberi e delle foreste urbane e periurbane che ha determinato un cambiamento nei rapporti tra alberi-foreste-società. Tale revisione ha incrinato le tradizionali concezioni sul significato e sul valore dei sistemi biologici complessi. Sistemi che svolgono molteplici funzioni indispensabili per il benessere e la civile sopravvivenza delle collettività.

Nel presente volume i fenomeni ambientali sono stati esaminati sotto l'aspetto tecnico, scientifico e culturale. In particolare si è cercato di contrapporre le diverse teorie scientifiche con la dovuta attenzione alle implicazioni di carattere storico ed etico. Ciò per meglio comprendere come la nuova visione abbia influenzato, influenzi e influenzerà in un prossimo futuro i comportamenti dell'uomo nei riguardi dei sistemi viventi.

La necessità di affrontare queste problematiche deriva dal fatto che la conoscenza dell'importanza degli alberi e delle foreste ormai è divenuta "patrimonio generalizzato". Epperò, la conoscenza di tali fenomeni in genere è superficiale. Molti pensano che basta parlarne per conseguire i risultati voluti. Invero, non si ha la consapevolezza che gli aspetti scientifici e le correlate tecniche utilizzate per la cura di tali sistemi sono indispensabili per la conoscenza dei loro effetti funzionali in favore dei cittadini.

L'analisi conoscitiva consiste o nell'osservazione e nell'accurata lettura della complessità di tali sistemi o, se necessario, in una sperimentazione dalla quale si ottenga una serie più o meno ampia di dati da utilizzare al fine di porre in essere le azioni tecniche idonee per migliorarne le condizioni. In breve, queste correnti di pensiero hanno determinato cambiamenti sostanziali sia sul piano storico-scientifico, sia su quello culturale, etico e sociale.

Per il trasferimento dei risultati è necessario prendere in considerazione sia i dati rilevati sia le richieste dei cittadini. E, dopo aver valutato la bontà o meno di quanto da questi proposto, si può provvedere a realizzare la cura degli alberi e delle foreste urbane e periurbane con personale preparato ad applicare la cosiddetta tecnica delle tre C, ovvero eseguendo interventi *cauti*, *continui* e *capillari*, nell'intento di rendere altamente funzionali i vari sistemi biologici sia quelli singoli - alberi - sia quelli costituenti ampi e significativi spazi verdi - foreste urbane e periurbane.



Gli alberi e le foreste urbane sono “sistemi a complessità organizzata”, intendendo con questa espressione quanto proposto da Weaver<sup>1</sup> in merito ai sistemi dinamici esistenti in natura, che, appunto, sono caratterizzati da un considerevole numero di variabili connesse in un tutto organico. Si pensi soltanto alla teoria “Sull’origine delle specie attraverso la selezione naturale” di Darwin<sup>2</sup> e all’influenza che essa ha comportato sul progresso scientifico. Teoria secondo la quale la natura non ha alcun fine e le specie e l’ambiente coevolvono alla ricerca di un adattamento reciproco che non è mai concluso.

La ricerca e la sperimentazione fanno perno sull’interazione osservatore - sistemi biologici. Bisogna imparare a leggere e comprendere le necessità di tali sistemi e utilizzare la conoscenza acquisita. Il che si può definire un moderno approccio bioeconomico che pone in evidenza i legami intercorrenti tra sistemi viventi e le tre E: *Ecologia, Economia, Etica*.

Il paradigma scientifico della problematica in esame, cioè i rapporti tra i sistemi viventi e l’*Ecologia* prevede che l’azione antropica sia *dipendente* dall’ecosistema. E ciò perché, poco importa se consapevolmente o meno, si tende a valorizzare la disformità e la disomogeneità dei sistemi biologici complessi - alberi e foreste urbane e periurbane. Ovvero l’ecosistema è considerato “entità di valore in sé”.

Spesso si ritiene che l’*Economia* comporti la preminenza degli aspetti finanziari su quelli biologici e culturali. Al realismo finanziario si collega la teoria dell’asservimento della natura al puro profitto. Cioè quasi sempre tale teoria è collegata ai vantaggi finanziari delle operazioni colturali che si effettuano. Nella fattispecie, invece, si analizzano e si valutano i diversi aspetti caratterizzanti ogni ecosistema e i molteplici elementi di ciascuno di essi che in definitiva ne contraddistinguono il valore economico. Di conseguenza l’azione colturale si svolge in favore e nell’interesse del sistema con l’intento di aumentarne la funzionalità.

L’*Etica* è indispensabile per la sopravvivenza degli ecosistemi e per la valorizzazione degli elementi che li caratterizzano. La complessità, la biodiversità, la stabilità, la vitalità, l’interazione organica di tutti i componenti e la costituzione di paesaggi diversamente espressi rappresentano valori che meritano il massimo *rispetto*. Cioè, occorre assolutamente evitare che si attuino operazioni che possano provocare inaccettabili danni alla espressione naturale dell’ecosistema.

---

1. Weaver W., 1948 - *Science and Complexity*. American Scientist, 36 (4): 536-544.

2. Darwin C., 1989 - *L'origine delle specie*. Newton Compton, Roma.

Gli spazi verdi in ambiente urbano e periurbano svolgono molteplici funzioni per il benessere dei cittadini e per rendere vivibili le città. I contributi contenuti in questo volume analizzano da diversi punti di vista il ruolo ambientale degli alberi e della foresta nel contesto urbano della città di Firenze. E fanno ricorso alla modellistica spaziale, all'impiego di tecnologie di rilevamento da remoto e a rilievi a terra.

Partendo dalle vicende storiche che hanno portato all'attuale paesaggio cittadino, attraverso i risultati di specifiche indagini viene evidenziata l'importanza della foresta urbana per la distensione e il contatto con la natura dei fiorentini, per la riduzione dei principali inquinanti atmosferici in relazione anche alle specie più idonee ad assolvere questa importante funzione, alle potenzialità della dendrochimica e al miglioramento del comfort esterno e della vivibilità dell'ambiente urbano.

La corretta cura per la salvaguardia di tali sistemi è strutturalmente collegata alla *Cultura*, laddove la *Cultura* è contraddistinta dalla C maiuscola. Basta ricordare che a partire dagli anni sessanta del secolo scorso è maturata la convinzione, divenuta poi *Cultura* diffusa, che per salvaguardare e migliorare le condizioni ambientali è necessario un approccio biocentrico che riguarda le tre S: *Storia*, *Scienza*, *Sapere*.

Questa tipologia culturale consentirà non solo di conservare la funzionalità e la stabilità dei suddetti sistemi ma anche di affermare il principio prima espresso che essi costituiscono *entità con valore in sé*. E, appunto perciò, è possibile collegare i problemi economici e ambientali a quelli etici e sociali. D'altronde, lo si sa, l'economia non prospera senza la cultura, il benessere non cresce senza l'istruzione e la competenza.

In questo quadro le istituzioni dovrebbero prevedere significativi interventi a sostegno della coltivazione e della salvaguardia degli alberi e della foresta urbana. I proprietari privati non procedono in tal senso per gli alti costi che dovrebbero sopportare. Ciò identifica una mutazione culturale, scientifica, tecnica ed etica che si può definire epocale. Un cambiamento che comporta l'adozione di pratiche colturali a basso impatto ambientale e, come principio insuperabile, il rispetto della *complessità biologica* degli alberi e delle foreste. Il tracciato è delineato, ma il cammino è lungo e difficile.

La conoscenza della *Storia* implica una diversa strategia di ricerca e l'opportunità di *analizzare il passato per interpretare il presente e prefigurare il futuro*. E si completa con l'acquisizione di quanto risulta dalla letteratura riguardante le tecniche e gli aspetti innovativi che i rappresentanti delle varie istituzioni del settore naturalistico e ambientale, pubblico e privato,

comunicano frequentemente dopo aver scambiato le loro esperienze e formulato varie e diverse linee guida.

La *Scienza* promuove l'evoluzione attraverso un diverso approccio teorico e un differente paradigma di riferimento. L'obiettivo è di pervenire a sintesi conoscitive proiettate al futuro e all'implementazione del concetto di cura e gestione sostenibile attraverso risposte scientificamente fondate e percorribili sul piano tecnico-programmatico.

Tale mutazione aggiunge un *quid* che ribalta l'approccio teoretico del passato. Nasce e si concreta un nuovo costrutto assimilabile alle importanti e significative evoluzioni o, come sostenuto da alcuni, *rivoluzioni scientifiche*. Ciò determina contrasti di idee non facilmente risolvibili e la non fattibilità di quanto accertato dalle varie branche della scienza. Forse per alcuni vale il detto *nemo propheta acceptus est in patria sua*, non rendendosi conto che "le persone passano ma le idee restano".

La metafora del *Sapere* è quella della rete di rapporti. Il processo di conoscenza si fonda sulla *cultura della complessità* e sulla *visione sistemica*. Sul piano tecnico si procede con il metodo per *tentativi ed eliminazione degli errori*, cioè per approssimazioni successive. Ne consegue che il *principio etico* avrà un riscontro diverso rispetto a quello attuale.

Gli alberi e le foreste urbane, dunque. Gli alberi sono individui che aggregandosi tra loro formano un nuovo, ampio, complesso sistema: le foreste. I processi tra gli organismi vegetali, animali e i fattori fisici che li compongono costituiscono un insieme unificato che dà forma al "linguaggio dei sistemi biologici complessi". Epperò, si potrebbe affermare: *C'è chi parla di alberi e di foreste e c'è chi parla con gli alberi e le foreste*.

Sta dunque all'umanista, allo scienziato, al naturalista, all'ambientalista e al tecnico operativo interpretare questo linguaggio, comprenderne il significato, interloquire con esso e assumere gli interventi in favore di tale composto e, appunto perciò, multiforme sistema. Insomma, occorre insistere sul processo della Cultura che in definitiva passa attraverso il coinvolgimento delle nuove generazioni con l'educazione ambientale.

Orazio Ciancio

Presidente

Accademia Italiana di Scienze Forestali

Fabio Salbitano<sup>1</sup>, Francesco Ferrini<sup>1</sup>, Giovanni Sanesi<sup>2</sup>

## Perché parliamo di Foresta Urbana

*Le città belle sono una delle più straordinarie e complesse invenzioni dell'uomo, veri monumenti allo stratificarsi del tempo. Ma sono gli alberi a scandire il tempo che ha reso belle queste città.*

Renzo Piano

Non è assolutamente facile districare, in modo esegetico, la trama sottile e fragile che unisce - o divide? - le vicende di Cosimo Piovasco di Rondò con quelle di Marco Polo nei fantastici mondi allegorici di Italo Calvino, *Il Barone Rampante* e *Le Città Invisibili*. Sappiamo però che nel meraviglioso dialogo dove si esplorano le relazioni fra persone e luoghi di appartenenza, Marco Polo infine afferma: “L’inferno dei viventi non è qualcosa che sarà; se ce n’è uno, è quello che è già qui, l’inferno che abitiamo tutti i giorni, che formiamo stando insieme. Due modi ci sono per non soffrirne. Il primo ne riesce facile a molti: accettare l’inferno, e diventarne parte fino al punto di non vederlo più. Il secondo è rischioso ed esige attenzione e apprendimento continui: cercare e sapere riconoscere chi e cosa, in mezzo all’inferno, non è inferno e farlo durare, e dargli spazio”. E così nel percorso del Barone Rampante, Cosimo sceglie gli alberi, le loro chiome, come sottosopra, come “chi e che cosa” da far durare, come “non-inferno” a cui dar spazio. Fino in fondo, preferendo eclissarsi in cielo attaccato al filo di una mongolfiera piuttosto che tornare in una terra senza alberi. Città invisibili, alberi abitati, luoghi a cui appartenere: un rincorrersi di segni di città, di segni di foresta.

Parlare di città vuol dire parlare di alberi, di foreste. E questo perché sarebbe semplicemente impossibile concepire le comunità umane, il loro sviluppo e la loro traiettoria ambientale e culturale senza le foreste, tanto

---

1. Università degli Studi di Firenze.

2. Università degli Studi di Bari.

sono indissolubili i legami fra città e foresta, fra città e alberi, fin dagli albori della storia dell'Olocene.

Negli ultimi 12000 anni, infatti, le interazioni complesse fra habitat insediativi e ambiente, inteso come intorno fisico e biologico, sono state decisive per determinare gli sviluppi della vita materiale e delle risorse per gli uomini ma decisive altresì nell'ispirare i luoghi del vivere e condizionare la stessa architettura, i materiali di costruzione delle strutture e delle infrastrutture urbane, gli stili di vita e le mentalità, i contenuti dei miti e la configurazione di simboli e religioni. E gli alberi, le foreste, nel bene e nel male, direttamente o indirettamente, sono sempre stati al centro di tale rapporto.

Nel corso degli ultimi tratti di storia contemporanea, l'impronta umana diventa egemonica a scala planetaria (Crutzen e Stoermer, 2000; Crutzen, 2002). Tale influenza è diventata determinante nel corso del tempo fino a spingere i ricercatori a considerare una nuova epoca geologica, ben distinta dalle precedenti: l'Antropocene, per l'appunto (Crutzen, 2002; Certini e Scalenghe, 2015). Secondo alcune interpretazioni l'A. segue l'Olocene e può essere considerato un'epoca geologica distinta da quest'ultimo. Altri autori considerano invece l'A. semplicemente come una fase dell'Olocene (Ruddiman *et al.*, 2016). In ogni caso, l'A. costituisce il periodo più recente della Terra, basato sulla schiacciante evidenza, a scala globale, che le trasformazioni atmosferiche, geologiche, fisiche, idrologiche e della biosfera siano causate da fattori direttamente o indirettamente antropogenici. Qualunque siano le definizioni e le dimensioni temporali dell'Antropocene, una delle caratteristiche chiave dell'epoca in cui viviamo è il tipo di struttura dinamica delle popolazioni di *Homo sapiens sapiens* (Diamond, 1997), vero motore di spinta trasformativa a scala globale. Gli esseri umani hanno inventato soluzioni sofisticate per proteggersi, riprodursi e costruire relazioni sociali in gruppi avvalendosi di strutture compatte e concentrate: le *Città*. Tuttavia, gli uomini continuano ad avere bisogno di nutrirsi, riscaldarsi e bere: le città, cresciute in modo incredibilmente veloce negli ultimi tre secoli, sono diventate superorganismi nel controllo egemonico di un Pianeta che comunque lotta per cibo, acqua, energia. Le città sono sede di opere mirabili e, a volte, luoghi stupefacenti in sé: il centro di Firenze, patrimonio mondiale dell'Unesco testimonia un "essere città" straordinario per arte, architettura e cultura. Ma le città sono anche causa e vittima di molteplici malesseri oltre che luoghi significativi e irrinunciabili di vita: la traiettoria di incremento della popolazione urbana appare ora inarrestabile, irreversibile.



La crescita urbana senza precedenti comporta un aumento della pressione sull'ambiente terrestre che comprende l'uso eccessivo e incontrollato delle risorse naturali. L'impronta ecologica delle città va ben al di là dei loro confini fisici. Le città coprono quasi il 3% delle terre emerse del pianeta e ospitano il 57% delle persone; parallelamente, consumano oltre il 70% dell'energia, producono il 70% delle emissioni di carbonio e consumano il 75% di cibo, acqua e suolo (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019; Stephan *et al.*, 2018; Sukhwani *et al.*, 2020). L'urbanizzazione ha poi un impatto enorme sulla permeabilità dei substrati e quindi sull'idrologia, sui processi pedogenetici, sulla copertura e sulla struttura della vegetazione e sulla biodiversità. Alla porta di casa come a migliaia e migliaia di chilometri dalle città.

Le persone che vivono in città sono generalmente distanti, mentalmente più che fisicamente, dal mondo della natura. Le popolazioni urbane, per definizione "dinamiche", hanno una visione statica e rigida degli ecosistemi, del paesaggio e dei loro processi. La natura diventa spesso un'icona immutabile, priva di vita: una cartolina, un documentario.

Le prove dell'insostenibilità della crescita della maggior parte delle città, l'aumento della disuguaglianza e del divario tra ricchi e poveri, centri e periferie, stanno ora attirando l'attenzione sulla necessità di concentrare gli sforzi verso uno sviluppo resiliente, sostenibile ed equo delle aree urbane. Sono di particolare evidenza le problematiche determinate dagli effetti dei cambiamenti climatici: l'aumento delle temperature è particolarmente drammatico proprio nelle aree urbane dove il circolo vizioso dell'incremento termico si basa sull'aumento parossistico della dissipazione energetica dovuta ai sistemi di condizionamento d'aria su vasta scala oltre che all'aumento delle quote di energia per riscaldamento nella stagione invernale. Non è solo il cosiddetto effetto "isola di calore" a risultare di difficilissima gestione ma diventa anche incontrollabile la reazione a catena sia per patologie da calore direttamente correlate con l'incremento termico, sia per disagi di origine indiretta dovuti a modificazioni comportamentali conseguenti gli effetti del riscaldamento quali una diminuzione drastica delle attività *outdoor*, l'aumento dell'uso di mezzi a combustione per il trasporto anche nelle stagioni più calde e per distanze minime con ulteriore aumento di emissioni climalteranti, inquinanti e energeticamente dissipative.

E proprio la crescita di patologie di nuovo tipo, sia trasmissibili che non trasmissibili, è uno dei dati preoccupanti della vita in città. Gli stili di vita connessi all'alterazione disfunzionale del metabolismo urbano (chimico,

fisico ed energetico) portano a ingigantire i fattori di rischio per la salute umana. Sedentarietà, rapporto non responsabile con il cibo e l'acqua, concentrazione di inquinanti e aumento della concentrazione di particolato e CO<sub>2</sub> in atmosfera con conseguente peggioramento della qualità dell'aria che minaccia in modo preoccupante le sindromi cardiocircolatorie e respiratorie, sono solamente alcuni dei problemi che quotidianamente insistono nella vita dei cittadini. Dobbiamo poi aggiungere a queste le questioni di carattere psicologico e neurologico (fra le cause di decesso drammaticamente in aumento negli ultimissimi anni) dovute a patologie più o meno acute e a stati cronicizzati di ansia, stress e depressione. Un quadro sconcertante, non c'è che dire.

Eppure vi sono segnali positivi e molti di questi sono legati a un nuovo corso che si basa sul miglioramento delle qualità ambientali della città. I benefici che possono derivare da una rinnovata disponibilità di natura e aree verdi in città, di alberi e foreste alla porta di casa, sono ormai riconosciuti non solo come evidenza scientifica ma come vera e propria sfida immediata per la *Governance* delle città. Si tratta di un riconoscimento che non viene solamente dal versante degli ecologi applicati e dei progettisti (ad es. forestali, agronomi, naturalisti, paesaggisti): la nuova Agenda Urbana, preparata da UN-Habitat (l'Agenzia delle Nazioni Unite per le città e gli insediamenti umani) e lanciata a Quito, in Ecuador, nel 2016 nel corso del summit Habitat III, contiene molteplici riferimenti espliciti al ruolo che ecosistemi e aree verdi potranno avere nel futuro delle città. Il rapporto sulle città del mondo 2020 (UN-Habitat 2020) contiene un intero capitolo sul tema del valore ambientale dell'urbanizzazione sostenibile e vi sono riferimenti significativi sulla necessità di ripensare le nostre città in senso "verde".

Ogni città è diversa da un'altra. Tuttavia, tutte le città condividono una struttura fisica simile, struttura che include strutture e infrastrutture "grigie" (ad es. edifici residenziali e industriali, strade, servizi pubblici e parcheggi), blu (ad es. fiumi, laghi, stagni e corsi d'acqua) e infrastrutture verdi (ad es. alberi, arbusti e coperture erbacee in parchi, foreste, giardini e ambiti di servizio stradale). È fondamentale inoltre, anche se troppo spesso dimenticato, un altro colore infrastrutturale portante: il marrone dei suoli. Colore che troppo spesso viene irrimediabilmente ignorato, se non consumato, nelle nostre città.

Ottimizzare le interazioni tra questi elementi è la chiave per riqualificare o costruire città in grado di rispondere alle sfide urbane.

In questo contesto le foreste urbane possono essere definite come reti o sistemi che comprendono tutti i boschi, gruppi di alberi e singoli alberi situati nelle aree urbane e periurbane; includono, quindi, foreste, alberi lungo le strade e nelle piazze, alberi in parchi e giardini e alberi in frammenti apparentemente abbandonati. La Foresta Urbana è quindi una entità sistemica complessa che comprende condizioni ecologiche diverse, ma tutte in interazione funzionale fra loro.

Così definite, le foreste urbane sono la spina dorsale delle infrastrutture verdi sia in città e nelle aree metropolitane sia per le potenziali connessioni che possono generare con le aree rurali periurbane o, addirittura, remote rispetto ai contesti densamente urbanizzati.

Le città hanno bisogno di foreste. La rete forestale, i boschi e i singoli alberi all'interno e intorno a una città svolgono una vasta gamma di funzioni, tra cui la regolazione del clima, lo stoccaggio del carbonio, la rimozione degli inquinanti atmosferici, la riduzione del rischio di inondazioni, la collaborazione nella sicurezza alimentare, idrica ed energetica, oltre a migliorare la salute fisica e mentale dei cittadini. Le foreste migliorano l'aspetto delle città e svolgono un ruolo importante nella coesione sociale e possono persino ridurre la criminalità.

La Foresta Urbana è una soluzione per le città. Lo è da sempre e lo sarà ancor più nel prossimo futuro.

I benefici che possono derivare dalla presenza di alberi e boschi in città sono molteplici. Gli amministratori e i pianificatori spesso non sono pienamente consapevoli dei vantaggi economici, sociali e ambientali cruciali che le foreste urbane possono fornire. Il risultato è che il verde e le foreste urbane hanno bassa priorità e restano una sorta di Cenerentola all'interno dei bilanci comunali. Di conseguenza, il potenziale miglioramento che le foreste urbane possono dare alla qualità della vita degli abitanti è lungi dall'essere pienamente realizzato.

I benefici delle foreste urbane, descritti in dettaglio nella Tabella 1, variano in natura e importanza in relazione al contesto economico, socio-culturale e ambientale di una data comunità. Ad esempio, la produzione sostenibile di legna da ardere può essere di notevole importanza in un'area urbana in rapida espansione in un paese in via di sviluppo, mentre la disponibilità di opportunità ricreative può essere assolutamente prioritaria in città di economie sviluppate.

Una recente analisi sugli effetti economici delle foreste urbane effettuata a Londra ha mostrato che gli 8 milioni di alberi che crescono nell'area urbana producono benefici annuali di circa £ 32 milioni, per lo più legati alla

*Tabella 1 - I benefici della Foresta Urbana.*

QUESTIONI URBANE	BENEFICI EROGATI DALLA FORESTA URBANA
Sicurezza alimentare	Fornire cibo, acqua e legna da ardere
Povertà urbana	Creare posti di lavoro e aumentare il reddito
Degradazione dei suoli e del paesaggio	Migliorare le condizioni del suolo e prevenire l'erosione
Biodiversità in riduzione	Tutelare e aumentare la biodiversità
Inquinamento atmosferico ed acustico	Rimuovere gli inquinanti atmosferici e ridurre il rumore
Emissioni di gas climalteranti	Sequestrare il carbonio e mitigare i cambiamenti climatici, migliorare il clima locale e aumentare la resilienza
Eventi atmosferici estremi	Mitigare il clima locale e incrementare la resilienza
Risparmio energetico	Risparmiare energia con l'ombreggiatura, flussi atmosferici ed evapotraspirazione
Effetto isola di calore	Raffreddare l'ambiente costruito attraverso l'ombra e l'evapotraspirazione
Accesso e disponibilità limitata di spazi verdi	Fornire spazi aperti naturali e verde più accessibile
Salute pubblica	Migliorare la salute fisica e mentale dei residenti
Alluvioni	Mitigare il deflusso delle acque piovane e ridurre le inondazioni
Disegno del paesaggio urbano	Migliorare la qualità del paesaggio urbano e la sua percezione
Architettura e patrimonio culturale	Effetti monumentali, simbolici, semiologici, estetici
Economia e flussi finanziari	Bioeconomia circolare e lavori verdi; aumento dei prezzi delle case
Opportunità ricreative limitate	Luoghi informali per attività ricreative e sport <i>outdoor</i>
Educare alla/nella natura	<i>Setting</i> per percorsi educativi <i>outdoor</i> nel verde

rimozione dell'inquinamento atmosferico, e hanno un valore ornamentale stimato a £ 43 miliardi (Rogers *et al.*, 2015).

La gestione delle foreste urbane comporta dei costi di realizzazione, manutenzione e riparazione delle infrastrutture associate. Tuttavia vi sono diverse esperienze e analisi (McPherson *et al.*, 2005) che hanno evidenziato come i benefici superassero i costi, con rapporti compresi tra 1,37 e 3,09.

Nonostante tutti questi potenziali benefici, la gestione delle foreste urbane e periurbane ha ricevuto un'attenzione limitata e deve affrontare numerose sfide, in molte città e paesi in tutto il mondo.

Un aspetto saliente in questo senso è il riconoscimento di un paradigma talmente semplice e scontato da risultare rivoluzionario: sono le città ad essere ospitate dalla natura e non il contrario. Ciò non vuol dire che le città debbano diventare delle giungle.

Vuole dire, invece, che la pianificazione, progettazione e gestione della città deve iniziare di nuovo a imparare dalla natura per percorrere il difficile cammino verso la resilienza e la sostenibilità. Solo così potranno essere pienamente “intelligenti” come spesso si invoca citando le “smart cities”.

Anche Firenze è ospite della natura. Nel tempo ha ricavato gli spazi dell'abitare, i magnifici spazi della patria del Rinascimento, dalle foreste, dalle paludi e dalle fluttuazioni dei corsi d'acqua. Molto probabilmente 2900 anni fa, agli albori dell'avventura urbana dell'area fiorentina, le architetture precarie villanoviane erano confuse nella foresta. Non vi sono più tracce di quei quadri naturali, ma Firenze è comunque parte di una foresta urbana.

Ottantamila alberi con oltre 200 diverse specie arboree senza contare gli alberi dei boschi delle aree periurbane, dalle valli del Mugnone al Terzolle, dal Mensola al Monte Morello, solo per citare qualcuno dei tanti luoghi punteggiati di alberi, di piccoli o grandi boschi, negli immediati dintorni di Firenze.

Firenze ha un territorio comunale complessivo di 10241 ettari di cui la metà circa è fortemente artificiale, coperto da strutture e infrastrutture urbane. In effetti, le aree verdi pubbliche, secondo quanto riportato nel Bilancio Arboreo 2014-2018, interessano 802,7 ettari (il 7,8% dell'intera superficie comunale). Si tratta di giardini, parchi, verde sportivo e scolastico, nonché delle aree verdi gestite da Soprintendenza, Regione, Città Metropolitana.

Le aree verdi pubbliche sono aumentate del 3,7% dal 2014 al 2018. Ciò ha consentito, negli ultimi anni, di portare la disponibilità di verde per ogni abitante da 20,49 a 20,69 m<sup>2</sup>. Non è tantissimo però è sicuramente incoraggiante il trend positivo.



Alla fine del 2018 c'erano 79956 alberi a Firenze con un bilancio positivo rispetto alla fotografia precedente: erano 74005 nel giugno 2014. La

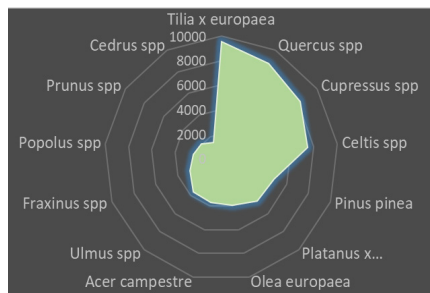


Figura 1 - Le tredici specie più diffuse nel Comune di Firenze.

gran parte degli alberi, ricordando di nuovo che da questo computo sono esclusi buona parte dei boschi nelle aree periferiche e degli immediati dintorni di Firenze, di cui si parlerà più compiutamente nel capitolo sulla Carta Forestale di Firenze, appartiene a 13 specie (Figura 1): rappresentano, in totale, l'80% degli alberi censiti dal Comune di Firenze.

## BIBLIOGRAFIA

- Certini G., Scalenghe R., 2015 - *Holocene as Anthropocene*. Science, 349 (6245): 246. <https://doi.org/10.1126/science.349.6245.246-a>
- Crutzen P., 2002 - *Geology of mankind*. Nature, 415 (23). <https://doi.org/10.1038/415023a>
- Crutzen P.J., Stoermer E.F., 2000 - IGBP Newsletter, 41 (Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm).
- Diamond J., 1997 - *Armi, acciaio e malattie. Breve storia del mondo negli ultimi tredicimila anni*. Einaudi, Torino, XI; 366 pp. ISBN 88-06-15619-5.
- McPherson E.G., Simpson J.R., Peper P.J., Maco S.E., Xiao Q., 2005 - *Municipal forest benefits and costs in five U.S. cities*. Journal of Forestry, 103 (8): 411-416.
- Ruddiman W.F., Fuller D.Q., Kutzbach J.E., Tzedakis P.C., Kaplan J.O., Ellis E.C., Vavrus S.J., Roberts C.N., Fyfe R., He F., Lemmen C., Woodbridge J., 2016 - *Late Holocene climate: Natural or anthropogenic?* Reviews of Geophysics, 54 (1): 93-118. <https://doi.org/10.1002/2015RG000503>
- Stephan R.M., Mohtar R.H., Daher B., Irujo A.E., Hillers A., Ganter J.C., Karlberg L., Martin L., Nairizi S., Rodriguez D.J., Sarni, W., 2018 - *Water-energy-food nexus: A platform for implementing the Sustainable Development Goals*. Water International, 43 (3): 472-479. <https://doi.org/10.1080/02508060.2018.1446581>
- Sukhwani V., Shaw R., Deshkar S., Mitra B.K., Yan W., 2020 - *Role of Smart Cities in Optimizing Water-Energy-Food Nexus: Opportunities in Nagpur, India*. Smart Cities, 3 (4): 1266-1292. <https://doi.org/10.3390/smartcities3040062>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019 - *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (ST/ESA/SER.A/420). New York, United Nations.
- UN-HABITAT, 2020 - *World Cities Report 2020. The value of sustainable urbanization*. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), Nairobi, Kenya, XXXVII; 377 pp. ISBN 978-92-1-132872-1.

---

Mariella Zoppi<sup>1</sup>

## Firenze fra parchi, giardini e viali alberati

Fino al 1864, Firenze aveva orti entro le mura e una campagna coltivata che arrivava fino alle colline. Una situazione che, sia pure con inevitabili aggiunte e cambiamenti, non era sostanzialmente mutata nella sua struttura e nella sua configurazione da quella descritta dal Boccaccio nel suo *Decamerone*.

È con il Piano per Firenze Capitale, redatto da Giuseppe Poggi, che si definisce il volto moderno di Firenze: gli orti interni vengono saturati (c'è fame di case), ma viene creata qualche area-giardino come Piazza d'Azeglio; le Mura arnofiane vengono abbattute e al loro posto prendono forma i viali, disegnati alla maniera dei boulevard parigini, che fanno da raccordo fra la città antica e le nuove espansioni edilizie organizzate su una maglia regolare e intervallate da piazze-giardino (Savonarola, della Vittoria ecc.).

Il sistema dei viali cambia radicalmente l'immagine della città: al posto delle forti murature difensive vengono piantati grandi alberi, selezionati per la loro resistenza e longevità, e messi a dimora diversificandoli per tratti sia per ragioni estetiche (evitare la monotonia) sia per scongiurare che eventuali malattie di una specie potessero compromettere l'intero sistema. Sui viali si innestano interessanti giardini come quello del Vascone alla Fortezza da Basso o dell'Isola dei Morti del Cimitero degli Inglesi, che convivono con parchi più antichi come le Cascine, definitivamente consacrate al passeggio pubblico, che creano una continuità di verde lungo il percorso dell'Arno.

Delle Mura non resta nulla: qualche lacerto segnato dalle antiche Porte, intorno alle quali sorgono piazze che distinguono i diversi tronchi dei viali e che, attraverso i due Parterre della Libertà e di Piazza Beccaria consentono la vista sulle colline di Fiesole e su quella di San Miniato al Monte. Quest'ultima, oggi, non più esistente per le edificazioni che si sono

---

1. Professore emerito di Architettura del paesaggio dell'Università di Firenze.

succedute saturando l'intera area: la Casa del Balilla, prima, e l'Archivio di Stato, poi.

Lo scenario cambia completamente nell'Oltrarno dove le Mura sono demolite in minor misura e il percorso dei viali assume un andamento sinuoso che si inoltra nelle colline e trova il suo apice fra San Miniato al Monte e il Piazzale Michelangelo. Il Viale dei Colli, pur continuando idealmente a fare da cornice alberata alla città, ha una storia a sé: è un parco dall'andamento allungato, organizzato intorno ad un percorso carrabile, che indugia fra giardini pubblici e le ville che vi vengono costruite anche per finanziare la realizzazione dell'opera. Il percorso, progettato come una "passeggiata" di oltre cinque chilometri, è descritto minuziosamente dallo stesso Giuseppe Poggi nel VII capitolo "Dei viali e delle piazze" del suo volume "Sui lavori



Boboli. Bacino di Nettuno.

di Firenze" (1864-1877) che ne illustra non solo il tracciato, ma anche gli accorgimenti tecnici (es. l'approvvigionamento idrico per la manutenzione dei giardini lungo il percorso), le sistemazioni paesaggistiche, gli arredi e la scelta delle alberature. Ai lati del viale non mancano i giardini come quelli del Bobolino, disposti su tre tornanti del viale, che all'origine erano parte del Parco di divertimenti "Tivoli" e ospitavano gazebi e chalet per la musica, il gioco e il ballo. Al ricordo è dedicato il Parco della Rimembranza segnato dal verde scuro dei cipressi e dal cippo in memoria dei caduti, simboleggiati dagli alberi. Un tema ripreso anche nel prato in discesa fra San Miniato e San Salvatore.

La città sembra lontana dal percorso del Viale dei Colli e il suo panorama compare solo in un breve tratto, appena prima della scalinata di San Miniato. Poco dopo, però, si apre, in tutta la sua bellezza, al piazzale Michelangelo concepito come un grande bastione panoramico su Firenze. Il Piazzale è al centro di un mondo di percorsi e giardini: la ripida scalinata del Monte alle Croci, le Rampe, il giardino dell'Iris e quello delle Rose in cui i fiori si mescolano alle statue di Jean-Michel Folon e che, alla fine di un percorso in discesa, offre un inaspettato giardino giapponese, regalo della città di Kyoto gemellata con Firenze.

A Giuseppe Poggi si devono anche molti dei giardini attualmente aperti al pubblico che, una volta, erano parte di residenze nobiliari come Villa Favard a Rovezzano, Villa il Ventaglio e Villa Strozzi al Boschetto. Fra committenza pubblica e interventi realizzati per privati si può dire che



San Miniato dal Viale dei Colli.

Poggi abbia disegnato il volto verde di Firenze per come è durato fino agli inizi del XXI secolo. Il piano per la Capitale ha avuto, dunque, una lunga vita, nonostante che l'avventura di Firenze capitale d'Italia sia durata meno di sei anni. I lavori, anche se con qualche decurtazione, proseguono e si concludono secondo il programma prestabilito, anche dopo che le attività e le persone per cui erano stati pensati si erano trasferite a Roma.

Firenze riesce a proseguire i suoi programmi, calibrando la sua espansione sul Piano Poggi e, con un'integrazione fra il 1917 e il 1924, definisce la sua zona produttiva nell'area di Novoli. La nuova zona industriale è circondata da aree agricole che forniscono ortaggi e frutta per il mercato locale. Più in

alto prosegue il colossale lavoro di rimboschimento di Monte Morello voluto dal deputato socialista Giuseppe Pescetti. Tanto basta. Il verde è soprattutto fuori, nei campi che circondano la città.

Le esigenze cambiano dopo la seconda guerra mondiale, quando Firenze si trova a far fronte alla prima ondata migratoria che interessa prevalentemente i territori toscani della montagna e della collina: contadini e mezzadri che diventano operai nelle fabbriche di città. Costruire case diventa una priorità: nascono le case minime, il quartiere dell'Isolotto, poi con il PRG del 1958 si aprono gli argini ad un'edificazione intensiva senza qualità. Novoli è un quartiere popolare con fabbricati alti e ammassati, Campo di Marte, più benestante, ha qualche striscia di verde qua e là, mentre comincia l'aggressione delle parti esterne di pianura, ad ovest, ad est e a sud-est, dove fa scalpore la proposta della Grande Sorgane che viene in parte fermata.

Di verde se ne parla poco, anzi si fatica a non fare fabbricare sulle colline dove gli olivi sono ormai solo un abbellimento delle ville. Il PRG del 1962 mette ordine in questa situazione magmatica e affamata di nuove costruzioni, e protegge le colline con un indice di fabbricabilità estremamente basso (zona a vincolo agricolo-panoramico) e prevede 12 m<sup>2</sup> per abitante di aree da destinare ad attrezzature pubbliche fra cui il verde attrezzato e sportivo. È un'anticipazione di quello che sarà, pochi anni dopo il DM 2 aprile 1968 sugli standard urbanistici, che di aree pubbliche ne prevedrà 18 m<sup>2</sup> per abitante. Ci vorranno molti anni e molte crisi del governo della città, con tanto di Commissari prefettizi, per poter adeguare almeno il PRG alle indicazioni ministeriali, peraltro aumentate dalla Regione Toscana nel 1973. Anche se le leggi ci sono, grandi cambiamenti non se ne registrano: qualche campetto sportivo viene realizzato qua e là, qualche giardino pubblico sorge fra le case o sulle prime pendici collinari, ma un sistema di verde non viene previsto, né tantomeno attuato.

La grande chance di Firenze restano i giardini storici, molti dei quali essendo monumentali (es. Boboli e le Ville medicee) non possono essere usati come attrezzature per il tempo libero, ma che comunque ci sono, hanno una buona manutenzione e permettono al centro storico di "respirare". Più accessibili alla popolazione sono i parchi di fine Ottocento, sulle prime pendici collinari, alcuni dei quali costituiscono, per la loro contiguità, piccoli sistemi verdi come quello composto dal Giardino dell'Orticoltura, da Villa Fabbricotti e da Villa Stibbert e dagli oliveti che li collegano, e che costituiscono la "boccata d'aria" della città a nord-est.

Dalla parte opposta di Firenze, Villa il Ventaglio e Villa Favard a Rovezzano restituiscono a un fitto tessuto urbano un po' di verde, mentre di là d'Arno, Villa Strozzi al Boschetto, salvata dalla speculazione degli anni '70, disegna una suggestiva area collinare fra San Frediano, il vecchio quartiere del Pignone e l'Isolotto. C'è sempre una grande attesa per le Grandi Cascine e il parco fluviale dell'Arno, per cui si fanno progetti, ma si fa fatica a passare ad una fase più concreta di intervento.



Parco delle Cascine da Ponte alla Vittoria.

La Firenze degli ultimi decenni del Novecento, inoltre, non sa cogliere le occasioni offerte dalla sostituzione di vecchie fabbriche che dall'interno del tessuto urbano si spostano verso comuni della cintura. Il processo inizia con la Galileo a Rifredi, ma il suo allontanamento non porta alcun beneficio in termini di aree libere alla città; seguono altri trasferimenti come quello della Longinotti a Gavinana che lascia il posto ad un complesso commerciale con una vasta piazza lastricata, mentre sull'area Carapelli a Novoli viene costruito il palazzo di Giustizia. Si arriva così alla grande operazione sull'area Fiat, alla creazione del nuovo quartiere di San Donato dal "cuore verde". Qui gli standard sono rispettati, ma il progetto del parco, forse anche a causa del parcheggio sotterraneo, non è pari alle attese sperate: l'unica realizzazione di verde del dopoguerra poteva essere più gradevole, più fruibile e, magari, con qualche albero in più.

Con il nuovo Millennio, il volto di Firenze sta cambiando in relazione al grande piano tranviario: ottima l'idea di disporre di un tipo di spostamento rapido e meno inquinante ma, certo, meno felice quello di averlo collocato negli unici spazi viari che avevano maggiori dimensioni solo perché rispondevano alla tipologia del "viale alberato". Tranvia e vie alberate si



sovrappongono, coincidono. Non è stato risparmiato neppure il tratto finale del viale centrale delle Cascine e il percorso dei viali fra la Fortezza da Basso e l'Arno è ormai del tutto irriconoscibile, anche se qualche albero è stato ripiantato, l'immagine è del tutto alterata. Le grandi chiome ombrose sono incompatibili con le strutture che alimentano le linee e le fasce interessate dai binari hanno segnato aree vuote, cancellando il ricordo della fisionomia



Parco San Donato.

ottocentesca. In questa considerazione, non vuol esserci nulla di nostalgico o passatista, in quanto tutto cambia e si deve andare avanti con mezzi di trasporto più adeguati ai tempi: nessuna obiezione in o di merito, dunque. Ma, ci si domanda, non c'era proprio nessun'altra soluzione? E si doveva proprio intervenire così pesantemente sui corridoi verdi esistenti tanto preziosi all'interno della città? Il quesito non è retorico in quanto Firenze sta decidendo sullo sviluppo dei tracciati delle nuove linee verso Campo di Marte e Bagno a Ripoli e sarebbe davvero un peccato se anche queste coincidessero con i restanti viali alberati che, per Firenze, costituiscono una risorsa ambientale preziosa e una componente estetica da non trascurare.

Federico G. Maetzke<sup>1</sup>

## Se Morello ha il cappello... Boschi e rimboschimenti di Monte Morello

“Se Morello ha il cappello...” recita un vecchio detto fiorentino, “fiorentin prendi l’ombrello”. E dunque i fiorentini, inurbati in una città tutto sommato piccola ma con tanti paesaggi notevoli nei dintorni, uno sguardo al Monte che a nord est protegge la piana lo hanno sempre dato, uscendo di casa, dalle terrazze e dai viali. Uno sguardo distratto a volte, spesso affettuoso, soddisfatto di questa presenza, che avvolta nelle nuvole presagisce perturbazioni, illuminata dal sole mostra il suo mantello verde scuro, striato e colorato di bruno nelle stagioni fredde. Per Firenze, Monte Morello è la realtà di bosco più vicina e allo stesso tempo più vera ed estesa, a differenza dei nuclei di verde di una piana ormai troppo frammentata nei vari usi e consumi del suolo. E tutto sommato così prossima all’abitato da esser il “fuoriporta” più frequentato nei momenti liberi brevi. Ché basta un quarto o al massimo mezz’ora d’ora di auto per raggiungere la strada panoramica che sovrasta la città e la svela in tutti i suoi aspetti, fino a spaziare dal Pratomagno verso Prato e i rilievi del Montalbano e, al suo fianco, della Calvana. E i suoi boschi, ormai consolidati nel paesaggio della città, fruiti in vari aspetti, percorsi da sentieri e da strade, da amanti del trekking in allenamento e in semplici passeggiate, sono il carattere più forte che contrassegna l’area. Del resto, come rivela uno studio sulla percezione sociale della gestione forestale, recentemente svolto proprio in questi boschi (Paletto *et al.*, 2018) la maggior parte dei frequentatori di questo rilievo vi ritorna più di 50 volte all’anno, e soprattutto per relax e brevi escursioni. E nel nostro immaginario la montagna ha un aspetto, genera un paesaggio sicuramente consolidato. Eppure così non era per i nostri nonni o, per i più giovani, bisnonni. Come ampiamente documentato (Gei *et al.*, 2016; Gabrielli, 2000), all’inizio

---

1. Università degli Studi di Palermo.



del secolo scorso il monte appariva perlopiù denudato e pressoché privo di una copertura arborea continua. Eppure, nei secoli precedenti doveva aver ospitato una vegetazione forestale articolata e continua. Lo riporta il Repetti (1839) quando dice che la fabbrica degli Uffizi e altre costruzioni fiorentine del rinascimento e dei secoli successivi si erano basate sul legname di abete proveniente (anche, n.d.a.) dalla sommità del Monte Morello: “La sommità del Monte Morello, che fu già da gran tempo spogliata di alberi, era vestita ai tempi della Repubblica Fiorentina di annosi abeti, i quali furono in gran parte atterrati sotto il governo di Cosimo I per fare la travatura alle tettoje della grandiosa fabbrica Regia degli Uffizi di Firenze”, e che definisce “sino alla metà del XI secolo vestito intorno alla sommità di abeti e altre piante silvestri”. Inoltre le pendici sestesi, di proprietà dei marchesi Ginori, erano coperte da cedui di querce regolarmente a regime, anzi sovra sfruttate per alimentare le fornaci della nota e omonima fabbrica di porcellane. E anche questa è stata una causa del depauperamento delle pendici del nostro monte, dati i prelievi con turni brevissimi di 6-8 anni per produrre rapidamente legna da ardere. Cedui, in parte lasciati all’evoluzione naturale, che ancora oggi hanno accrescimenti limitati e copertura a tratti discontinua, anche per l’acclività e la superficialità del suolo delle pendici su cui vegetano. Infine, che la copertura forestale fosse diffusa su questo rilievo lo conferma il toponimo “gualdo” del versante sestese, ben noto dalla radice germanica *wald* (o *waldum*), bosco di proprietà nobiliare.

In breve, come scrissi già nel 2002 e 2016, “gran parte delle pendici e le parti apicali di Monte Morello apparivano alla fine dell’800 prevalentemente nude o scarsamente coperte da boschi impoveriti nella composizione e nella struttura, luogo di gravi fenomeni erosivi, tali da causare frequenti esondazioni dei torrenti e notevoli dissesti a valle. Inoltre, in assenza della protezione assicurata dal bosco, il poco suolo evolutosi dai calcari marnosi con la lenta opera delle piante forestali, la loro deposizione di lettiera e i conseguenti processi di umificazione, veniva rapidamente dilavato lasciando roccia quasi nuda, accumulandosi a valle. Il dissesto idrogeologico in atto divenne sempre più evidente, sollevando non poche preoccupazioni, tra cui son da citare gli interventi vibrati del Club Alpino di Firenze” (Maetzke, in Gei *et al.*, 2016 op.cit.).

Le campagne di rimboschimento (a parte tentativi sporadici e localizzati già attuati dai marchesi Ginori all’inizio dell’800), furono iniziate su impulso del sindaco di Sesto già nel 1897, ma non ebbero inizialmente successo, per la scelta delle specie e delle tecniche d’impianto, anzi si rivelarono fallimen-

tari<sup>2</sup>. Soprattutto il tentativo di reintrodurre elementi della copertura arborea tardo-successionale precedente, come querce e altre latifoglie, si dimostrò inutile, date le condizioni eco-pedologiche delle pendici (Cotta, 1915, a e b). In seguito e in più riprese furono adottate soprattutto conifere dal carattere pioniero, per circa il 78% del totale posto a dimora, e i rimboschimenti furono estesi su gran parte del monte, nel complesso su oltre 1000 ettari, con un successo elevato, così come oggi lo si può verificare.

Dunque la copertura attuale di Monte Morello è edificata, nelle parti prese in considerazione, da popolamenti di origine artificiale (Bernetti, 1962; Gabrielli, 2000), ovvero completamente pensati e realizzati dall'uomo. E ciò fu fatto per consentire, in tempi più brevi e relativamente più certi, di ricostituire un manto forestale ormai scomparso da tempo. Appunto si impiegarono conifere, proprio per iniziare quel processo di colonizzazione e ricostituzione del suolo, al tempo eroso e incapace di sostenere lo sviluppo di consorzi di specie più esigenti. E, come si dimostra, questo grande sforzo economico, sociale e di fatica umana ebbe successo.

Il problema che si pose in seguito fu la mancata esecuzione della necessaria azione di cura colturale, di diradamenti e interventi che guidassero questi soprassuoli verso densità via via adeguate alle dimensioni raggiunte e ne consentissero l'armonico sviluppo. In assenza di colturalità i soprassuoli si accrebbero eccessivamente densi, con piante filate, più prone alle avversità climatiche e biologiche. Il risultato di tale carenza è oggi ben visibile soprattutto nella struttura dei consorzi di pino nero. Qui, infatti, si notano sia l'eccessiva densità sia l'effetto di questa. I rapporti ipsodiametrici<sup>3</sup> degli individui di pino sono sempre eccessivi, numerose se non tutte le piante hanno chioma asimmetrica e ridotta alla porzione superiore, spesso clorotica. Numerosi sono anche gli schianti, gli sradicamenti e i morti in piedi, molte le piante con la chioma ridotta e rarefatta, in specie a seguito degli eventi meteorologici degli ultimi anni. Sotto il denso piano delle conifere si insediano frequentemente latifoglie autoctone, che spesso edificano novelletti e tratti di perticaia. Tuttavia tale ingresso non è diffuso in tutte le particelle, né costituisce ancora ovunque un piano di sicura successione, pertanto questa dinamica evolutiva necessita di guida e cura colturale.

2. Per maggiori approfondimenti, si veda Maetzke "3. Storia, caratteri ed evoluzione dei boschi e dei rimboschimenti di Monte Morello e della Calvana", in Gei *et al.*, 2016, Accademia Italiana di Scienze Forestali.

3. Il rapporto tra diametro e altezza di un albero, che diviene, oltre certi limiti, indicatore di scarsa resistenza meccanica a sollecitazioni meteoriche.

La specie più diffusa è sicuramente l'orniello, grazie alla sua capacità di sopravvivere e affermarsi lentamente anche in condizioni di luce ridotta e severa concorrenza laterale; alle quote inferiori il leccio tende a mostrare un comportamento analogo, ancorché sia più difficile che superi la concorrenza dei nuclei più folti di arbustive. Il carpino nero si afferma talora vigorosamente in alcuni ambiti e parimenti la roverella: entrambe le specie, nei rispettivi ambiti tendono a affermarsi con un *pattern* di individui singoli. Un quadro promettente ma non ancora affermato, un fenomeno di successione secondaria che si compirà in tempi medio lunghi.

Ripetutamente, negli anni successivi al 2000, a conferma di una tendenza ormai chiara verso cambiamenti climatici importanti, si sono verificati periodi di siccità prolungata e forti temperature medie estive. Ad esse si sono aggiunti periodi di scarsa precipitazione autunno invernale e un diverso andamento del regime di distribuzione delle piogge, spesso intense e concentrate. Una verifica dei dati delle stazioni del bacino fiorentino prova quanto questi fenomeni siano stati importanti nell'ultimo decennio. L'effetto della siccità prolungata e ripetuta ha causato la morte di interi nuclei di conifere, colpendo soprattutto le pinete di pino nero e i rimboschimenti di cedro posti sul versante occidentale e su quelli limitrofi del rilievo. Ciò è evidente anche all'osservazione dalla strada panoramica dei Colli Alti. Si sono moltiplicati i fenomeni di schianto e rottura, le cadute di interi individui morti in piedi a seguito di colpi di vento o accumulo di coltre nevosa, sia pur breve, negli occasionali eventi di neve pesante. Si sono aperte così piccole buche in cui spesso s'insedia il rovo che sale sui tronchi spezzati e inclinati in grovigli folti e inestricabili. Inoltre gli stress indotti hanno favorito l'insediarsi di parassiti fungini a carico delle conifere debilitate.

L'accumulo eccezionale di necromassa a terra, di lenta decomposizione e caotica disposizione, insieme alla folta coltre di rovo e di materiale morto di piccole dimensioni, comporta un notevole innalzamento del rischio d'incendio. Quest'ultimo, oltre a trovare abbondante combustibile a terra, potrebbe facilmente passare in chioma, trovando ulteriore materiale facilmente infiammabile per il ridotto contenuto idrico degli aghi delle chiome ingiallite. Una situazione non tollerabile, sia pur considerando la scarsità di eventi fin'ora verificatisi, anche per le notevoli pendenze dei versanti, l'estensione delle superfici coperte da conifere, il loro inframezzarsi ai tratti di ceduo, anch'essi spesso ricchi di necromassa.

Se si considera infine il ruolo sociale che i soprassuoli di Monte Morello svolgono e l'elevata frequentazione che caratterizza questi ambiti, si rende

indispensabile e improcrastinabile mettere in sicurezza sia le aree prossime a piste e sentieri, sia anche l'interno dei soprassuoli, spesso meta di cercatori di funghi, appassionati di natura e semplici turisti.

Occorre mettere in sicurezza questi soprassuoli di conifere, migliorare i cedui con le opportune cure colturali, guidarli verso forme più stabili e efficienti, sia sotto il profilo ecologico, sia sotto quello estetico, di gradevolezza del paesaggio, favorire l'affermazione della copertura di latifoglie, in breve la rinaturalizzazione di questi popolamenti.

Per quanto riguarda la componente di conifere, appunto, si nota che molte tra quelle rimaste mostrano ancora segni di stress, chioma ridotta e fusti esili, se ne consiglia pertanto il monitoraggio continuo, onde prevenire problemi di stabilità. Occorre infatti prendere atto che la situazione, per quanto riguarda in specie i pini, è critica e deve essere seguita e fronteggiata, evitando di ripetere l'errore dell'abbandono colturale. Queste formazioni sono d'origine artificiale, hanno subito traumi e versano in stato di deperimento, quindi, per evitare catastrofi occorre continuare l'opera colturale di guida dei processi di rinaturalizzazione, combattere riducendo le opportunità, la diffusione di patologie fungine e l'accumulo di necromassa suscettibile d'incendio.

E infine, occorre anche continuare un'azione di sensibilizzazione all'uso del territorio, non solo sui proprietari, pubblici o privati che siano, ma segnatamente sui fruitori, che sappiano apprezzare questi boschi periurbani, comprendere l'esigenza e l'importanza delle opere colturali e sostenerle anche nel dialogo con le autorità. E soprattutto sappiano comprendere che il paesaggio, i boschi che ammirano e sentono giustamente propri, sono entità viventi, in continua evoluzione, sicché la vista del monte nudo dei nostri predecessori, il verde scuro dei rimboschimenti di oggi, potrà assumere domani un diverso assetto, con coperture più stabili e funzionali, forse colori e forme non attese, ma resterà sempre "il bosco alle porte di casa".

#### BIBLIOGRAFIA

- Bernetti G., 1962 - *Osservazioni sull'influenza della vegetazione sul terreno nei rimboschimenti di Monte Morello*. Atti del Congresso Nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati, Firenze 12-15 aprile 1961. Vol. II - Comunicazioni e interventi, pp. 99-110.
- Cotta A., 1915a - *I rimboschimenti di Monte Morello*. L'Alpe, n. 7-8, serie II, anno 1.
- Cotta A., 1915b - *I rimboschimenti di Monte Morello*. L'Alpe, n. 9, serie II, anno 1.
- Gabrielli A., 2000 - *Cenni storici sulle trasformazioni del paesaggio forestale di Monte*

- Morello*. Piano di gestione e rinaturalizzazione dei rimboschimenti di Monte Morello, Provincia di Firenze. Accademia Italiana di Scienze Forestali.
- Gei F., Fastelli D., Gestri G., Maetzke F.G., Peruzzi L., 2016 - *Calvana e Monte Morello: due rilievi a confronto*. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze. ISBN: 978-88-87553-22-2.
- Paletto A., De Meo I., Cantiani P., Guerrini S., Lagomarsino A., 2018 - *Percezione sociale della gestione forestale: il caso della foresta peri-urbana di Monte Morello in provincia di Firenze*. *Forest@*, 15: 29-39. <https://doi.org/10.3832/efor2769-015> [online 2018-04-30].
- Repetti E., 1839 - *Dizionario Geografico Fisico Storico della Toscana*. Vol III. Tofani, Firenze.

Francesca Bottalico<sup>1</sup>, Susanna Nocentini<sup>1</sup>  
Fabio Salbitano<sup>1</sup>, Davide Travaglini<sup>1</sup>

## La carta della foresta urbana del Comune di Firenze

La carta della foresta urbana del Comune di Firenze è stata realizzata tramite fotointerpretazione in ambiente GIS e controlli a terra. A tal fine sono state utilizzate la Carta di Uso e Copertura del Suolo in scala 1:10.000 della Regione Toscana e le ortofoto digitali con risoluzione spaziale di 0,5 m, entrambi riferite all'anno 2013 e disponibili *online*. La Carta di Uso e Copertura del Suolo è stata acquisita dal portale Cartoteca di Regione Toscana, le ortofoto digitali sono state consultate tramite servizio WMS di Regione Toscana.

La Carta di Uso e Copertura del Suolo adotta il sistema di classificazione *Corine Land Cover*, con un dettaglio tematico per le zone boscate fino al III livello: boschi di latifoglie; boschi di conifere; boschi misti di conifere e latifoglie. La unità minima cartografabile è di 0,5 ettari, ma per le zone boscate è di 0,2 ettari, conformemente alla definizione di bosco della legge forestale della Toscana (L.R. 39/2000), che considera bosco le aree di estensione non inferiore a 2000 m<sup>2</sup> e di larghezza maggiore a 20 m con un grado di copertura delle chiome pari ad almeno il 20%. I boschi puri sono distinti dai boschi misti in base a una soglia del grado di copertura arborea del 75%.

Dalla Carta di Uso e Copertura del Suolo sono state estratte le classi Aree verdi (141), Boschi di latifoglie (311), Boschi di conifere (312), Boschi misti di conifere e latifoglie (313), Vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione (324).

La carta della foresta urbana del Comune di Firenze è stata realizzata utilizzando la definizione di bosco della FAO: aree di estensione non inferiore a 5000 m<sup>2</sup> e di larghezza maggiore a 20 m con un grado di copertura delle

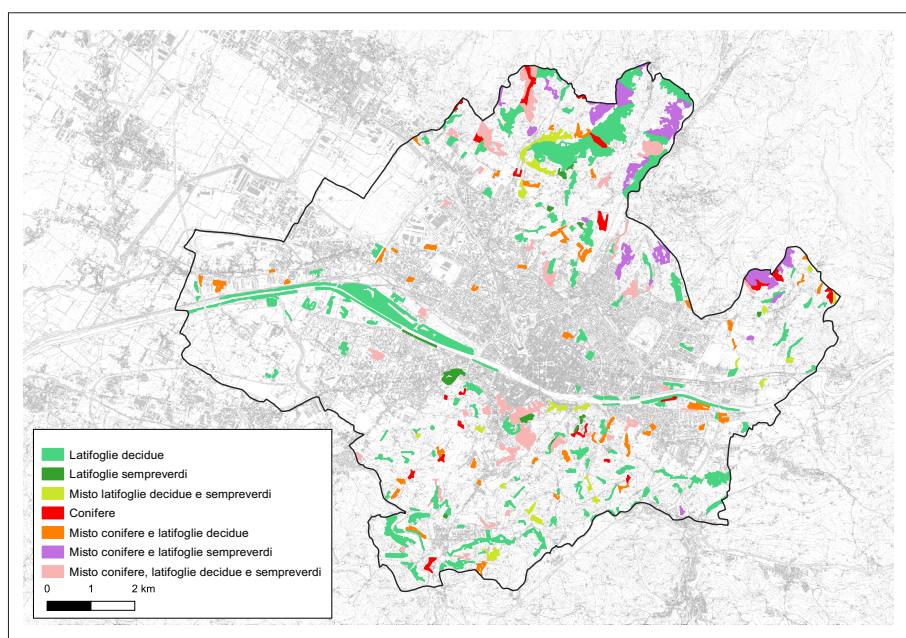
---

1. Università degli Studi di Firenze.

chiome pari ad almeno il 10%. La mappa è stata prodotta sulla base della fotointerpretazione delle ortofoto digitali e con controlli a terra, adottando un sistema di classificazione composto da sette classi: Conifere; Latifoglie decidue; Latifoglie sempreverdi; Misto conifere, latifoglie decidue e sempreverdi; Misto latifoglie decidue e sempreverdi; Misto conifere e latifoglie decidue; Misto conifere e latifoglie sempreverdi. Le classi miste sono state distinte dalle classi pure quando le singole classi non superavano la soglia del 75% del grado di copertura totale esercitato dalle chiome. È stata ipotizzata una ripartizione del grado di copertura delle chiome del 50% per i boschi misti composti da due classi e del 33% per i boschi misti composti da tre classi.

La scelta di classificare la foresta urbana del Comune di Firenze nel sistema di classificazione a sette classi descritto sopra, è funzionale a valutare la potenzialità della foresta di rimuovere gli inquinanti aerei in ambiente urbano, come descritto più avanti nel capitolo 5.

La distribuzione della foresta urbana nel Comune di Firenze è riportata in Figura 1. La maggior parte della foresta urbana è situata a nord delle aree urbanizzate, alla base delle pendici di Monte Morello, tra Serpiolle e Trespiano e a sud, nelle campagne tra Scandicci, il Galluzzo e Ponte a Ema. All'interno del centro abitato, escluso il Parco delle Cascine, le aree



*Figura 1* - Distribuzione della foresta urbana nel Comune di Firenze.



Tabella 1 - Superficie in ettari della foresta urbana nel Comune di Firenze.

CLASSE	DECODIFICA	ETTARI	%
1	Conifere	54,3	5,1
2	Latifoglie decidue	580,3	54,5
3	Latifoglie sempreverdi	24,9	2,3
4	Misto conifere, latifoglie decidue e sempreverdi	151,8	14,3
5	Misto latifoglie decidue e sempreverdi	52,5	4,9
6	Misto conifere e latifoglie decidue	75,4	7,1
7	Misto conifere e latifoglie sempreverdi	125,0	11,7
Totale		1064,2	100,0

con vegetazione arborea (foresta urbana) sono limitate e occupano piccole superfici all'interno di piazze e giardini.

La superficie complessiva della foresta urbana è di 1064 ettari, che corrisponde al 10,4% della superficie del Comune di Firenze. Le formazioni più estese sono i soprassuoli di latifoglie decidue, che coprono una superficie di 580 ettari, pari al 55% della superficie totale della foresta urbana. Seguono, per ordine di estensione, i soprassuoli misti di conifere, le latifoglie decidue e sempreverdi, i soprassuoli misti di conifere e latifoglie sempreverdi e i soprassuoli misti di conifere e latifoglie decidue (Tabella 1).

Le formazioni arboree inserite nel tessuto urbano fiorentino presentano una composizione estremamente variegata. Sono state segnalate 228 differenti specie arboree che includono specie rare presenti nei giardini storici e negli orti botanici (Bussotti *et al.*, 1986). Di queste si stima che 115 specie (70 introdotte e 45 indigene) sono presenti in numero significativo nei parchi e negli spazi verdi cittadini (Pauleit *et al.*, 2005). Tra le conifere sono frequenti il pino domestico (*Pinus pinea* L.), il cipresso (*Cupressus sempervirens* L.) e varie specie di cedro; tra le latifoglie decidue sono comuni il tiglio (*Tilia platyphyllos* Scop.), il bagolaro (*Celtis australis* L.), il platano (*Platanus* spp.), il pioppo (*Populus nigra* var. *italica*, *Populus alba* L.), l'acero (*Acer* spp.), il frassino meridionale (*Fraxinus oxycarpa* Vahl) e la robinia (*Robinia pseudoacacia* L.); tra le latifoglie sempreverdi il leccio (*Quercus ilex* L.) è la specie più diffusa.

Nelle aree di pianura, in maggior parte modificate dalla diffusione degli insediamenti urbani e industriali e dall'agricoltura, le specie arboree naturalmente presenti sono la farnia (*Quercus robur* L.), il frassino meridionale, l'ontano (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn), i salici (*Salix* spp.), il carpino bianco (*Carpinus betulus*), l'olmo campestre (*Ulmus minor* Mill.) e l'acero campestre (*Acer campestre* L.).



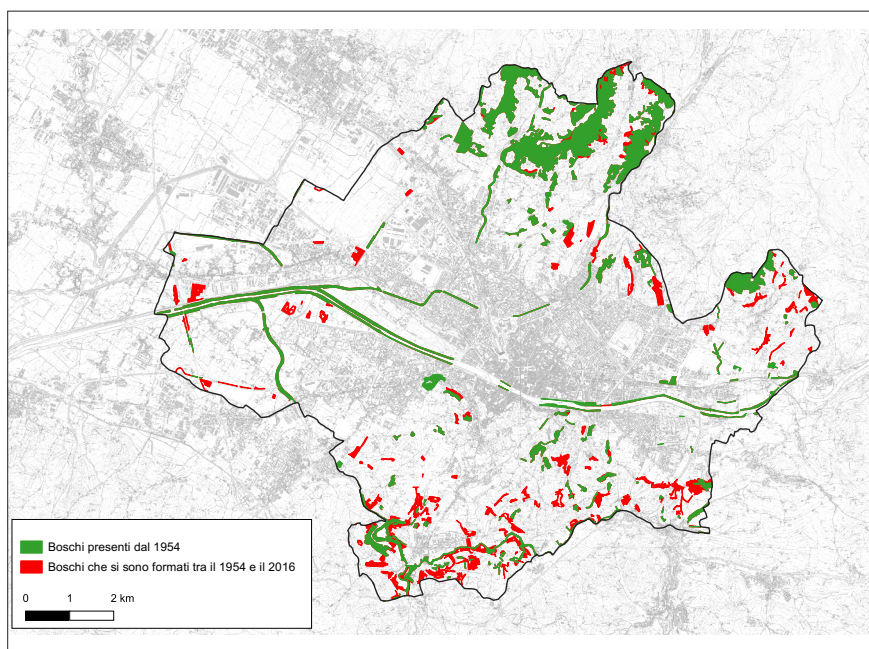
Sui rilievi collinari si trovano soprassuoli di latifoglie a prevalenza di specie quercine, cerro (*Quercus cerris* L.) e roverella (*Quercus pubescens* Willd.), mescolati con altre caducifoglie quali carpino nero (*Ostrya carpinifolia* Scop.) e orniello (*Fraxinus ornus* L.) e in alcuni casi il leccio. Sono inoltre presenti soprassuoli di conifere di origine artificiale composti da cipresso e pino domestico caratterizzati da vari livelli di mescolanza con il leccio e le latifoglie decidue. Le aree agricole abbandonate da più tempo sono state progressivamente colonizzate da boschi di neoformazione a composizione mista.

#### BIBLIOGRAFIA

- Bussotti F., Cavaicci L., De Carolis A., De Luca L., Ristori T., Sanesi G., 1986 - *Guida agli alberi di Firenze*. Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali della Provincia di Firenze.
- Pauleit S., Jones N., Nyhuus S., Pirnat J., Salbitano F., 2005 - *Urban forest resources in european cities*. In: Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B., Schipperijn, J. (Eds.), *Urban Forests and Trees*. Springer Berlin, Heidelberg, New York, pp. 49-80.

### Espansione del bosco nel Comune di Firenze tra il 1954 e il 2016

Utilizzando la versione più recente della Carta di Uso e Copertura del Suolo in scala 1:10.000 della Regione Toscana è stato possibile eseguire una analisi che mostra l'espansione delle superfici boscate nel Comune di Firenze tra il 1954 e il 2016. Per eseguire tale confronto sono state prese in esame le superfici relative ai boschi di conifere, ai boschi di latifoglie, ai boschi misti di conifere e latifoglie, alla vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione. Nel 1954 la superficie boscata era di 648 ettari. Nell'arco di circa 60 anni tale superficie è aumentata di 266 ettari, facendo registrare in incremento del 35%. I boschi già presenti alla data del 1954 sono rimasti tali e corrispondono al 78% delle attuali formazioni boschive. In particolare, da questa analisi si evidenzia come i boschi abbiano occupato in larga parte aree a seminativo (171 ettari) e altre superfici agricole non più utilizzate (95 ettari) e abbandonate nelle campagne circostanti il centro cittadino. La distribuzione geografica dell'aumento della superficie boscata tra il 1954 e il 2016 è riportata nella Figura presentata qui sotto, dalla quale si osserva che le nuove formazioni boschive sono distribuite per lo più a sud dell'Arno, nelle campagne situate tra Scandicci, il Galluzzo e Bagno a Ripoli, e a nord tra Settignano e Maiano.





Francesca Bottalico<sup>1</sup>, Gherardo Chirici<sup>1</sup>  
Francesca Giannetti<sup>1</sup>, Susanna Nocentini<sup>1</sup>  
Elena Paoletti<sup>2</sup>, Fabio Salbitano<sup>1</sup>, Davide Travaglini<sup>1</sup>

## La rimozione degli inquinanti aerei da parte della foresta urbana di Firenze

Le foreste e più in generale le infrastrutture verdi in ambiente urbano e periurbano contribuiscono alla riduzione degli inquinanti atmosferici attraverso un processo di deposizione secca. Le superfici fogliari degli alberi e degli arbusti presenti nei centri abitati agiscono infatti come filtri biologici che migliorano la qualità dell'aria nelle città.

Varie indagini sono state condotte negli ultimi venti anni in diverse città del mondo con l'obiettivo di stimare la quantità di inquinanti atmosferici rimossa dalle infrastrutture verdi. Le esperienze maturate nel corso del tempo hanno portato allo sviluppo di metodi di indagine basati su modelli analitici sempre più sofisticati.

In Europa sono ancora pochi gli studi che hanno valutato la capacità delle infrastrutture verdi urbane di rimuovere le sostanze inquinanti presenti in atmosfera e solo pochi studi sono stati condotti nelle città europee del mediterraneo.

Gli studi realizzati in Italia hanno riguardato soprattutto le città di Firenze (Paoletti, 2009; Paoletti *et al.*, 2011; Bottalico *et al.*, 2016; 2017) e Roma (Manes *et al.*, 2016; Morani *et al.*, 2014; Fusaro *et al.*, 2015; Silli *et al.*, 2015; Marando *et al.*, 2016; Fares *et al.*, 2016).

Per il territorio fiorentino recenti studi (Bottalico *et al.*, 2016; 2017) hanno prodotto una stima su base cartografica della rimozione degli inquinanti aerei da parte della foresta urbana per due principali inquinanti atmosferici:

---

1. Università degli Studi di Firenze.

2. IRET-CNR, Firenze.

particolato ( $PM_{10}$ ) e ozono troposferico ( $O_3$ ). Tali inquinanti sono stati scelti in quanto sono tra i più critici in termini di esposizione a concentrazioni superiori ai livelli di riferimento dell'UE e dell'Organizzazione mondiale della sanità in Europa (EEA, 2015).

Per la stima è stato elaborato un modello cartografico di deposizione secca degli inquinanti aerei implementato con un Sistema Informativo Geografico (GIS). Il modello richiede la conoscenza di dati meteorologici, di dati inerenti la concentrazione degli inquinanti, la mappa della distribuzione spaziale delle differenti classi di copertura forestale e il relativo indice di area fogliare (LAI), cioè l'area totale delle foglie per metro quadro di superficie della chioma proiettata a terra. Per la foresta urbana del Comune di Firenze riportata nella carta descritta nel capitolo 4, il LAI è stato stimato combinando i valori misurati a terra su un campione di foreste, con le informazioni sull'altezza e la densità dei soprassuoli ottenute da dati telerilevati LiDAR<sup>3</sup> disponibili su tutto il territorio comunale (Bottalico *et al.*, 2017).

Per la modellizzazione della deposizione degli inquinanti aerei a livello fogliare sono stati utilizzati i dati meteorologici e i dati di qualità dell'area registrati a Firenze nel 2013. I dati meteorologici (temperatura oraria, umidità relativa [RH], radiazione solare [PAR] e pressione atmosferica) sono stati ottenuti dalla stazione di Peretola, i dati mensili del  $PM_{10}$  sono stati ottenuti dalle stazioni di monitoraggio Gramsci, Mosse, Boboli, Bassi, e le concentrazioni orarie di  $O_3$  sono state ottenute dalla stazione di monitoraggio di Settignano.

L'assorbimento stomatico di  $O_3$  è stato stimato applicando la procedura descritta da UNECE (2014). La stima della deposizione secca del  $PM_{10}$  è stata ottenuta applicando la metodologia descritta in altri studi (Hirabayashi *et al.*, 2012). Ai fini della modellizzazione della deposizione degli inquinanti aerei è stato ipotizzato che la stagione vegetativa fosse dal 1 aprile al 30 settembre per le latifoglie decidue e tutto l'anno per le conifere mediterranee e le latifoglie sempreverdi. La deposizione secca degli inquinanti aerei  $O_3$  e  $PM_{10}$  per ciascuna classe forestale è stata ottenuta moltiplicando la deposizione fogliare, la superficie occupata da ciascuna classe e il LAI. I valori del LAI sono stati mantenuti costanti nella stagione vegetativa per le specie decidue e durante tutto l'anno per le specie sempreverdi.

Com'era da aspettarsi, dati di LAI relativamente bassi sono stati osservati nei parchi urbani dominati da specie decidue o da conifere, dove la

3. Il LiDAR (*Light Detection And Ranging*) è un sistema di telerilevamento attivo basato su impulsi laser. Nelle applicazioni forestali, i dati LiDAR consentono di ottenere informazioni sull'altezza della copertura forestale e su altre caratteristiche delle foreste con un elevato dettaglio spaziale.

densità degli alberi è scarsa e la vegetazione del sottobosco è praticamente assente. Viceversa, valori relativamente elevati sono stati osservati nelle aree periurbane all'interno di soprassuoli misti con conifere e latifoglie decidue e sempreverdi, con presenza di uno strato arbustivo.

### *Concentrazione degli inquinanti aerei*

Nel corso dell'anno 2013, la concentrazione media del  $PM_{10}$  nelle 24 ore nelle quattro stazioni di monitoraggio è stata di  $34 \mu g m^{-3}$  (Gramsci),  $30 \mu g m^{-3}$  (Mosse) e  $20 \mu g m^{-3}$  (Boboli e Bassi). I valori massimi giornalieri del  $PM_{10}$  sono stati di  $120 \mu g m^{-3}$  (Mosse),  $105 \mu g m^{-3}$  (Gramsci),  $93 \mu g m^{-3}$  (Bassi) e  $89 \mu g m^{-3}$  (Boboli). Il numero di superamenti annuali della media giornaliera di  $50 \mu g m^{-3}$  ha superato lo standard legislativo di 35 superamenti a Mosse (46) e Gramsci (38), mentre è stato inferiore alla soglia a Boboli (18) e Bassi (17). La concentrazione media di  $O_3$  nelle 24 ore nella stazione di Settignano è stata  $55 \mu g m^{-3}$ , mentre il valore massimo orario di  $O_3$  è stato di  $173 \mu g m^{-3}$ . Gli standard legislativi per la protezione della salute umana (max 25 superamenti di  $120 \mu g m^{-3}$  come media giornaliera massima di 8 ore su tre anni) e della vegetazione da  $O_3$  ( $18000 \mu g m^{-3}$  AOT40<sup>4</sup> su cinque anni) sono stati superati entrambi nella stazione di Settignano, dove sono stati registrati 36 superamenti nel periodo 2013-2014 e valori di  $21693 \mu g m^{-3}$  AOT40 nel periodo 2010-2014.

I valori medi mensili delle concentrazioni di  $PM_{10}$  hanno mostrato un picco in dicembre ( $47 \mu g m^{-3}$ ) e gennaio ( $42 \mu g m^{-3}$ ) e valori minimi in agosto ( $18 \mu g m^{-3}$ ); viceversa i valori medi mensili delle concentrazioni di  $O_3$  hanno mostrato un andamento stagionale diverso, con un picco in luglio ( $90 \mu g m^{-3}$ ) e agosto ( $84 \mu g m^{-3}$ ) e valori minimi in dicembre ( $28 \mu g m^{-3}$ ).

### *Rimozione degli inquinanti aerei*

La rimozione annua totale di  $O_3$  e  $PM_{10}$  stimata dallo studio per l'anno 2013 è stata rispettivamente di 77,9 tonnellate e 171,3 tonnellate, con tassi di rimozione per unità di superficie ( $g/m^2$ ) per le latifoglie sempreverdi, le conifere e i soprassuoli misti di conifere e latifoglie sempreverdi superiori rispetto alle latifoglie decidue (Tabella 1). Tuttavia, le latifoglie decidue hanno fatto registrare la maggiore quantità di rimozione totale a causa della loro elevata percentuale di copertura (54,5%) nel territorio del Comune di Firenze.

4. Accumulated exposure Over Threshold of 40 ppb.

*Tabella 1* - Rimozione degli inquinanti aerei ( $O_3$  e  $PM_{10}$ ) nel 2013 ( $g/m^2$  di copertura forestale e totale in tonnellate per classe) da parte della foresta urbana del Comune di Firenze.

CLASSE FORESTALE	SUPERFICIE OCCUPATA SUL TOTALE	O <sub>3</sub>		PM <sub>10</sub>	
	%	g/m <sup>2</sup>	t	g/m <sup>2</sup>	t
Conifere	5,1	10,9	5,9	28,5	15,5
Latifoglie decidue	54,5	4,1	23,8	10,0	57,8
Latifoglie sempreverdi	2,3	16,1	4,0	27,3	6,8
Misto conifere, latifoglie decidue e sempreverdi	14,3	9,9	15,0	20,2	30,7
Misto latifoglie decidue e sempreverdi	4,9	9,1	4,8	19,2	10,1
Misto conifere e latifoglie decidue	7,2	6,1	4,6	14,3	10,8
Misto conifere e latifoglie sempreverdi	11,7	15,8	19,8	31,7	39,6
Totale	100,0	-	77,9	-	171,3

L'andamento stagionale della rimozione totale di  $PM_{10}$  e  $O_3$  per unità di superficie forestale ha mostrato un andamento diverso. Nel caso del  $PM_{10}$  è stato stimato un picco di rimozione nei mesi di dicembre ( $20 g/m^2$ ) e gennaio ( $17,8 g/m^2$ ), nel caso dell' $O_3$  i valori massimi di rimozione sono stati stimati in maggio ( $11,1 g/m^2$ ) e giugno ( $10,4 g/m^2$ ). Le classi forestali composte da conifere e latifoglie sempreverdi hanno fornito una buona rimozione degli inquinanti aerei anche nei mesi più freddi (dicembre e gennaio, in media  $4,3 g/m^2$  per  $PM_{10}$  e  $0,4 g/m^2$  per  $O_3$ ), essendo queste classi fisiologicamente attive anche nel periodo invernale.

Le foreste situate nella parte settentrionale dell'area periurbana contribuiscono maggiormente alla rimozione totale dei due inquinanti atmosferici per via della loro maggiore estensione superficiale (Figura 1).

Il miglioramento della qualità dell'aria su Firenze da parte della foresta urbana ha raggiunto valori mensili massimi del 5% per  $O_3$  e del 13% per  $PM_{10}$ . Nel corso dell'anno il miglioramento della qualità è stato rispettivamente dell'1,5% e del 4,7% per  $O_3$  e  $PM_{10}$  (Bottalico *et al.*, 2017).



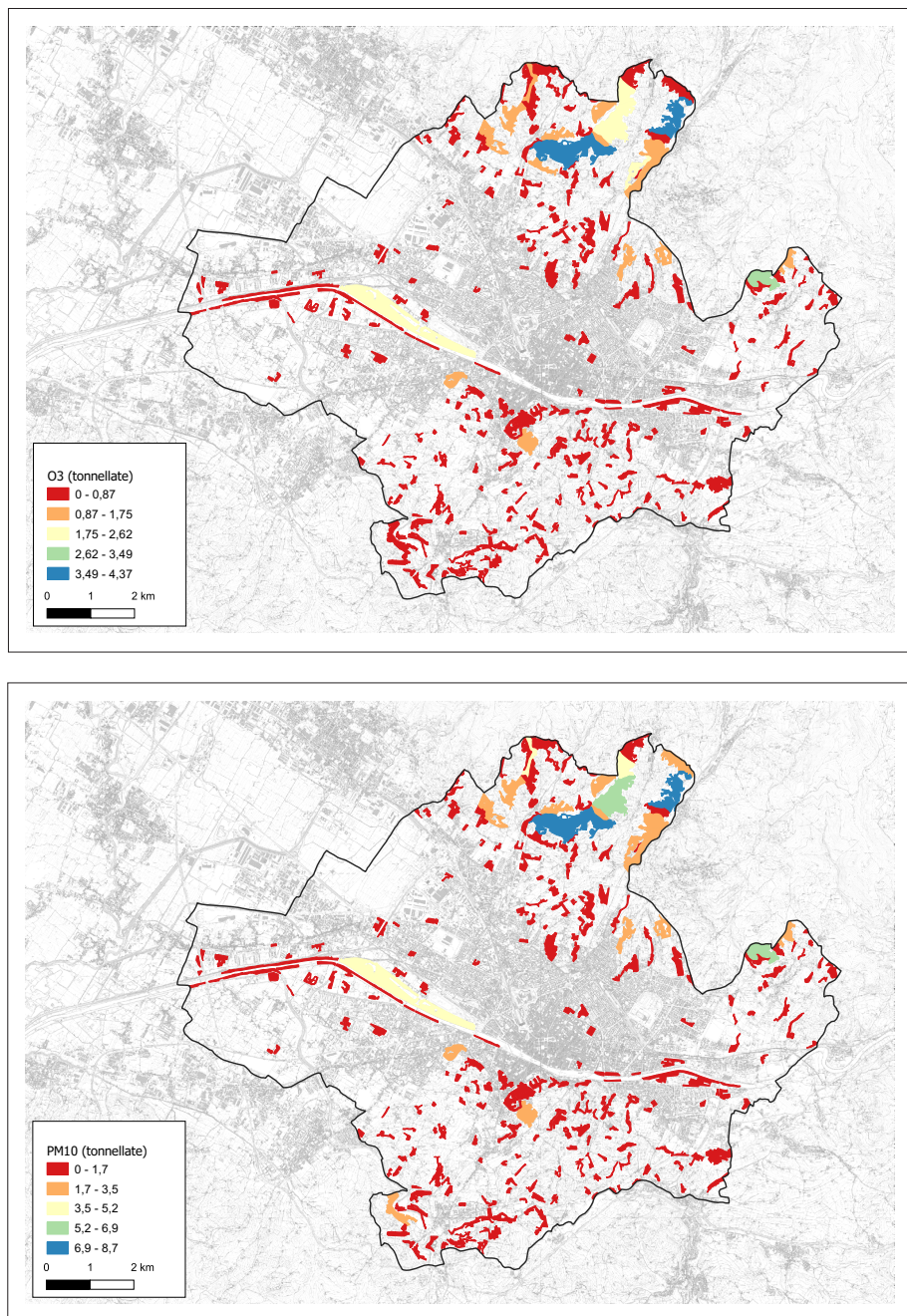


Figura 1 - Distribuzione spaziale della rimozione di inquinanti (O<sub>3</sub> sopra, PM<sub>10</sub> sotto) nel 2013 da parte della foresta urbana del Comune di Firenze (da Bottalico *et al.*, 2017, modificato).



*Tabella 2* - Rimozione annua degli inquinanti (totale in tonnellate e tasso in g/m<sup>2</sup> di copertura forestale) e percentuale di miglioramento della qualità dell'aria (MQA) da parte della foresta urbana di Firenze e di altre città europee. n.d. = dato non disponibile. Fonte: A = Tallis *et al.* (2011); B = Barò *et al.* (2015); C = Selmi *et al.* (2016); D = Barò *et al.* (2014); E = Bottalico *et al.* (2017); F = Alonso *et al.* (2011); G = Marando *et al.* (2016) (da Bottalico *et al.*, 2017, modificato).

CITTÀ	O <sub>3</sub>			PM <sub>10</sub>			FONTE
	<i>Totale</i>	<i>Tasso</i>	<i>MQA</i>	<i>Totale</i>	<i>Tasso</i>	<i>MQA</i>	
	t	g/m <sup>2</sup>	%	t	g/m <sup>2</sup>	%	
Londra (GB)	n.d.	n.d.	n.d.	852	5,9	1,4	A
Rotterdam (NL)	82	0,3	0,8	102	0,4	1,6	B
Strasburgo (FR)	56	3,7	0,6	12	0,8	1	C
Barcellona (ES)	73	2,5	n.d.	166	5,1	2,7	D
Barcellona (ES)	73	0,7	1	166	1,6	1,6	B
Firenze (IT)	78	7,3	1,5	171	16,1	4,7	E
Madrid (ES)	n.d.	6,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	F
Roma (IT)	n.d.	n.d.	n.d.	7037	6	n.d.	G
Berlino (DE)	1957	2,2	0,7	1690	1,9	1,7	B
Salisburgo (AT)	1	0	2,8	46	0,7	6,2	B
Stoccolma (SE)	273	1,3	3	236	1,1	6,1	B

Sia per l'ozono che per il PM<sub>10</sub> il tasso di rimozione in g/m<sup>2</sup> stimato per Firenze risulta superiore a quello stimato per altre città europee (Tabella 2), mentre il totale (in t) risente della superficie totale occupata dalla foresta urbana nelle diverse città, ne consegue che la percentuale di miglioramento della qualità dell'aria stimata per Firenze si situa a livelli intermedi fra le città considerate.

#### BIBLIOGRAFIA

Alonso R., Vivanco M.G., González-Fernández I., Bermejo V., Palomino I., Garrido J.L., Elvira S., Salvador P., Art B., 2011 - *Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain)*. Environ. Pollut., 159: 2138-2147. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.12.005>

- Baró F., Chaparro L., Gómez-Baggethun E., Langemeyer J., Nowak D.J., Terradas J., 2014 - *Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona, Spain*. *AMBIO*, 43: 466-479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Baró F., Haase D., Gómez-Baggethun E., Frantzeskaki N., 2015 - *Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: a quantitative assessment in five European cities*. *Ecol. Indic.*, 55: 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.013>
- Bottalico F., Chirici G., Giannetti F., De Marco A., Nocentini S., Paoletti E., Salbitano F., Sanesi G., Serenelli C., Travaglini D., 2016 - *Air pollution removal by green infrastructures and urban forests in the city of Florence*. *Agric. Agric. Sci. Procedia*, 8: 243-251. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.099>
- Bottalico F., Travaglini D., Chirici G., Garfi V., Giannetti F., De Marco A., Fares S., Marchetti M., Nocentini S., Paoletti E., Salbitano F., Sanesi G., 2017 - *A spatially-explicit method to assess the dry deposition of air pollution by urban forests in the city of Florence, Italy*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27: 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.08.013>
- EEA (European Environment Agency), 2015 - *Air quality in europe - 2015 report*. EEA Report 5/2015. 64 pp.
- Fares S., Savi F., Fusaro L., Conte A., Salvatori E., Aromolo R., Manes F., 2016 - *Particle deposition in a peri-urban Mediterranean forest*. *Environ. Pollut.*, 218: 1278-1286. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.086>
- Fusaro L., Salvatori E., Mereu S., Marando F., Scassellati E., Abbate G., Manes F., 2015 - *Urban and peri-urban forests in the metropolitan area of Rome: ecophysiological response of Quercus ilex L. in two green infrastructures in an ecosystem services perspective*. *Urban For. Urban Green.*, 14: 1147-1156. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.10.013>
- Hirabayashi S., Kroll C.N., Nowak D.J., 2012 - *Development of a distributed air pollutant dry deposition modeling framework*. *Environ. Pollut.*, 171: 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.07.002>
- Manes F., Marando F., Capotorti G., Blasi C., Salvatori E., Fusaro L., Ciancarella L., Mircea M., Marchetti M., Chirici G., Munafò M., 2016 - *Regulating ecosystem services of forests in ten italian metropolitan cities: air quality improvement by PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> removal*. *Ecol. Indic.*, 67: 425-440. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.009>
- Marando F., Salvatori E., Fusaro L., Manes F., 2016 - *Removal of PM<sub>10</sub> by forests as a nature-based solution for air quality improvement in the metropolitan city of Rome*. *Forests*, 7: 1-14. <https://doi.org/10.3390/f7070150>
- Morani A., Nowak D., Hirabayashi S., Guidolotti G., Medori M., Muzzini V., Calfapietra C., 2014 - *Comparing i-Tree modeled ozone deposition with field measurements in a periurban Mediterranean forest*. *Environ. Pollut.*, 195: 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.08.031>
- Paoletti E., 2009 - *Ozone and urban forests in Italy*. *Environ. Pollut.*, 157: 1506-1512. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.019>
- Paoletti E., Bardelli T., Giovannini G., Pecchioli L., 2011 - *Air quality impact of an urban park over time*. *Procedia Environ. Sci.*, 4: 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.03.002>

- Selmi W., Weber C., Rivière E., Blond N., Mehdi L., Nowak D., 2016 - *Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France*. Urban For. Urban Green., 17: 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>
- Silli V., Salvatori E., Manes F., 2015 - *Removal of airborne particulate matter by vegetation in an urban park in the city of Rome (Italy): an ecosystem services perspective*. Annali di Botanica, 5: 53-62.
- Tallis M., Tylora G., Sinnett D., Freer-Smith P., 2011 - *Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments*. Landsc. Urban Plann., 103: 129-138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.003>
- UNECE, 2014 - *Mapping Critical Levels for Vegetation*. International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops. Bangor, UK.

Elena Paoletti<sup>1</sup>, Yasutomo Hoshika<sup>1</sup>, Elisa Carrari<sup>1</sup>

## Qualità dell'aria e foresta urbana a Firenze: quali alberi ci aiutano?

Le chiome degli alberi “filtrano” l’aria e la ripuliscono dagli inquinanti atmosferici, sia gassosi che particolati (Samson *et al.*, 2017). La loro messa a dimora nelle aree più inquinate può migliorare i dati di qualità dell’aria, purché si tenga presente che non tutte le specie arboree hanno le stesse potenzialità. In linea generale, le specie migliori devono avere alcuni requisiti quali: elevata densità della chioma; longevità del fogliame; elevata strategia nell’uso dell’acqua; bassa capacità di emissione di composti organici volatili; ridotta allergenicità del polline (Grote *et al.*, 2016). A Firenze si stima che il massimo potenziale di riduzione della foresta urbana arrivi al 5% per l’ozono e al 13% per il PM<sub>10</sub> rispetto alle concentrazioni in atmosfera (vedi cap. 5). La messa a dimora degli alberi, in questa epoca di cambiamento climatico, porta anche alla riduzione dell’“isola di calore” urbana con la conseguente mitigazione della temperatura nei mesi estivi, e all’assorbimento della CO<sub>2</sub> atmosferica, che rappresenta il principale gas climalterante (Samson *et al.*, 2019).

Non tutte le specie, tuttavia, presentano la stessa efficacia nella rimozione degli inquinanti atmosferici (Sicard *et al.*, 2018). L’argomento della modellizzazione specie-specifica sta oggi suscitando un grande interesse (vedi Pace *et al.*, 2021). L’Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) sta collaborando con la Regione Toscana per applicare questi modelli specie specifici alla definizione delle capacità di rimozione degli inquinanti atmosferici delle specie arboree e arbustive usualmente utilizzate nelle città toscane. Per definire una lista delle principali specie utilizzate nel verde urbano in Toscana, sono stati contattati vari Comuni e Firenze, Lucca, Pistoia e

---

1. IRET-CNR, Firenze.

Prato hanno fornito le indicazioni richieste, con l'indicazione complessivamente di circa 280 specie. Per ognuna di queste, sono stati ricercati in letteratura i dati necessari a stimare l'assorbimento netto di ozono ( $O_3$ ) (ottenuto tramite differenze tra assorbimento di ozono e potenziale ozono formazione), l'assorbimento di biossido di azoto ( $NO_2$ ), l'abbattimento di polveri con diametro inferiore a  $10\ \mu m$  ( $PM_{10}$ ) e l'assorbimento e il sequestro della  $CO_2$  atmosferica. I risultati sono stimati per piante sane, mature e isolate, cresciute in un ambiente urbano ed esposte a condizioni climatiche e di qualità dell'aria reali, e non sono utilizzabili come tali per calcolare l'effettivo assorbimento di inquinanti da una foresta urbana reale, mentre servono in fase di programmazione per facilitare una scelta informata e scientificamente valida delle specie da piantare in uno specifico contesto urbano. Purtroppo, in letteratura mancano i dati necessari alla stima della conduttanza stomatica massima (indispensabile per valutare l'assorbimento degli inquinanti gassosi) e dei fattori di emissione di composti organici volatili (indispensabili a stimare il potenziale di formazione dell'ozono) per circa 60 specie, per cui al momento sono in corso misure sperimentali per colmare queste lacune.

Dai dati finora disponibili sono emersi i seguenti risultati, ovvero che:

- le latifoglie decidue caratterizzate da foglie di grandi dimensioni sono generalmente da preferirsi nelle aree soggette a eccedenze di inquinanti gassosi. In particolare, le specie appartenenti al genere *Fagus* (faggi), *Acer* (aceri) e *Fraxinus* (frassini) sono le più efficaci nel rimuovere  $NO_2$  e  $O_3$ . Fanno eccezione le specie del genere *Quercus* (querce) e *Populus* (pioppi) che, in quanto emettitori di composti volatili organici (COV) presentano un elevato potenziale di ozono formazione e sono quindi da evitare in zone a elevate concentrazioni di  $O_3$ ;
- le grandi conifere, in particolare quelle a foglia squamiforme, sono da preferire nel caso di aree a elevati livelli di  $PM_{10}$ .

La Tabella 1 riassume le 10 migliori e peggiori specie per i tre principali inquinanti atmosferici, cioè ozono, particolato e biossido di azoto. Come è ovvio, la scelta definitiva dovrà tenere conto anche delle tradizionali considerazioni sull'ecologia della specie, come anche dell'allergenicità del suo polline e della sua tolleranza agli stress.

Il Consiglio Regionale della Toscana con deliberazione 18 luglio 2018, n. 72 ha approvato il Piano Regionale della Qualità dell'Aria (PRQA) che ha evidenziato come permangano criticità con superamenti del valore li-

Tabella 1 - Le 10 migliori e peggiori specie per i tre principali inquinanti atmosferici.

SPECIE MIGLIORI	ASSORBIMENTO O <sub>3</sub> NETTO GIORNALIERO G/PIANTA/GIORNO	SPECIE PEGGIORI	ASSORBIMENTO O <sub>3</sub> NETTO GIORNALIERO G/PIANTA/GIORNO
<i>Fagus sylvatica</i>	47,95	<i>Quercus frainetto</i>	-217,62
<i>Fraxinus excelsior</i>	42,70	<i>Eucalyptus globulus</i>	-179,58
<i>Liriodendron tulipifera</i>	36,63	<i>Quercus pubescens</i>	-119,59
<i>Tilia cordata</i>	32,77	<i>Populus nigra</i>	-87,83
<i>Tilia latyphyllos</i>	32,77	<i>Populus tremula</i>	-85,31
<i>Platanus x acerifolia</i>	28,40	<i>Quercus robur</i>	-76,79
<i>Aesculus ippocastanum</i>	26,90	<i>Liquidambar styraciflua</i>	-75,79
<i>Acer pseudoplatanus</i>	26,12	<i>Salix babylonica</i>	-60,71
<i>Acer platanoides</i>	26,04	<i>Salix alba</i>	-46,63
<i>Tilia x europaea</i>	24,08	<i>Eucalyptus glaucescens</i>	-37,80
SPECIE MIGLIORI	ASSORBIMENTO PM <sub>10</sub> G/PIANTA/GIORNO	SPECIE PEGGIORI	ASSORBIMENTO PM <sub>10</sub> G/PIANTA/GIORNO
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	95,67	<i>Salix lasiolepis</i>	0,01
<i>Cedrus libani</i>	37,95	<i>Salix amygdaloides</i>	0,01
<i>Picea abies</i>	30,36	<i>Populus nigra</i>	0,02
<i>Cedrus atlantica</i>	16,39	<i>Betula nigra</i>	0,03
<i>Pinus pinea</i>	16,08	<i>Salix atrocineria</i>	0,03
<i>Pinus strobus</i>	14,47	<i>Salix babylonica</i>	0,03
<i>Quercus ilex</i>	12,58	<i>Fraxinus ornus</i>	0,04
<i>Pinus radiata</i>	11,26	<i>Prunus domestica</i>	0,07
<i>Pinus nigra</i>	8,85	<i>Salix alba</i>	0,07
<i>Pinus densiflora</i>	8,50	<i>Quercus pubescens</i>	0,09
SPECIE MIGLIORI	ASSORBIMENTO NO <sub>2</sub> G/PIANTA/GIORNO	SPECIE PEGGIORI	ASSORBIMENTO NO <sub>2</sub> G/PIANTA/GIORNO
<i>Fagus sylvatica</i>	44,17	<i>Salix lasiolepis</i>	0,27
<i>Fraxinus excelsior</i>	43,21	<i>Salix amygdaloides</i>	0,28
<i>Liriodendron tulipifera</i>	42,56	<i>Cupressus acrocarpa</i>	0,40
<i>Platanus x acerifolia</i>	37,84	<i>Pinus halepensis</i>	0,43
<i>Quercus petraea</i>	31,00	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,44
<i>Tilia cordata</i>	30,42	<i>Cupressus sempervirens</i>	0,49
<i>Tilia latyphyllos</i>	30,42	<i>Betula nigra</i>	0,54
<i>Quercus rubra</i>	28,76	<i>Populus nigra</i>	0,63
<i>Quercus douglasii</i>	26,75	<i>Cryptomeria spp.</i>	0,67
<i>Acer pseudoplatanus</i>	24,36	<i>Salix alba</i>	0,91

mite per  $\text{NO}_2$  e  $\text{PM}_{10}$  in alcune aree del territorio regionale e una criticità estesa all'intero territorio regionale relativamente al superamento del valore obiettivo per  $\text{O}_3$ . Con lo stesso PRQA, la Regione Toscana, prima in Italia, si è dotata di linee guida per la messa a dimora di specifiche specie arboree per l'assorbimento di biossido di azoto, materiale particolato fine e ozono. Queste linee guida si basano sullo studio realizzato da IRET-CNR e costituiscono uno strumento di indirizzo al quale i Comuni devono riferirsi per privilegiare la messa a dimora di specifiche specie arboree che abbiano la capacità di rimuovere gli inquinanti atmosferici per i quali è stata indicata la relativa criticità. I comuni soggetti all'elaborazione e approvazione dei Piani di azione comunale (PAC), di cui all'art. 12, comma 1 L.R. 9/2010, dovranno fare riferimento alla classificazione indicata dalla DGR 814/2016 e smi. per la criticità relativamente al biossido di azoto e al materiale particolato fine  $\text{PM}_{10}$ . Gli altri Comuni che risultano critici per il solo ozono, potranno riferirsi alle linee guida anche quale strumento di mantenimento della buona qualità dell'aria per gli altri inquinanti. I Comuni che decidano di mettere a dimora specie non performanti per l'assorbimento di inquinanti atmosferici dovranno giustificare la loro scelta.

## BIBLIOGRAFIA

- Grote R., Samson R., Alonso R., Amorim J.U., Calfapietra C., Cariñanos P., Churkina G., Fares S., Le Thiec D., Niinemets U., Mikkelsen T.N., Paoletti E., Tiwary A., 2016 - *Functional traits of urban trees in relation to their air pollution mitigation potential: A holistic discussion*. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14 (10): 543-550.
- Pace R., De Fino F., Rahman M.A., Pauleit S., Nowak D., Grote R., 2021 - *A single tree model to consistently simulate cooling, shading, and pollution uptake of urban trees*. *International Journal of Biometeorology*, 65: 277-289. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02030-8>
- Samson R., Grote R., Calfapietra C., Carinanos P., Fares S., Paoletti E., Tiwary A., 2017 - *Urban Trees and their Relation to Air Pollution*. In: Pearlmutter D. et al. (eds.), *The Urban Forest, Future City*, 7: 21-30. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_3)
- Samson R., Moretti M., Amorim J.U., Branquinho C., Fares S., Morelli F., Niinemets U., Paoletti E., Pinho P., Sgrigna G., Stojanovski V., Tiwary A., Sicard P., Calfapietra C., 2019 - *Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forests*. *Journal of Forestry Research*, 30: 1981-1996.
- Sicard P., Agathokleous E., Araminiene V., Carrari E., Hoshika Y., De Marco A., Paoletti E., 2018 - *Should we see urban trees as effective solutions to reduce increasing ozone levels in cities?* *Environmental Pollution*, 243: 163-176.

Claudia Cocozza<sup>1</sup>

## Biomonitoraggio di eventi inquinanti attraverso la dendrochimica

### *Gli alberi registratori di inquinanti*

Le foglie, le cortecce e le radici degli alberi intercettano molti degli inquinanti presenti nell'ambiente, assorbendoli e trasportandoli nel legno (Cocozza *et al.*, 2016; Ahn *et al.*, 2020). L'assorbimento, il trasporto e lo stoccaggio di inquinanti nei tessuti di un albero sono processi che si realizzano durante l'anno di crescita, quindi durante il periodo di formazione dell'anello legnoso. Infatti, la quantità di legno prodotta ogni anno dall'albero, che costituisce l'anello annuale, è definita dalle condizioni ambientali in cui l'albero cresce (De Micco *et al.*, 2019). Le temperature elevate abbinate alla scarsa disponibilità idrica sono condizioni ambientali che possono limitare la crescita delle piante e, di conseguenza, la formazione del legno, così come la presenza di inquinanti nell'ambiente. La dendrochimica è un approccio di studio che permette di ricostruire gli eventi inquinanti, registrati nel legno dall'albero durante la sua vita, per ottenere indicazioni sulla storia di un ambiente. La dendrochimica usa le basi conoscitive della dendrocronologia, per la datazione dell'anello legnoso, e le tecniche chimiche, per la caratterizzazione degli elementi. La dendrochimica può essere considerata una tecnica di biomonitoraggio, ovvero attraverso l'uso degli alberi si possono definire la presenza e gli effetti di inquinanti su questi. Tuttavia, importanti approfondimenti sono necessari per consolidare le conoscenze in materia di dendrochimica. Ad esempio, ogni specie vegetale ha specifiche caratteristiche fisiologiche che regolano i processi di assorbimento, di trasporto e di accumulo, così come ogni elemento chimico ha proprietà legate al peso atomico e alla densità. La specificità dell'albero e dell'inquinante in un ambiente, che a sua volta è caratterizzato

---

1. Università degli Studi di Firenze.



da condizioni specifiche, rendono lo studio della dendrochimica complesso e bisognoso di numerosi casi di studio.

### *Applicabilità della dendrochimica*

La dendrochimica consente di caratterizzare con precisione annuale la storia degli eventi antropici inquinanti, in funzione degli inquinanti emessi dalle sorgenti (esempio, strade ad alta intensità di traffico, aree industriali), della distanza tra l'albero e la sorgente, della diffusione degli inquinanti nello spazio, e della sensibilità dell'albero ad assorbire specifici inquinanti. Ed è proprio nei contesti urbani e industriali che il monitoraggio della qualità ambientale diventa molto importante, dato che l'orografia e la climatologia in queste aree possono rendere ulteriormente critica la qualità dell'aria, favorendo l'aumento delle concentrazioni di inquinanti e limitandone la dispersione. La dendrochimica risulta una tecnologia di accesso immediato in questi contesti, dato che necessita della disponibilità di alberi, che riescono a colonizzare aree spesso non accessibili con le tradizionali stazioni di monitoraggio.

Difatti, il successo della dendrochimica è strettamente connesso con la valorizzazione delle aree verdi alberate in contesto urbano e periurbano per il monitoraggio e il controllo di inquinanti. La dendrochimica è una metodologia di indagine caratterizzata da molteplici vantaggi, ovvero: 1) la dendrochimica non danneggia il patrimonio arboreo forestale impiegato per le analisi. Infatti, lo studio dendrochimico si realizza attraverso l'analisi di campioni legnosi, che sono prelevati mediante trivelle, che estraggono carote di legno in modo non distruttivo, ovvero senza creare danni meccanici e funzionali agli alberi. 2) La dendrochimica è applicabile in qualsiasi contesto urbano, peri-urbano, industriale, caratterizzato dalla presenza di alberi. Pertanto, qualsiasi area urbana diventa un caso di studio, rappresentativo di condizioni di inquinamento specifiche e importante per la definizione delle relazioni ecologiche tra gli alberi e l'ambiente. 3) L'applicazione della dendrochimica consente di definire l'accumulo di inquinanti durante tutta la vita dell'albero con dettaglio annuale, utile alla ricostruzione storica di eventi inquinanti precedenti il momento dell'indagine. La definizione degli eventi di inquinamento passati si realizza analizzando chimicamente gli anelli legnosi formati durante la crescita dell'albero.

L'uso integrato degli anelli, delle foglie e delle cortecce di alberi di rovere è stato testato per il monitoraggio dell'inquinamento in prossimità di un inceneritore in un'area industriale del centro Italia. Le variazioni degli

inquinanti sono state studiate nello spazio, raccogliendo il materiale vegetale nell'intorno dell'area industriale, e nel tempo, considerando il diverso tempo di esposizione agli inquinanti (Cocozza *et al.*, 2016). Le foglie hanno mostrato risultati utili a dimostrare la maggiore variabilità degli inquinanti all'esposizione annuale, le cortecce non hanno consentito di definire un dettaglio temporale della presenza di inquinanti, a causa della loro costituzione, mentre gli anelli legnosi sono risultati di elevato valore ecologico, potendo mettere in evidenza dettagli delle condizioni dell'ambiente nel passato.

La dendrochimica necessita dell'ampliamento di dati raccolti in diversi contesti e su diverse specie di alberi. Infatti, la ricerca in materia di dendrochimica deve essere indirizzata verso attività di studio volte alla caratterizzazione della suscettibilità e della resilienza delle specie legnose in relazione alla presenza degli inquinanti, fornendo strumenti utili alla scelta di specie forestali in programmi di pianificazione del verde urbano.

#### *Tecniche di analisi e disegni di campionamento*

La disponibilità di alberi nelle aree urbanizzate consente di studiare la ricaduta degli inquinanti nello spazio, scegliendo punti di campionamento distribuiti nell'area di studio. Pertanto, la dendrochimica in contesti urbani, periurbani e industriali, permette di definire se la quantità di inquinanti è disponibile all'assorbimento vegetale, e come l'accumulo e la distribuzione degli inquinanti si siano realizzati nello spazio e nel tempo di anno in anno, di anello in anello. Le attività di ricerca volte a definire l'impatto degli inquinanti si caratterizzano per l'elevata specializzazione. I risultati vengono valutati e validati attraverso metodologia scientifica, ovvero attraverso la correttezza dell'acquisizione strumentale, la significatività dell'analisi statistica, oltre che per confronto tra esperti del settore. Oggigiorno sono disponibili tecnologie valide e sofisticate per la caratterizzazione chimica dei materiali oggetto di indagine. La dendrochimica è condotta utilizzando diverse tecnologie, come la spettrometria di emissione atomica e la spettrometria di assorbimento atomico elettrotermico che, dopo una preparazione (mineralizzazione) dei campioni da analizzare, sfruttano i principi chimico-fisici dei livelli energetici degli elementi per l'analisi qualitativa e quantitativa degli ioni metallici presenti nel campione (Cocozza *et al.*, 2016). Tecniche sempre più sofisticate consentono di analizzare materiali senza alcun pretrattamento, come l'analisi realizzata con ablazione laser abbinata alla spettrometria di massa, dove il laser induce la ionizzazione degli elementi e la spettrometria rileva la specie chimica (Perone *et al.*, 2018), oppure la tecnica PIXE (*Particle Induced X-ray*

*Emission*) (dati non pubblicati), che mediante il bombardamento del campione con un fascio di protoni emette raggi X, che consentono la determinazione della specie chimica. L'indagine strumentale si caratterizza di una sensibilità di rilevazione, per cui in presenza di bassi livelli di inquinanti dovranno essere scelte le tecnologie ad elevata sensibilità.

Il prelievo del materiale legnoso da analizzare viene realizzato dopo lo studio dell'area di interesse. L'individuazione di aree boscate, strade alberate e alberi sparsi, e delle specie legnose disponibili nell'area consente di definire il disegno di campionamento, ovvero la scelta degli alberi che saranno studiati. Non esiste un protocollo che regola la scelta del disegno di campionamento, dato che ogni contesto si caratterizza di condizioni peculiari. Tuttavia, nella definizione del disegno di campionamento è fondamentale registrare: 1) la localizzazione delle sorgenti inquinanti, 2) le specie legnose presenti, 3) le distanze tra le sorgenti inquinanti e gli alberi, 4) identificare tutte le condizioni ambientali che devono essere considerate nella valutazione dei risultati, 5) reperire le informazioni disponibili sulla storia industriale dell'area di studio.

Risulta molto importante prevedere che la distribuzione degli inquinanti nello spazio possa cambiare al variare della distanza tra potenziale sorgente inquinante e gli alberi campioni. Per rispondere a tali quesiti, si ricorre alla definizione di transetti, prevedendo il campionamento a distanze crescenti dall'area industriale (Figura 1).

È molto frequente che un'area urbanizzata possa essere interessata da molte potenziali sorgenti inquinanti, in questi casi bisogna prevedere un

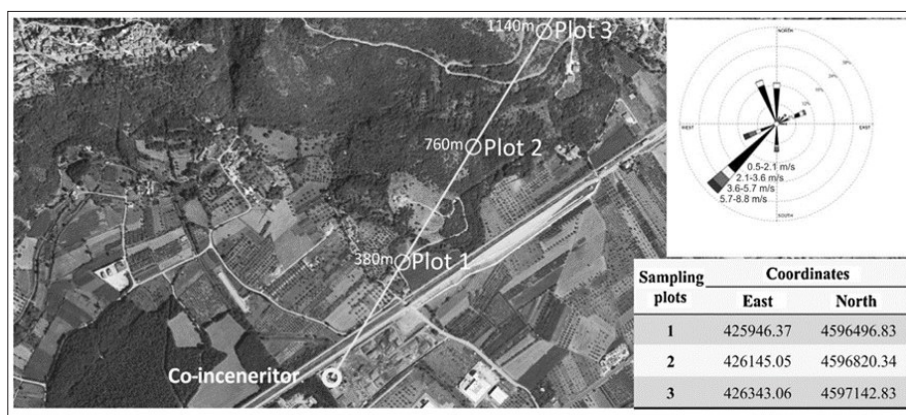
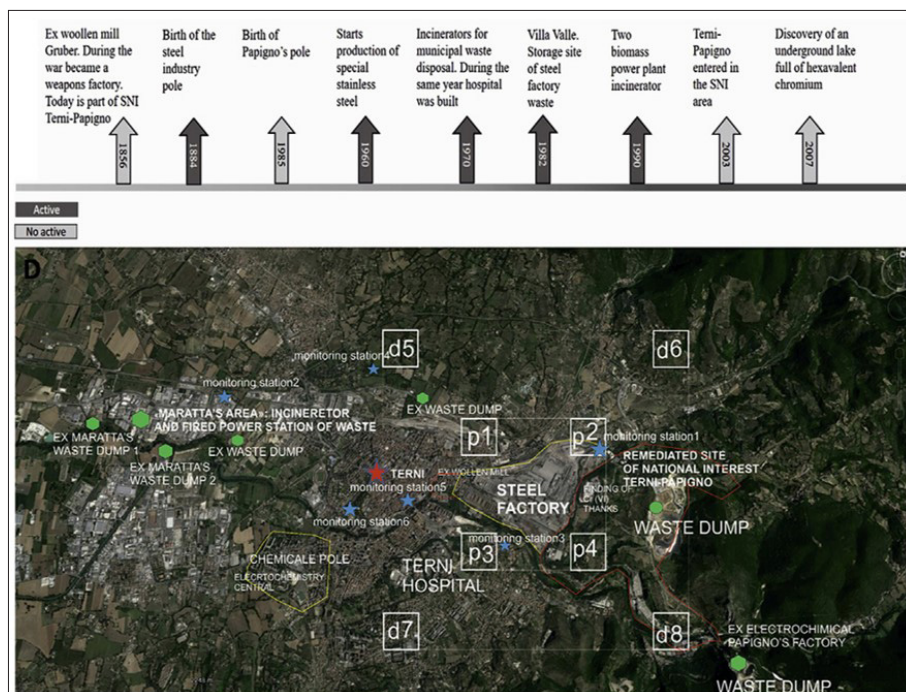


Figura 1 - Definizione di un transetto di campionamento in tre siti di campionamento, distanti 380, 760 e 1140 m da un co-inceneritore (Cocozza *et al.*, 2016).



*Figura 2* - Distribuzione di aree di campionamento a due diverse distanze da una principale sorgente inquinante, un'acciaieria, e localizzate considerando diverse direzioni di diffusione degli inquinanti (Perone *et al.*, 2018).

disegno di campionamento che definisca aree di studio distribuite nello spazio (Figura 2). In contesti interessati da molte attività antropiche è importante reperire informazioni riguardo la storia industriale dell'area, al fine di poter stabilire il dettaglio dell'analisi degli anelli legnosi, ovvero valutare alberi abbastanza maturi da avere tanti anelli quanti sono gli anni della storia dell'ambiente da studiare.

La diversità dei contesti urbanizzati rende possibile prevedere studi a diversi dettagli di indagine, valorizzando la complessità definita da aree caratterizzate da diverse tipologie vegetali. Un esempio è riportato in figura 3, che presenta uno studio preliminare per la definizione di un disegno di campionamento in un territorio caratterizzato da importanti elementi di antropizzazione: realtà industriali più o meno consistenti, un porto commerciale e passeggeri molto attivo, fonti di inquinamento civile e da riscaldamento, traffico marittimo e terrestre. L'area di studio è di notevole rilevanza ambientale e turistica e oggetto di tutela e conservazione perché interessata da parchi e Aree Naturali Protette di interesse Locale e siti di interesse Regionale - Rete Natura 2000, come per

esempio il “Promontorio di Piombino e Monte Massoncello”. All’interno di questa area sono presenti numerose formazioni forestali caratterizzate dalla presenza delle specie tipiche della macchia mediterranea. I boschi sono a dominanza di leccio, con sughere, ornielli, roverelle con presenza di pino d’Aleppo e pino domestico e ricoprono in maniera uniforme l’area, mentre lungo la costa sabbiosa del golfo si incontra una tipica vegetazione dunale caratterizzata da presenza di pino, leccio e mirto. La figura 3 rappresenta un caso di studio utile a definire gli effetti delle sorgenti inquinanti sulle diverse specie legnose distribuite nell’area urbanizzata.

Il numero di aree di campionamento e di alberi da analizzare è definito dalla complessità dell’area, tanto più è complessa l’area di studio in termini di tipologia e distribuzione delle sorgenti inquinanti tanto più elevato deve essere il numero di alberi da considerare per lo studio. Considerando i costi delle stazioni puntuali di monitoraggio tradizionale (20000 €, esclusi i costi di gestione della strumentazione e analisi dei dati), la dendrochimica, a parità di costi, fornisce la possibilità di ampliare nello spazio e nel tempo l’acquisizione del dato come effetto su matrice vegetale, seppure non è da definire un’alternativa al monitoraggio tradizionale (Semeraro *et al.*, 2020).

Possiamo definire gli alberi nelle aree antropizzate “strumenti” sostenibili, di basso costo, per il controllo dell’inquinamento ambientale, attraverso la definizione di segnali nel legno, e la promozione della salvaguardia degli alberi in città, come accumulatori di inquinanti e tutori della qualità ambientale. L’importanza di conservare e valorizzare gli alberi che crescono nelle aree urbane e industriali, come recettori e registratori dell’inquinamento ambientale è fondamentale nella gestione e pianificazione ambientale delle nostre città (Alterio *et al.*, 2020). Nelle aree urbane e in quelle industriali sono numerosi gli alberi adatti a fare da centraline di una rete naturale di monitoraggio. Essendo localizzati nei pressi degli impianti industriali, questi alberi sono in grado di fornire dati estremamente puntuali rispetto alla provenienza degli inquinanti e su un arco temporale più lungo rispetto a quello offerto dalle normali centraline di rilevamento ambientale. La dendrochimica può diventare un importante elemento di supporto alle reti di monitoraggio della qualità dell’aria.

In conclusione, gli ecosistemi forestali nelle aree urbanizzate, correttamente gestiti e tutelati, possono definire e migliorare le interazioni tra uomo e natura nel gradiente urbano-rurale, rappresentando così un prezioso sostegno all’implementazione di soluzioni basate sulla natura nella pianificazione urbana (Sallustio *et al.*, 2019).



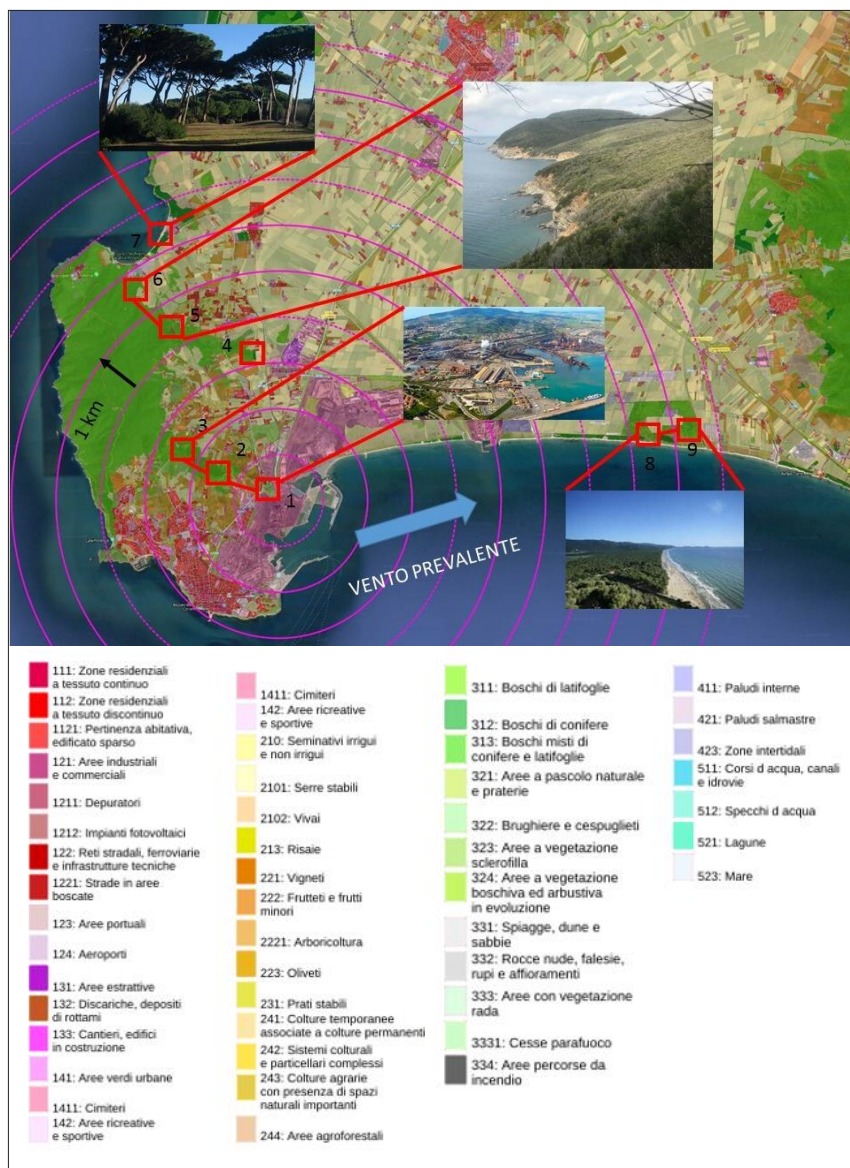


Figura 3 - Definizione di aree di campionamento a diverse distanze da una principale sorgente inquinante, un'acciaiera, e distribuite nelle aree verdi disponibili nell'area (studio preliminare per un'indagine nel comune di Piombino).

Per esempio, nella città di Firenze il Parco delle Cascine rappresenta una realtà di rilevante importanza dato il valore sociale per la popolazione, naturale per la ricchezza vegetazionale, e di interesse ambientale, considerando la sua esposizione a diverse tipologie di sorgenti inquinanti (traffico ferroviario sul lato orientale, fiume sul lato occidentale, prossimità all'aeroporto all'estremità settentrionale, traffico veicolare distribuito ai confini del limite opposto al fiume). La varietà di specie forestali nel parco, come leccio (*Quercus ilex*), platano (*Platanus occidentalis* L.), bagolaro (*Celtis australis*), caratteristica delle aree verdi urbane, definisce un patrimonio di elevato interesse per le relazioni tra alberi e inquinanti urbani, che potrebbe rappresentare un importante caso di applicazione della dendrochimica, a vantaggio della qualità e del monitoraggio dell'area di Firenze.

## BIBLIOGRAFIA

- Alterio E., Rizzi A., Chirici G., Cocozza C., Sitzia T., 2020 - *Preserving air pollution forest archives accessible through dendrochemistry*. Journal of Environmental Management, 264: 110462. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110462>
- Ahn Y.S., Jung R., Moon J.H., 2020 - *Approaches to Understand Historical Changes of Mercury in Tree Rings of Japanese Cypress in Industrial Areas*. Forests, 11 (8): 800. <https://doi.org/10.3390/f11080800>
- Cocozza C., Ravera S., Cherubini P., Lombardi F., Marchetti M., Tognetti R., 2016 - *Integrated biomonitoring of airborne pollutants over space time and using tree rings, bark, leaves and epiphytic lichens*. Urban Forestry and Urban Greening, 17: 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.008>
- De Micco V., Carrer M., Rathgeber C.B.K., Camarero J.J., Voltas J., Cherubini P., Battipaglia G., 2019 - *From xylogenesis to tree rings: wood traits to investigate tree response to environmental changes*. IAWA Journal, 40 (2): 155-182. <https://doi.org/10.1163/22941932-40190246>
- Perone A., Cocozza C., Cherubini P., Bachmann O., Guillong M., Lasserre B., Marchetti M., Tognetti R., 2018 - *Oak tree-rings record spatial-temporal pollution trends from different sources in Terni (Central Italy)*. Environmental Pollution, 233: 278-289. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.062>
- Sallustio L., Perone A., Vizzarri M., Corona P., Fares S., Cocozza C., Tognetti R., Lasserre B., Marchetti M., 2019 - *The green side of the grey: Assessing greenspaces in built-up areas of Italy*. Urban Forestry and Urban Greening, 37: 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.018>
- Semeraro T., Luvisi A., De Bellis L., Aretano R., Sacchelli S., Chirici G., Marchetti M., Cocozza C., 2020 - *Dendrochemistry: ecosystem services perspectives for urban biomonitoring*. Frontiers in Environmental Science, 8: 558893. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.558893>

Fabio Salbitano<sup>1</sup>, Simone Orlandini<sup>1</sup>  
Martina Petralli<sup>1</sup>, Cristiano Foderi<sup>1</sup>

## La foresta urbana di Firenze e i cambiamenti climatici

Il clima e i cambiamenti climatici sono entrati nel lessico quotidiano di ognuno di noi solamente da una manciata di anni ed è una notizia poco confortante visto che ci riferiamo quasi sempre a tali concetti nella prospettiva dei drammi generati dalla *crisi climatica*. Abbiamo dovuto, purtroppo, imparare a capire che la Terra si sta rapidamente riscaldando, che il ciclo dell'acqua nel pianeta si sta drammaticamente modificando con ghiacciai che si sciolgono ed il livello medio dei mari che si innalza. Dapprima in una prospettiva globale, molto spesso distante dalla concretezza della nostra vita; poi, e sempre più rapidamente, abbiamo dovuto fare i conti con ciò che accade nei luoghi dove viviamo o dove amiamo andare in vacanza. Eppure *clima* è un termine teorico. Clima non è altro che la valutazione statistica di sintesi delle condizioni atmosferiche che caratterizzano qualsiasi luogo della Terra. Una sintesi basata su dati di tempo atmosferico rilevati ora per ora, giorno per giorno, per un periodo di tempo sufficientemente lungo (in genere una serie storica di circa 30 anni) perché le analisi statistiche applicate a tali dati risultino sufficientemente significative.

Una sintesi semplice, il clima, risultato però di una serie di relazioni e processi complessi all'interno di un sistema altamente dinamico dove agiscono e interagiscono le diverse componenti del pianeta, ossia l'idrosfera, la litosfera, l'atmosfera, la biosfera, la criosfera. Tali interazioni, condizionate da fattori interni e adiacenti alla Terra così come da influenze remote legate a condizioni astronomiche, definiscono i cambiamenti climatici. Cambiamenti che non sono altro che le variazioni effettive e le tendenze consolidate e persistenti di modificazione del clima a diversi livelli di scala, sia spaziale

---

1. Università degli Studi di Firenze.



(dalle condizioni locali fino all'intero pianeta) che temporale (da pochi anni a millenni o milioni di anni). Le modificazioni possono riguardare uno o più parametri climatici nei loro valori medi così come interessare la frequenza e ricorrenza di eventi estremi. Le variazioni di temperatura, di altezza e regime delle precipitazioni, di frequenza delle tempeste, di numero di giorni di gelo o di caldo, di ondate di calore o di periodi di freddo estremo sono solamente gli indicatori principali considerati per definire e quantificare l'entità dei cambiamenti climatici. In effetti il clima sulla Terra è sempre cambiato ed è cambiato in tempi più o meno lunghi e in aree più o meno estese innumerevoli volte nel corso dei 4 miliardi e mezzo di anni del pianeta in cui viviamo (Fig. 1). Ma i fattori fisici dell'atmosfera, e

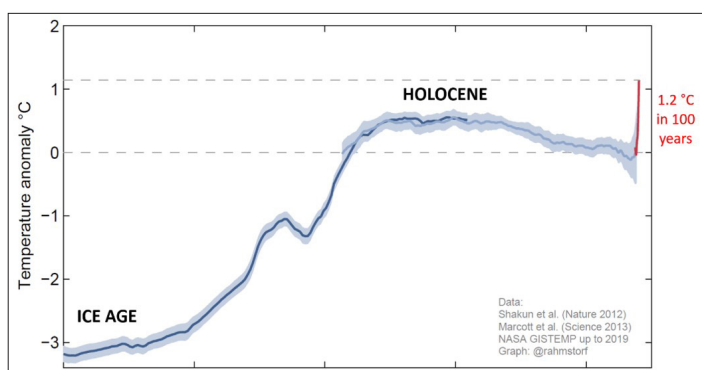


Figura 1 - Andamento delle temperature globali dall'ultima Era Glaciale ad oggi. Fonte: Shakun *et al.* (2012); Marcott *et al.* (2013); NASA GISTEMP <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

quindi il clima, loro espressione sintetica, influiscono straordinariamente sulle caratteristiche della vita del nostro pianeta. Così i cambiamenti climatici occorsi nell'avventura della vita sulla Terra hanno avuto un'influenza determinante nel favorire od ostacolare organismi e popolazioni. Così il clima caldo e umido del Giurassico ha favorito giungle e foreste in cui si sono sviluppate conifere progenitrici di specie che ancora fanno parte della nostra flora contemporanea. Oppure pensiamo alle foreste temperate che nell'Eocene risalgono fino al circolo polare artico. D'altra parte anche in termini di precipitazioni si è assistito a cambiamenti sostanziali come vale per la configurazione delle precipitazioni nel Sahara o nella regione di Atacama che fino a poche migliaia di anni fa non erano ascrivibili a regimi di tipo desertico quali quelli che negli ultimi millenni si sono realizzati. E che ciclicamente, come avvenuto per il Sahara, hanno ospitato foreste.

Allora perché parliamo di cambiamenti climatici in modo così urgente e drammatico? E che tipo di causa ed effetto rappresentano le città nelle riflessioni sui cambiamenti climatici? E infine, che cosa sta avvenendo a Firenze in termini di cambiamenti climatici e quale è la relazione fra ciò che sta accadendo e la foresta urbana di Firenze? Sarà il destino fatale di una Firenze caratterizzata da vegetazione tropicale in pochi decenni oppure gli alberi e le foreste di Firenze e dintorni potranno aiutare la città nel prossimo futuro?

Parliamo di cambiamenti climatici in modo sempre più urgente perché vi sono dati incontrovertibili sulla rapidità di modificazioni sostanziali dei parametri di tempo atmosferico a qualsiasi latitudine e in qualsiasi continente della Terra. Secondo l'UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, 1992), il cambiamento climatico si definisce come “un cambiamento del clima che sia attribuibile direttamente o indirettamente ad attività umane, che alterino la composizione dell'atmosfera planetaria e che si sommino alla naturale variabilità climatica osservata su intervalli di tempo comparabili”.

Quindi, se prima abbiamo accennato a cambiamenti climatici accaduti in ere passate, l'Antropocene, ossia l'ultimo battito di ali del lunghissimo *volo* della storia del pianeta, ha una peculiarità: le modificazioni del clima sono estremamente rapide e sono dovute essenzialmente alle attività antropiche. Fra queste, il modello di egemonia urbana è sicuramente un fattore condizionante. Le città sono i luoghi dove vive la maggior parte della popolazione del pianeta e le comunità urbane sono il motore economico e sociale del mondo contemporaneo. Occupano il 3% delle terre emerse, ospitano il 56,2% dell'intera popolazione mondiale (*United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division*, 2019).

Sappiamo che le città, a parità di condizioni fisiche e geografiche, presentano temperature più elevate rispetto alle zone rurali circostanti. Quando poi abbiamo la possibilità di osservare una serie storica di temperature, possiamo facilmente osservare che le temperature delle città contemporanee sono più elevate rispetto al passato: una tendenza che sembra irreversibile. Quando consideriamo questo effetto applicato al complesso insediativo di una città, parliamo di “isola di calore urbana”: le città, in definitiva, rappresentano delle vere e proprie isole di attrazione e dissipazione termica se comparate con gli ambiti rurali. Molteplici sono le cause che generano il fenomeno delle isole di calore urbane (*Urban Heat Island*, UHI). Il materiale *costruttivo* delle città influisce sulla dinamica dell'irraggiamento solare laddove superfici scure assorbono e trattengono più a lungo una quota cospicua di

energia radiante così come gran parte delle strutture ed infrastrutture *grigie*, in cemento e asfalto, hanno capacità e conduttività termica e proprietà radiative superficiali (albedo ed emissività) significativamente diverse rispetto ai *materiali* che determinano il paesaggio rurale. Al contempo hanno una relazione fluido dinamica con gli strati di atmosfera di contatto sostanzialmente differente. Suolo e vegetazione hanno un'interfaccia di relazioni con l'atmosfera governata da flussi evaporativi ed evapotraspirativi senza sosta. Ciò innesca il movimento continuo dell'aria con conseguente traslazione degli strati più caldi a contatto con il suolo o con le foglie. Questa dinamica è molto meno evidente con superfici inerti e, di conseguenza, il calore tende a permanere più a lungo senza sostanziali movimenti. La presenza di vegetazione e di alberi quindi agisce sul bilancio termico sia grazie all'ombreggiamento esercitato dagli alberi che assorbono o riflettono una parte cospicua dell'energia radiante in arrivo dal sole a livello di chioma sia in virtù dei flussi evapotraspirativi.

Altre cause della UHI sono dovute alla complessità delle geometrie delle strutture (gli edifici) e delle infrastrutture (le reti di trasporto veicolare, le reti tecnologiche di servizio) urbane. Edifici alti all'interno di molte aree urbane forniscono molteplici superfici per la riflessione e l'assorbimento della luce solare, impedendo movimenti di aria che dissipino il calore dagli strati più prossimi a fabbricati e superfici al suolo. Ciò aumenta l'efficienza con cui le aree urbane vengono riscaldate. Gli edifici possono poi modificare drasticamente la ventosità inibendo così il raffreddamento per convezione e impedendo la dissipazione energetica e, in parallelo, favorendo la persistenza di inquinanti da emissioni. Il calore dissipato dalle automobili (calore latente dei materiali e di combustione), l'aria condizionata, la dissipazione energetica dei cicli industriali e altre fonti, alimentano direttamente l'innalzamento termico medio e i valori di picco dell'isola di calore urbana. A ciò si somma l'influenza indiretta determinata dagli effetti della concentrazione di macromolecole contenute nel particolato. Nello strato inferiore di atmosfera, dove la densità di particolato è maggiore, si realizza una sorta di effetto ping-pong dell'irraggiamento la cui portata (e quindi la conservazione del calore) aumenta con l'aumentare del particolato in sospensione. Infatti il particolato, in ragione della sua densità, reindirizza al suolo una quota più o meno cospicua sia del calore latente da evapotraspirazione sia della radiazione riflessa nonché della radiazione infrarossa riemessa dalla Terra. L'UHI non solo determina temperature più elevate, ma può provocare un drastico incremento della

concentrazione di ozono, un gas climalterante la cui formazione accelera con l'aumento della temperatura. L'aumento delle temperature e l'effetto isola di calore urbana, maggiormente evidente nella stagione invernale e durante le ore notturne possono essere particolarmente problematici per la salute umana nella stagione estiva in corrispondenza delle ondate di calore ossia qualora la temperatura atmosferica delle città, oltre a raggiungere valori più elevati rispetto alle aree rurali circostanti nelle ore diurne, si mantiene elevata anche nelle ore notturne, riducendo la capacità di ripresa dell'organismo umano dalle condizioni di estremo calore a cui è stato sottoposto durante il giorno. E ciò può avvenire, nei mesi più caldi, anche per diversi giorni di seguito.

Sono numerosi gli studi che mettono in relazione gli eventi termici estremi con patologie da calore che possono avere anche conseguenze estreme. Non è un caso che sia sempre più frequente la necessità di ricorrere a comunicazioni di allarme per il caldo eccessivo che può essere letale per le fasce di popolazione più vulnerabili: gli anziani, i bambini e le persone affette da un ampio intervallo di malattie non trasmissibili, dai problemi cardiocircolatori a malattie dell'apparato respiratorio, da disturbi psichici e del sistema nervoso a tumori, diabete, obesità, solo per citarne alcune. Solamente nel 2003, il Ministero della Salute ha riportato il dato inquietante di 4000 decessi in Italia attribuibili all'ondata di calore. Anche per il 2020, l'Azienda Regionale della Sanità in Toscana, rispetto all'incremento rilevante di decessi in agosto e settembre rispetto agli anni precedenti, riporta quanto segue: ... *dato che, come nel resto d'Italia, anche in Toscana il contributo di COVID-19 a questo eccesso di mortalità nei mesi di agosto e settembre è stato praticamente nullo, si può ipotizzare un ruolo rilevante delle ondate di calore che hanno caratterizzato la nostra regione in questi mesi* (ARS, 2020). Quindi, se ci chiediamo se tutto questo succede anche a Firenze, la risposta, purtroppo, è sì.

Se osserviamo semplicemente le temperature medie come riportate dai dati dell'Osservatorio Ximeniano, che ha a disposizione una delle serie storiche più antiche in Italia, è subito evidente come l'atmosfera si sia riscaldata: la temperatura media annua del 2020 è di 1,4 °C più alta rispetto a quanto registrato nel 1878. Le variazioni riguardano tutte le stagioni in modo abbastanza simile anche se gli innalzamenti più elevati sono stati registrati in Autunno e Inverno. Questo se consideriamo l'intero periodo riportato, ossia 120 anni di osservazioni. Se ci limitiamo a considerare gli ultimi 50 anni, osserviamo facilmente che sono le temperature estive e autunnali a essere aumentate relativamente di più (Tab. 1).

*Tabella 1* - Temperatura media del centro di Firenze (Dati stazione Osservatorio Ximeniano) per macroperiodo dalla fine del XIX secolo a oggi.

PERIODO	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	TEMPERATURA MEDIA PERIODO
1878-1918	6,1	13,7	23,5	15,1	14,6
1919-1970	6,3	13,6	23,1	15,0	14,5
1971-2000	7,3	14,0	23,9	15,4	15,2
2001-2020	7,6	14,8	24,8	16,6	16,0

Se osserviamo (Fig. 2) quanto analizzato sulle modificazioni delle temperature medie mensili nell'ultimo quarantennio, vediamo che la tendenza all'aumento è riportata per tutti i mesi dell'anno. Gli aumenti più consistenti (di circa 2,5 °C) si verificano in gennaio, febbraio, novembre, aprile e giugno e, in misura minore (di circa 1,5 °C), in marzo e ottobre.

Se poi indaghiamo sulle tendenze al cambiamento (Fig. 3) nel numero di giorni di gelo ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ) e dei giorni caldi ( $T > 34^{\circ}\text{C}$ ) registrati presso la stazione dell'Osservatorio Ximeniano in centro a Firenze, osserviamo una diminuzione consistente del numero di giorni di gelo per decennio mentre, di converso, aumentano significativamente i giorni di caldo.

Anche nel caso delle precipitazioni si sono registrati cambiamenti negli ultimi due secoli, ma non appare una chiara e significativa tendenza al cambiamento, almeno per ciò che concerne la quantità complessiva delle precipitazioni annuali (Fig. 4). Se però andiamo a vedere quanto successo negli ultimi 70 anni nelle varie stagioni (Fig. 5), notiamo subito che si registra la tendenza all'aumento delle precipitazioni autunnali e, in minor misura, primaverili mentre le precipitazioni invernali non manifestano apprezzabili variazioni. Al contrario, le precipitazioni estive tendono a diminuire. Quest'ultimo aspetto è ancor più apprezzabile nel momento in cui analizziamo il trend del numero di giorni piovosi per stagione (Fig. 6).

D'altra parte, la collocazione geografica di Firenze, la sua storia geomorfologica e tettonica descrivono una situazione di bacino (la Piana di Firenze-Prato-Pistoia) contornato da rilievi non particolarmente accentuati (Monti della Calvana e da Monte Morello a Nord, Montalbano a Est, colli del sistema del Chianti a Sud), ma comunque tali da condizionare direzione e velocità del vento nei vari ambiti della Piana. La configurazione dei venti è strettamente collegata con gli altri fattori meteorologici, influenzando così la dinamica delle

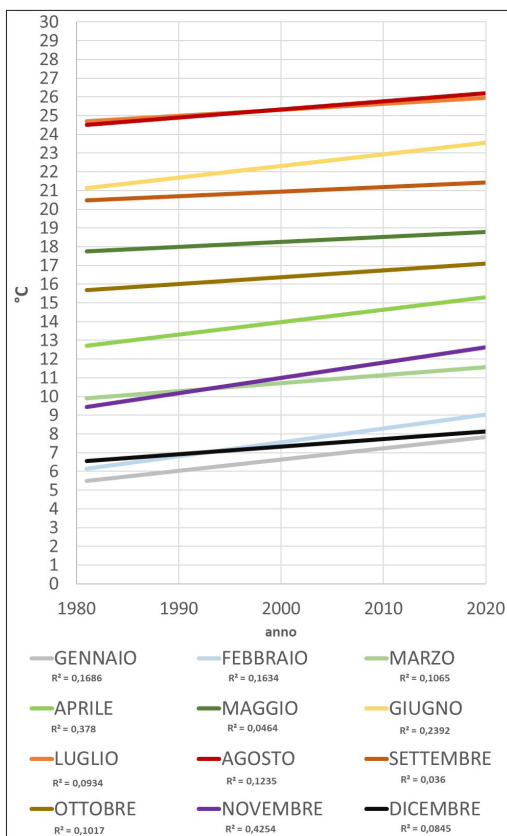


Figura 2 - Analisi delle tendenze (regressioni lineari) delle temperature medie mensili dal 1980 ad oggi.

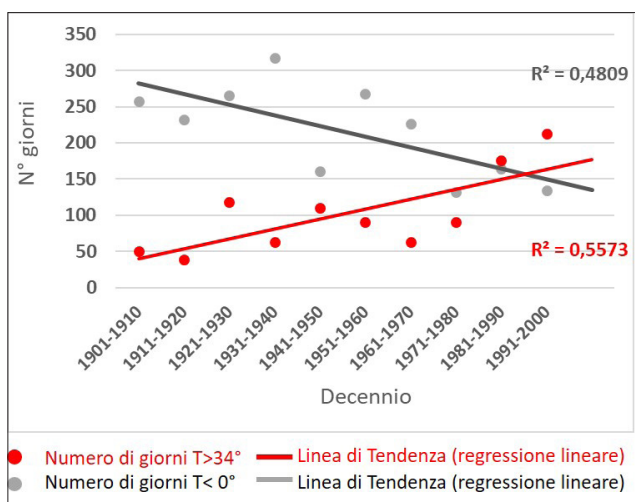


Figura 3 - Numero di giorni caldi ( $T > 34^\circ\text{C}$ ) e di gelo ( $T < 0^\circ\text{C}$ ) per decennio nel XX secolo e relativa analisi di tendenza (regressione lineare).



Santo Spirito in inverno.

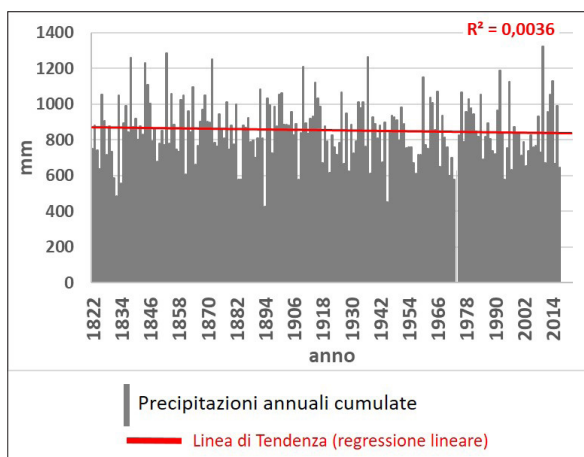


Figura 4 - Andamento delle precipitazioni annuali dal 1822 al 2014 e relativa analisi della tendenza (regressione lineare).

temperature e dell'umidità atmosferica in relazione a condizioni di calma o assenza di vento. Una condizione che può amplificare in modo significativo la persistenza di aria calda anche nelle ore notturne durante i giorni più caldi dell'anno. Firenze viene frequentemente citata come città da *bollino rosso* per il caldo estivo. Che cosa vuol dire? Se guardiamo i bollettini dei livelli di rischio di ondate di calore del Ministero della Salute, vediamo che i diversi livelli di rischio sono associati a bollini che vanno dal verde (assenza di rischio) al rosso (rischio massimo). In effetti, guardando i dati dei bollettini



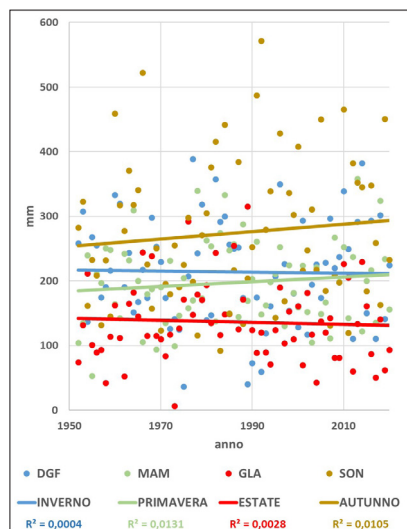


Figura 5 - Andamento delle precipitazioni per stagione (DGF: inverno; MAM: primavera; GLA: estate; SON: autunno) dal 1950 al 2020 e relativa analisi della tendenza (regressione lineare).

di una stagione, il 2020 ad esempio, vediamo che i rischi di ondate di calore a Firenze sono ricorrenti (Fig. 7).

Questo dato varia molto di anno in anno: in ogni caso, con l'aumentare delle temperature estive e del numero di giorni caldi, si registra un aumento delle ondate di calore, ossia di periodi di più giorni consecutivi in cui si verificano temperature elevate tali da mettere a rischio la salute umana.

In parallelo, gli eventi di vento possono essere esaltati dalle turbolenze indotte dalle condizioni fisiografiche della città fino a determinare condizioni del tutto simili a quelle che si verificano con l'occorrenza di uragani: è ciò che è successo il 1 agosto 2015 con danni ingenti (stimati intorno ai 4 milioni di euro) alla città, soprattutto a spese del patrimonio arboreo: moltissimi alberi del parco dell'Anconella, a titolo di esempio, sono stati schiantati o rovesciati dalla forza del vento fino a cambiare sostanzialmente il paesaggio urbano di quella parte della città. Dobbiamo poi considerare la struttura della città e il suo divenire nel tempo. L'impianto urbanistico di Firenze è cambiato nel corso dei secoli, dall'epoca romana ad oggi. La città si è espansa in varie fasi, ricostruite su base documentale e cartografica.

Insomma, il clima a Firenze sta cambiando e i temi del riscaldamento, dell'isola di calore e della diversa configurazione delle precipitazioni sono di grande preoccupazione per il futuro della città.



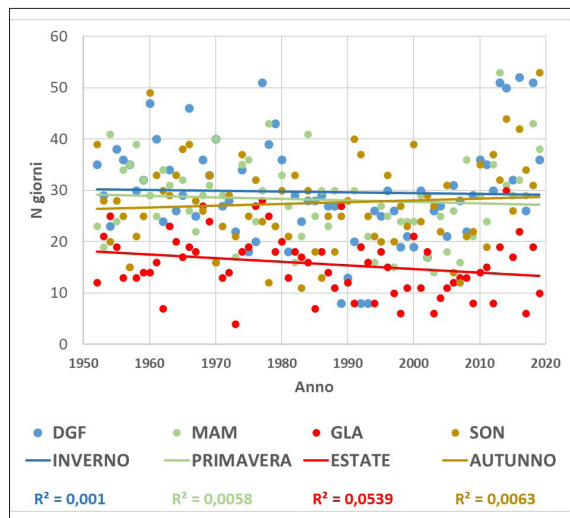
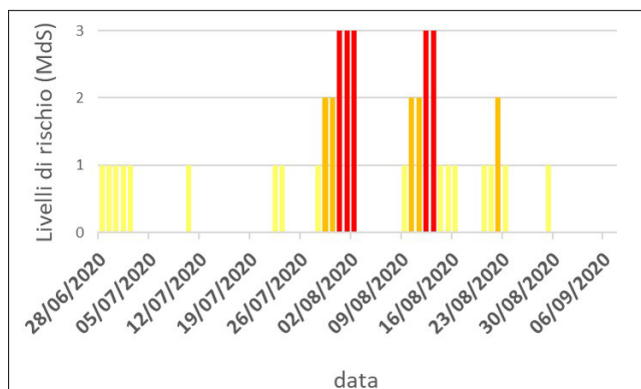


Figura 6 - Andamento del numero di giorni piovosi per stagione (DGF: inverno; MAM: primavera; GLA: estate; SON: autunno) dal 1950 al 2020 e relativa analisi della tendenza (regressione lineare).

Ma gli alberi e le foreste a Firenze ci possono aiutare? E come?

Un primo aspetto che vorremmo sottolineare è la vivibilità quotidiana. Firenze è una città mediterranea dove spesso alte temperature estive possono divenire un vero e proprio problema per la vita quotidiana. E ciò riguarda aspetti di qualità della vita di tutti i cittadini e degli ospiti che la città accoglie. Si tratta quindi di una condizione *ecologica e bioclimatica* che può avere consistenti ripercussioni sulle prospettive sociali, culturali ed economiche della città. Ripercussioni dirette, che riguardano la possibilità di essere attivi durante le ore più calde; ripercussioni indirette che inducono a dotarsi, in ambienti *indoor*, di sistemi di raffrescamento (in particolare di impianti di aria condizionata) che dissipano energia sotto forma di calore nell'atmosfera cittadina amplificando ulteriormente il riscaldamento notturno e diurno.

Sappiamo però che gli alberi e le foreste sono i più efficienti condizionatori d'aria esistenti. E lo sono in modo del tutto naturale. Anzi, rispetto ai condizionatori convenzionali assorbono energia invece che dissiparla in atmosfera. Vogliamo vedere qualche esempio? Durante una campagna di rilievi del comfort termico nel centro di Firenze durante l'estate 2020 la temperatura atmosferica registrata sotto copertura arborea in un giardino privato in Borgo Pinti era di 2,5°C più bassa rispetto a quanto registrato in contemporanea nelle aree adiacenti senza copertura (Speak e Salbitano, 2021). Un dato piuttosto



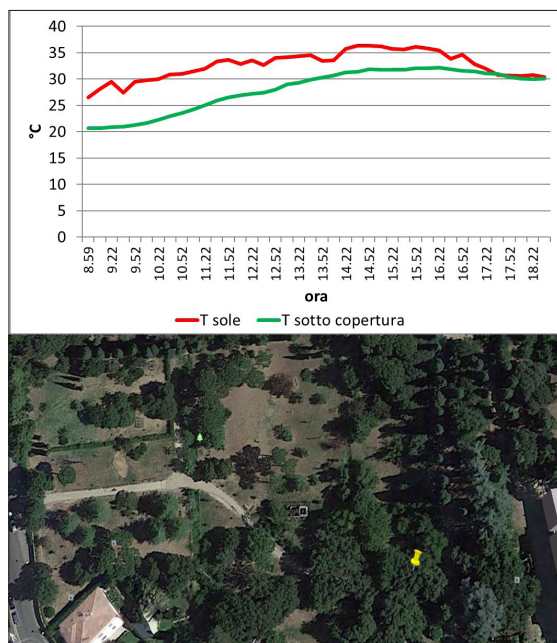
*Figura 7* - Giorni di rischio di ondate di calore a Firenze nell'Estate 2020. Livello 1 (giallo): pre-allerta; condizioni meteorologiche che possono precedere il verificarsi di un'ondata di calore. Livello 2 (arancione): condizioni che possono rappresentare un rischio per la salute, in particolare nei sottogruppi di popolazione più suscettibili. Livello 3 (rosso) condizioni di emergenza (ondata di calore) con possibili effetti negativi sulla salute di persone sane e attive e non solo sui sottogruppi a rischio come gli anziani, i bambini molto piccoli e le persone affette da malattie croniche.

ricorrente anche in altre campagne di rilievo. Ad esempio, nella campagna estiva del 2015, sono state rilevate differenze anche più sensibili, fino a 8-9 °C. Riportiamo, come esempio, i dati relativi alla metà di luglio rilevati al Parco di Villa Fabbriotti (Fig. 8) e alla fine di agosto al Parco delle Cascine (Fig. 9).

Quindi la copertura degli alberi raffresca l'aria (ma questa non è una grande scoperta: lo sappiamo da migliaia di anni) e consente di svolgere attività fisiche all'aperto anche quando le temperature sono decisamente calde. Svolgere attività fisica all'aperto nel periodo estivo, in condizioni di estremo caldo, può quindi essere dannoso per la salute delle persone: la presenza di parchi e di copertura arborea determinano una riduzione delle temperature dell'aria e della temperatura percepita, rendendo le condizioni termiche più gradevoli e allo stesso tempo più sicure per la salute umana.

Rendere i percorsi urbani più piacevoli e più salutari dal punto di vista bioclimatico, contribuisce inoltre a incentivare l'uso della mobilità sostenibile: rendere i percorsi urbani ombreggiati e con temperature gradevoli stimola il loro utilizzo per gli spostamenti sia a piedi che in bicicletta, così come un adeguato ombreggiamento delle fermate degli autobus incentiva questo tipo di mobilità in alternativa all'utilizzo del mezzo proprio.

È importante sottolineare che le aree verdi in città si comportano, nei confronti della temperatura dell'aria, in maniera molto simile alle zone rurali



*Figura 8* - Villa Fabbriotti, misure di temperatura sotto copertura arborea e in pieno sole, 17 luglio 2015. Il punto giallo indica la zona in cui sono stati posti gli strumenti di misurazione.

circostanti la città stessa: infatti, le temperature tendono ad aumentare più velocemente nei giardini nelle prime ore del mattino (fino alle 8 circa), a mantenersi sugli stessi valori o leggermente più basse durante le ore centrali della giornata, per diminuire più velocemente alla sera, quando, invece, si mantengono elevate per un numero maggiore di ore nelle strade oppure nelle superfici esposte a pieno sole e con substrati impermeabili.

In effetti, sempre nell'ambito della campagna di rilievi del 2015, è stato evidenziato come la semplice differenza del tipo di substrato abbia effetti positivi sull'andamento della temperatura atmosferica diurna.

Nel Parco di San Donato (Fig. 10), appena finito di realizzare, sono state registrate differenze di temperature più consistenti la mattina, poi sempre meno importanti nel pomeriggio. Tale andamento è da mettere in relazione con quanto avviene per i valori di umidità dell'aria, decisamente più bassi su substrati impermeabili nelle ore mattutine e poi sempre più simili nelle ore pomeridiane. Ma l'effetto della vegetazione, ed in particolare degli alberi, incide in modo significativo anche in presenza di coperture impermeabili. Nello studio effettuato da Petralli *et al.* (2020,

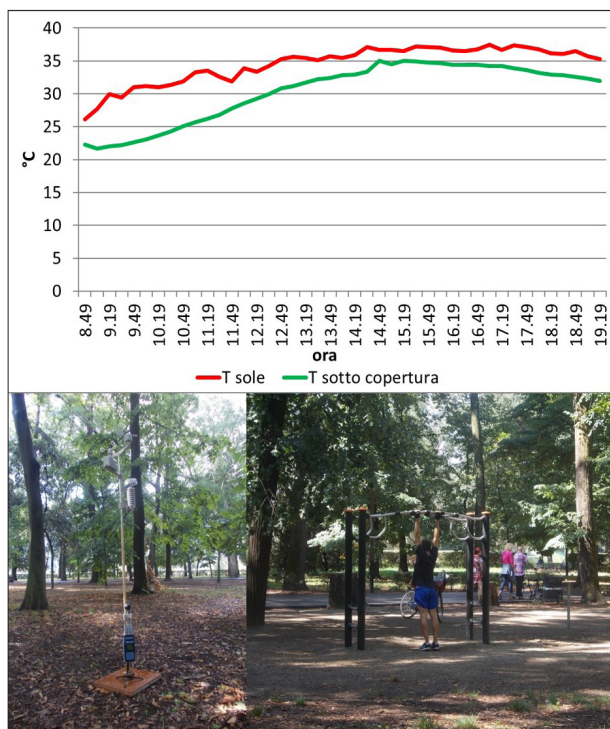


Figura 9 - Parco delle Cascine nei pressi della stazione della tramvia. Misure di temperatura sotto copertura arborea in pieno sole, 26 agosto 2015. Nelle fotografie sono ritratti gli strumenti di misura micrometeorologica (a sinistra) e le attività svolte dai cittadini durante la giornata di rilievi.

vedi Tabella 2) emerge con chiarezza il contributo termico della presenza di vegetazione arborea sulla diminuzione della temperatura dell'aria ( $T_a$ ) e della temperatura percepita (MRT e UTCI) in presenza di copertura arborea (S Asphalt) ma anche con copertura erbacea (Exp Grass).

La distribuzione della temperatura dell'aria a Firenze è stata analizzata in tre tipi di ambiente diversi: strada, cortile e giardino, e quindi messa in relazione con la distanza dal centro città, il numero medio degli edifici per  $\text{km}^2$  e la loro altezza media. Le temperature dell'aria sono più alte nelle zone del centro della città di Firenze e in quelle a esso limitrofe, mentre tendono generalmente a diminuire allontanandosi dalle zone a maggiore concentrazione di edifici e di aree asfaltate.

Le misure di temperatura dell'aria, eseguite tramite sensori posizionati in tre tipi di ambienti diversi (strada, cortile e giardino), hanno evidenziato dove e quanto le aree verdi siano più fresche rispetto agli ambienti stradali.

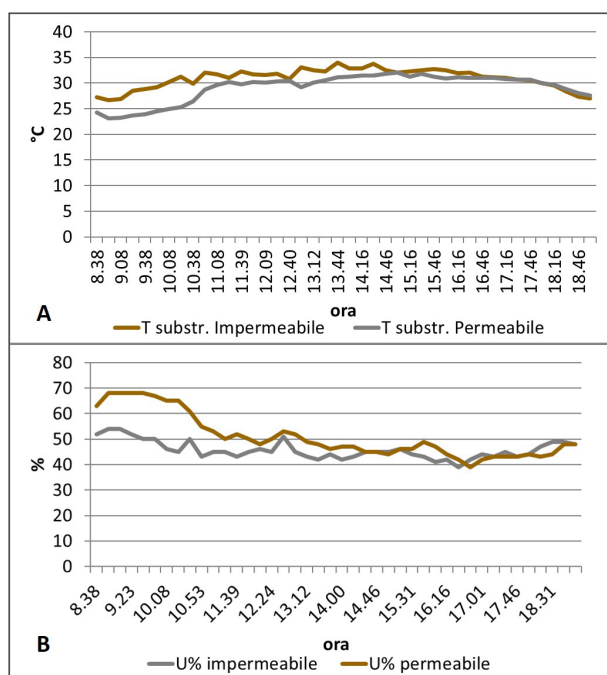


Figura 10 - Parco di San Donato, Firenze. A. Andamento delle temperature il 31 agosto 2015; B. Andamento dell'Umidità relativa dell'aria, 31 agosto 2015.

Le maggiori differenze tra ambiente stradale e giardino sono state registrate in centro e nelle aree a esso limitrofe, ossia laddove la densità urbana è maggiore, più attenuata la ventilazione e mediamente superiore l'altezza degli edifici. Uno studio successivo (Petralli *et al.*, 2013) ha poi evidenziato una variabilità termica media annuale intra-urbana di 2 °C. La dimensione e la composizione arborea, arbustiva ed erbacea delle aree verdi, inoltre, hanno un ruolo determinante nella riduzione delle temperature, soprattutto nel periodo estivo, quando in città le temperature dell'aria tendono a mantenersi alte anche durante le ore serali e notturne.

Studi effettuati all'interno del Parco delle Cascine hanno evidenziato che aree verdi in cui la copertura forestale raggiunge il 100%, sono caratterizzate da temperature massime medie più basse di circa 3-4 °C rispetto ad aree verdi con copertura esclusivamente erbacea: in queste ultime, d'altro canto, le temperature minime medie sono più basse di circa 4 °C delle aree con copertura forestale (Fig. 11).

Per questo, la disposizione delle piante nei parchi e nei giardini, oltre che nelle strade e nelle piazze, è determinante nella distribuzione delle temperatu-

*Tabella 2* - Valori giornalieri medi, massimi e minimi di temperatura dell'aria ( $T_a$ , °C) rilevati presso la stazione meteorologica di riferimento situata in prossimità dell'area di studio (Rif), su erba esposta al sole (Exp Grass), asfalto (Exp Asphalt) e ghiaia (Exp Ghiaia) e su asfalto con copertura arborea (asfalto S), insieme ai valori medi calcolati della temperatura radiante media (MRT, °C) e all'indice di clima termico universale (UTCI, °C) sulle stesse quattro superfici. Tabella tratta da Petralli *et al.*, 2020.

		RIF	EXP GRASS	EXP ASPHALT	S ASPHALT	EXP GRAVEL
$T_a$	Mean	26,1	26,3	27,4	25,9	27,5
	Max	32,5	32,9	35,0	31,0	35,1
	Min	18,3	18,5	19,4	19,6	18,9
MRT	Mean		36,9	39,5	26,0	40,0
	Max		66,1	67,2	38,8	63,8
	Min		17,4	18,4	19,4	17,7
UTCI	Mean		27,8	29,5	25,4	29,7
	Max		41,7	44,6	32,6	44,1
	Min		17,4	18,4	18,8	18,0

re. Considerando alcune stazioni meteorologiche collocate in zone diverse della città (Fig. 12) in modo da coprire situazioni contrastate di densità degli edifici e di prossimità con sistemi di spazi aperti della città, si possono apprezzare le differenze fra i valori di temperatura stagionali in alcuni anni, selezionati come campione esemplificativo.

Inizialmente sono state considerate (Fig. 13) solamente le stazioni meteorologiche di Firenze Genio Civile (centro città, residenziale denso), Firenze Università (stazione meteo presso la sede di Santa Marta) ai limiti del complesso edificato del centro città e in continuità con il sistema degli spazi aperti periurbano che si estende, anche con formazioni forestali, nei colli settentrionali fra la valle del Terzolle e la valle del Mugnone e, infine, Firenze Case Passerini, nell'area extraurbana della Piana di Firenze verso Ovest, in un ambito territoriale caratterizzato da spazi aperti senza complessi forestali, servizi infrastrutturali di trasporto e edifici sparsi a destinazione commerciale e industriale. Tale scelta è determinata dalla disponibilità di serie di dati validati accessibili al sito SIR della Regione Toscana (<https://www.sir.toscana.it/>).

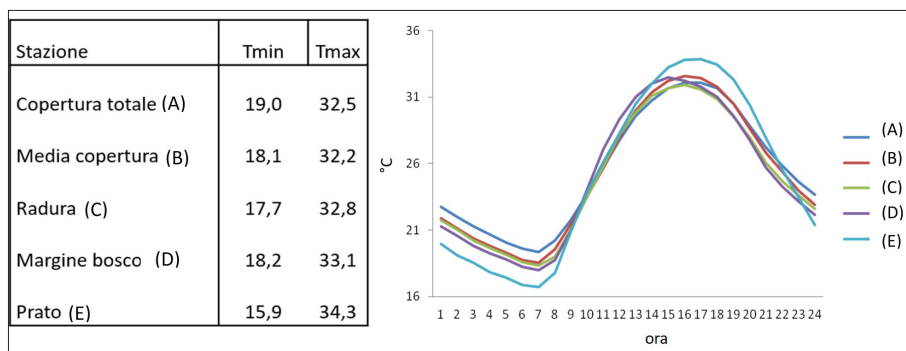


Figura 11 - Temperatura minima (Tmin) e massima (Tmax) estiva registrate all'interno del Parco delle Cascine in aree a diversa copertura arborea: valori medi estivi in tabella e andamento medio nelle 24 ore nel grafico.

Ebbene, analizzando i dati dei mesi estivi del 2017 e del 2019, annate con estati calde, emerge una sostanziale differenza fra l'andamento delle temperature di Firenze centro (linea rossa in Fig. 13) e l'andamento delle temperature nei contesti periurbani. Sia nel caso delle temperature massime che per i valori minimi di temperatura dell'aria, sono apprezzabili valori, seppur lievemente, più bassi nel sito (Firenze Università) in prossimità di sistemi di spazi aperti a Nord dell'area densa urbana ma comunque in continuità con i sistemi collinari di spazi aperti e presenza di coperture arboree e forestali. Tali differenze, peraltro, appaiono più pronunciate per i valori minimi giornalieri.

Sono poi state confrontate le serie estive e invernali includendo anche i dati rilevati dalla stazione meteorologica dell'Antella, decisamente extra-urbana (Fig. 14). L'anno scelto, il 2009, è stato imposto dalla disponibilità di dati completi e validati.

Anche in questo caso, come atteso, i valori di temperatura massima giornaliera estiva più elevati si sono registrati in centro a Firenze, ma non si evidenziano differenze apprezzabili fra le altre stazioni. Sono invece molto più marcate le differenze per ciò che riguarda le temperature minime giornaliere in estate con valori sensibilmente più bassi sia nel sito periurbano a Nord della città (Firenze Università) che nel caso della stazione dell'Antella. Per quello che riguarda i valori delle temperature invernali, si registrano ugualmente valori termici più elevati, sia minimi che massimi, in centro a Firenze con differenze più accentuate per i valori minimi.

Le relazioni fra vegetazione e stato termico dell'ambiente urbano hanno un notevole interesse non solo e non tanto in ambito scientifico quanto nello



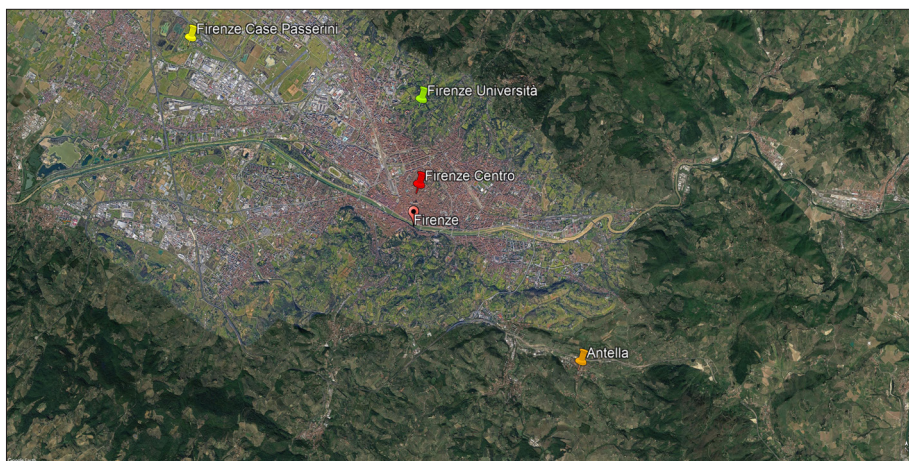


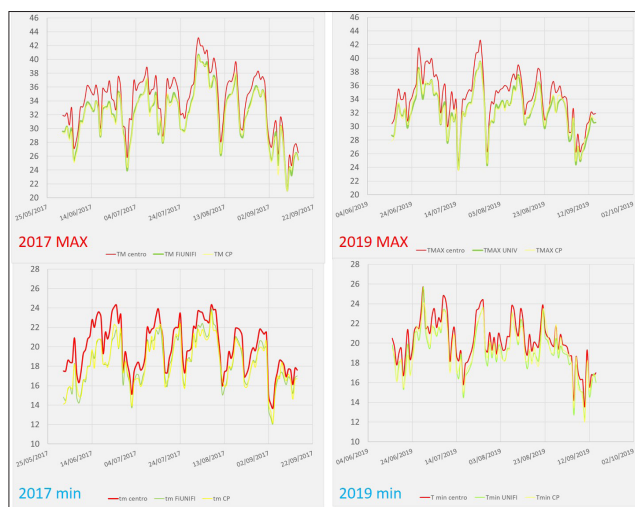
Figura 12 - Stazioni meteorologiche analizzate per il confronto delle temperature in aree a densità urbana e copertura del suolo differente.

sviluppo di criteri di pianificazione, progettazione e gestione delle città. Le immagini satellitari ci aiutano sempre di più nel poter caratterizzare sia gli aspetti critici dello stato termico e idrico delle città (vedi le categorie TIRS e NDWI in Fig. 15) sia le relazioni con la vegetazione, valutata nel suo stato dinamico tramite l'indice di differenza normalizzata di vegetazione (vedi NDVI in Fig. 15). Ci rendiamo facilmente conto, come emerge dalle immagini riportate in Figura 15, delle relazioni positive fra vegetazione e stati idrico e termico. Le aree più prossime al bianco sono quelle a minor copertura arborea (e vegetale, nel complesso) e a maggior significatività di picchi termici e di potenziali carenze idriche.

Oltre al centro città, ambito critico evidentemente atteso vista la storia urbana di Firenze, emergono chiaramente come particolarmente problematici gli ambiti del complesso assiale Sud Est - Nord Ovest, dal centro città lungo la fascia di Viale Guidoni verso Osmannoro e la zona aeroportuale, e il complesso assiale Nord Est - Sud Ovest, verso la conurbazione Firenze-Scandicci.

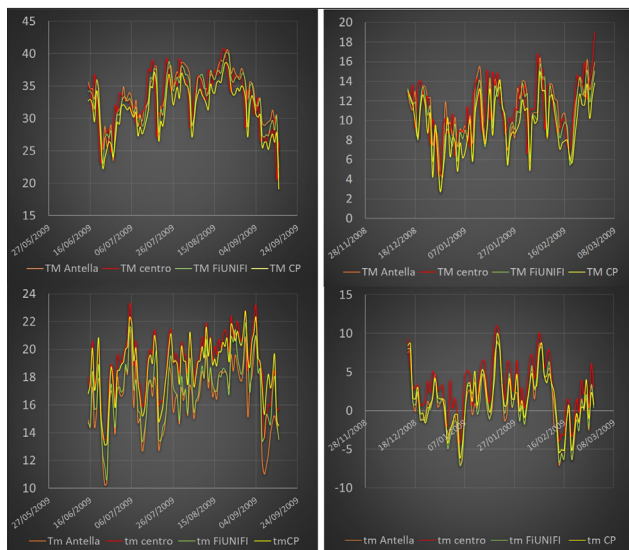
Il *verde* ha quindi un ruolo fondamentale nella mitigazione dell'isola verde urbana e nella qualità della vita in città: non si tratta solamente di componenti accessorie, legate al pregio del paesaggio urbano oppure alla disponibilità di zone *outdoor* per attività ricreative, sociali, sportive o semplicemente di relax. Dobbiamo pensare al verde e agli alberi come ad una vera e propria struttura, dinamica e multifunzionale, di supporto alla vita di noi cittadini. Il sistema integrato di aree verdi, alberature, par-





*Figura 13* - Andamento delle temperature massime (MAX) e minime (min) nel corso delle stagioni estive 2017 e 2019 per le stazioni meteorologiche ubicate in centro a Firenze (linea rossa), a Santa Marta (Firenze Università, linea verde) e Firenze Case Passerini (linea gialla, a Ovest del residenziale denso di Firenze).

chi, giardini, boschi urbani e periurbani costituisce quella che possiamo definire la Foresta Urbana (sensu FAO, 2016) di Firenze: questa grande infrastruttura verde, in continuità fisica e funzionale con il paesaggio di prossimità della città, è l'alleato migliore che abbiamo per contrastare i cambiamenti climatici che sono stati registrati nel capoluogo toscano. La vegetazione, e in particolare gli alberi ed i complessi di alberi, hanno infatti un valore di albedo e di inerzia termica diversi dal materiale artificiale urbano, oltre a mantenere elevata la concentrazione di acqua al suolo e nei primi strati dell'atmosfera. Avendo un albedo maggiore, le aree verdi immagazzinano meno energia rispetto alle aree urbane densamente edificate, che viene poi riemessa soprattutto sotto forma di calore latente. Inoltre, gran parte dell'energia che assorbono viene utilizzata dalle piante stesse per i propri processi vitali, per cui la parte di radiazione che viene da loro riemessa diminuisce ulteriormente. I valori più bassi di albedo si traducono in un maggiore assorbimento della radiazione solare da parte dei materiali artificiali che hanno, inoltre, la capacità di cedere il calore molto lentamente. Questa emissione nell'infrarosso viene in parte intrappolata nei canyon urbani e quindi riassorbita dai materiali con cui questi sono costruiti, per poi essere nuovamente ceduta sotto forma di ulteriore calore: questo processo, detto effetto canyon, aumenta nelle zone della



*Figura 14* - Andamento delle temperature massime (TM) e minime (tm) nel corso della stagione estiva (grafici a sinistra) e della stagione invernale (grafici a destra) del 2009. I dati si riferiscono alle stazioni meteo di: Firenze Genio Civile, centro città (linea rossa), a Santa Marta (Firenze Università, linea verde), Firenze Case Passerini (linea gialla, a Ovest del residenziale denso di Firenze); Antella (condizione extra-urbana a Sud Est della città).

città in cui i palazzi sono più alti e numerosi e dove le aree verdi sono assenti o in numero limitato. La presenza della Foresta Urbana, inoltre, ha una funzione ombreggiante che riduce la quantità di radiazione solare diretta su materiali artificiali riducendone il riscaldamento e garantendo una minore emissione indiretta di energia sotto forma di calore.

La Foresta Urbana di Firenze ha già dimostrato, in molti casi, la sua efficacia nel gestire i cambiamenti indotti dagli effetti delle modificazioni del clima urbano. È però necessario continuare ad investire sia nella progettazione e realizzazione di nuove aree verdi sia nell'ottimizzare la gestione delle zone verdi e degli alberi esistenti in modo da amplificare ulteriormente i benefici che alberi, boschi, spazi verdi possono effettivamente erogare alla città. Piantare alberi, creare nuove aree verdi, pensare e incentivare il riuso di edifici e aree dismesse prendendo in considerazione, laddove possibile, l'introduzione di aree o coperture vegetali, sostituire soluzioni e componenti di infrastruttura grigia con soluzioni basate sulla natura sono alcune delle indicazioni progettuali per il futuro della città, per migliorare il clima urbano e nel contempo migliorare la qualità della vita delle persone e la qualità ambientale complessiva degli habitat in cui viviamo.

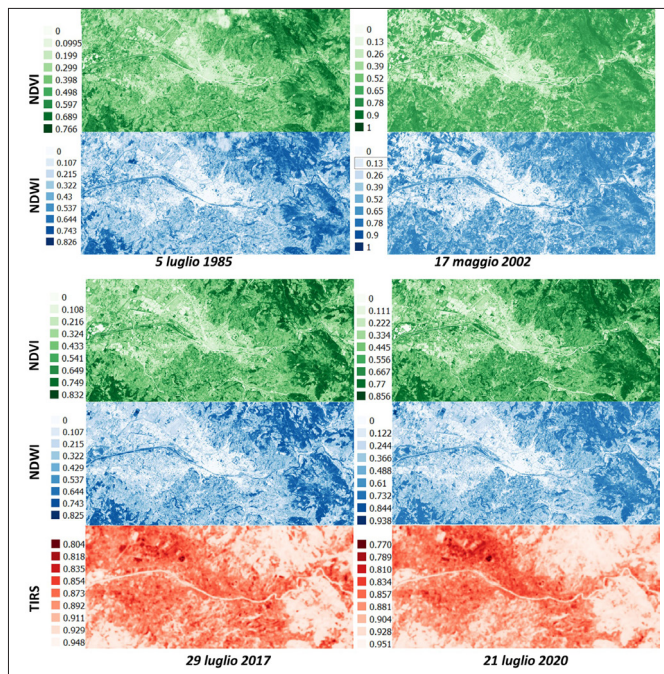


Figura 15 - Restituzione cartografica ponderata, per una selezione di date, del *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI) e *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS) come analizzati da immagini satellitari LANDSAT 5 (1985, 2002: Archivio ESA) e LANDSAT 8 (2017, 2020: Archivio USGS).

Fondamentale gestire al meglio quanto già disponibile. Adottare nuovi programmi di potatura, meno intensi e drastici, può avere un effetto decisivo nel migliorare il microclima urbano e, contemporaneamente, nel rendere più vivibili gli spazi aperti delle città. Durante la campagna di misure di comfort termico dell'estate 2020, mentre venivano misurate le temperature in Piazza d'Azeglio, si è notato come le chiome dei platani, estremamente ridotte dalle potature dell'inverno precedente, rendesse impossibile l'uso dell'area giochi al centro della piazza da parte dei bambini che erano così costretti a limitare le proprie attività a pochi lembi di ombra: oltre al danno per la vita quotidiana di cittadini vulnerabili, l'effetto di mitigazione degli estremi termici da parte degli alberi viene a mancare per diversi anni prima che le piante possano ricostituire le loro chiome. Mitigazione che, ricordiamo, avviene sia per effetto dell'ombreggiamento diretto che grazie al flusso evapotraspirativo degli alberi che contribuisce sostanzialmente al raffrescamento delle aree di influenza di tale fenomeno.

La Foresta Urbana è un prezioso alleato per mitigare gli estremi termici, migliorare il comfort esterno a vantaggio della vivibilità degli ambienti urbani e contrastare i cambiamenti climatici: a patto che impariamo a leggere e interpretare al meglio le tecnologie raffinate che alberi e foresta hanno sviluppato in milioni di anni di storia evolutiva e consentiamo loro di aiutarci efficacemente ed effettivamente.

#### BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- FAO, 2016 - *Guidelines on urban and peri-urban forestry*. By F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Marcott S.A., Shakun J.D., Clark P.U., Mix A.C., 2013 - *A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years*. Science, 339 (6124): 1198-1201. <https://doi.org/10.1126/science.1228026>
- Petralli M., Massetti L., Brandani G., Messeri A., Orlandini S., 2013 - *Le mappe termiche della città di Firenze: la ricerca alla base delle strategie di adattamento e mitigazione degli estremi termici in città*. In: Musco F, Zanchini E., *Le città cambiano il Clima*, Corila, Venezia. ISBN 9788889405253e-book
- Petralli M., Massetti L., Pearlmutter D., Brandani G., Messeri A., Orlandini S., 2020 - *UTCI field measurements in an urban park in Florence (Italy)*. Italian Journal of Agrometeorology, 24 (3): 111-117. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2020-0017>
- Petralli M., Prokopp A., Morabito M., Bartolini G., Torrigiani T., Orlandini S., 2006 - *Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze*. Rivista Italiana di Agrometeorologia, vol. 1: 51-58.
- Shakun J., Clark P., He F., Marcott S.A., Mix A.C., Liu Z., Otto-Bliesner B., Schmittner A., Bard E., 2012 - *Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation*. Nature, 484: 49-54. <https://doi.org/10.1038/nature10915>
- Speak A., Salbitano F., 2021 - *Thermal Comfort and Perceptions of the Ecosystem Services and Disservices of Urban Trees in Florence*. Forests, 12 (10): 1387. <https://doi.org/10.3390/f12101387>
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992 - FCCC/INFORMAL/84. GE.05-62220 (E) 200705.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019 - *World Population Prospects 2019: Highlights*. ST/ESA/SER.A/423.
- <https://ximeniano.it/>
- <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- <https://www.sir.toscana.it/>
- <https://www.ars.toscana.it/2-articoli/4463-aggiornamento-istat-eccessi-mortalit%C3%A0-generale-fino-al-30-settembre-2020.html>
- <https://www.ars.toscana.it/2-articoli/4463-aggiornamento-istat-eccessi-mortalit%C3%A0-generale-fino-al-30-settembre-2020.html>



Giovanni Sanesi<sup>1</sup>, Fabio Salbitano<sup>2</sup>, Francesco Ferrini<sup>2</sup>

## Gli alberi e le foreste urbane fanno star bene

L'esposizione agli ambienti forestali, le attività in bosco, le risorse alimentari e medicinali che la foresta fornisce alle comunità umane sono componenti imprescindibili della salute umana. Lo sappiamo da sempre: è parte integrante della storia della nostra specie. Eppure, gran parte della popolazione del mondo risiede in ambienti dove il contatto con la natura e la foresta non è esperienza quotidiana. Viviamo nelle città, luoghi stupefacenti creati da conoscenza e creatività e, al contempo, ambienti che destano sempre più preoccupazione per la nostra salute. Vivere in città è bello e comodo. Soprattutto in città splendide come Firenze. Architetture prestigiose, arte e cultura che ci riempiono di stupore, lavoro vicino a casa, trasporti efficienti, negozi sempre disponibili, scuole e servizi alla porta di casa. Nel 2050 due persone su tre avranno scelto di vivere in queste condizioni (UN, 2019). Le città sono anche luoghi dove la condizione sanitaria è oltremodo positiva, con ampia scelta di terapie e cure, di cliniche e specialisti, di controlli e regole volte a massimizzare la nostra salute. D'altra parte la storia della sanità in epoca moderna e contemporanea è una storia assolutamente vincente per lo sviluppo incredibile di conoscenze mediche che hanno portato a un miglioramento sostanziale di tutti i parametri di salute e sopravvivenza degli individui: una storia che ha conosciuto la sua apoteosi in parallelo all'avventura urbana nel nostro pianeta.

Ma vi è un rovescio della medaglia. Sono numerosi gli studi che dimostrano che vivere in città genera problemi di salute, spesso completamente inaspettati e nuovi. La vita in città fa aumentare i livelli di stress e il rischio di soffrire di disturbi mentali e neurologici, ha effetti potenzialmente negativi su cuore e polmoni, pone problemi evidenti nello sviluppo delle epidemie, fino a trasformarle in crisi pandemiche e può addirittura compromettere

---

1. Università degli Studi di Bari.

2. Università degli Studi di Firenze.

lo sviluppo cerebrale oltre che favorire gli effetti di patologie legate a disfunzioni endocrinologiche e nutrizionali, come, ad esempio, il diabete (Geronimus, 2000; WHO, 2008).

Firenze non è un'isola felice da questo punto di vista. Se analizziamo i dati relativi alle cause di decesso dal 2003 al 2018 come pubblicati da ISTAT ([http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS\\_CMORTEM](http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS_CMORTEM)) relativamente alla provincia di Firenze<sup>3</sup> (Figura 1), si evidenziano diversi aspetti interessanti e, in parallelo, preoccupanti. Innanzitutto il trend di crescita nel numero di decessi a fronte di un aumento proporzionalmente più contenuto della popolazione residente.

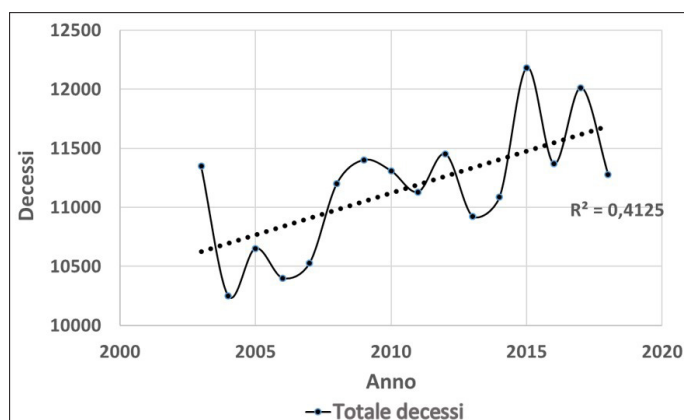


Figura 1 - Andamento del numero di decessi relativi alla provincia di Firenze dal 2003 al 2018 (fonte ISTAT: [http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS\\_CMORTE1\\_EV#](http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS_CMORTE1_EV#))

Se ci soffermiamo poi sulle cause di morte, emergono aspetti decisamente inquietanti (Figura 2). Da una parte si assiste a una tendenza in diminuzione dei decessi dovuti a malattie del sistema circolatorio e una sostanziale stabilizzazione del numero di morti per malattie oncologiche e dell'apparato digerente. Aumentano, invece, in modo sostanziale e significativo i decessi dovuti a malattie del sistema respiratorio e, ancor più, i decessi dovuti a disturbi psichici e malattie a carico del sistema nervoso (fra le altre, il morbo di Parkinson e il morbo di Alzheimer).

Molteplici studi afferenti a un ampio spettro di discipline, inclusa la psicologia ambientale, la selvicoltura urbana, l'ecologia, la geografia, la medicina dello sport, l'oncologia, l'architettura del paesaggio, l'urbanistica e,

3. Ora città metropolitana di Firenze.



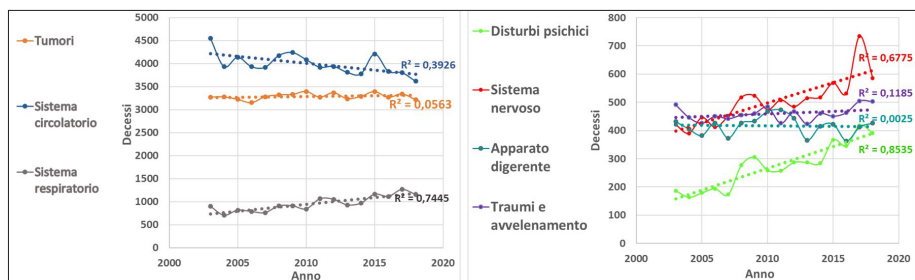


Figura 2 - Andamento dei decessi dovuti alle principali cause di morte nella provincia di Firenze dal 2003 al 2018 (fonte ISTAT: [http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS\\_CMORTE1\\_EV#](http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS_CMORTE1_EV#))

recentemente, anche l'epidemiologia, hanno puntualmente evidenziato la predisposizione a preferire scene e ambientazioni urbane in cui la presenza di componenti naturali - quali piante, alberi ed acqua - sia sostanziale (ad esempio, Purcell *et al.*, 2001; Van den Berg *et al.*, 2007).

Secondo una visione condivisa nella comunità scientifica, tale preferenza può essere spiegata attraverso un meccanismo evolutivo, che ha selezionato la capacità umana di apprezzare quegli elementi nei loro contesti di vita che compongono un ambiente più adatto alla sopravvivenza, fornendo cibo, riparo dai predatori e, in generale, migliori condizioni di sopravvivenza. Questa visione è diventata nota come "biofilia" (ad esempio, Wilson, 1984; Kellert e Wilson, 1993). Negli ultimi due decenni, con una crescente enfasi sui potenziali benefici di relazioni persone-natura, è stata prodotta una quantità crescente di letteratura su questo argomento e sul ruolo dell'esperienza in luoghi naturali per promuovere la salute umana; in effetti, ambienti come le foreste urbane sono stati costantemente identificati come ideali contesti per la promozione della salute e del benessere umano (ad esempio, Hartig *et al.*, 2011; Dadvand *et al.*, 2016). Nella ricerca attuale, il concetto di ambienti rigeneranti offre un'interessante prospettiva per comprendere gli effetti benefici del contatto con la natura. L'idea di ambienti salutistici presuppone la funzione di recupero dell'interazione con la natura, il che implica che ambienti informali e con spiccati caratteri di naturalità offrono, più di altri, la possibilità di rilassarsi, liberare la mente e rappresentano una discontinuità benefica rispetto alla routine ordinaria della vita urbana. Pertanto, in quest'ottica, gli ambienti riparativi sono quelli che promuovono, e non solo consentono, il recupero delle risorse psico-fisiche utilizzate per soddisfare le esigenze dei compiti della vita quotidiana (Hartig, 2004).



Uno studio fondamentale è quello di Ulrich (1984), che dimostra gli effetti positivi della vista il contatto con la natura sulla velocità del recupero post-chirurgico; anche Frumkin (2001) ha discusso dei potenziali benefici per la salute del contatto con ambienti naturali, e ha suggerito di prendere in considerazione i risultati della ricerca empirica negli interventi per migliorare la salute e la qualità umana della vita negli ambienti di tutti i giorni. Successivamente, Hartig e Cooper-Marcus (2006) hanno analizzato le potenziali influenze dei giardini curativi per migliorare le esperienze di salute dei pazienti. Allo stesso modo, de Vries *et al.*, (2003) hanno suggerito che vivere vicino a spazi verdi è positivamente associato a diversi indicatori di salute, e questa relazione è ancora più forte per gruppi specifici di residenti, come casalinghe e anziani.

Milligan e Bingley (2007) hanno anche discusso l'importanza dei boschi dell'infanzia quali esperienze fondamentali nel rafforzamento delle risorse personali per far fronte ai problemi della giovane età adulta, promuovendo così la salute mentale. Korpela e Ylén (2007) hanno evidenziato che le persone tendono a scegliere i luoghi naturali preferiti per ottenere l'autoregolamentazione dei propri obiettivi e queste scelte, a loro volta, sono legate alla percezione della salute personale. Anche studi epidemiologici su larga scala hanno puntato nella stessa direzione, suggerendo come la disponibilità di componenti accessibili delle infrastrutture verdi in un contesto residenziale sia un forte fattore per superare le disuguaglianze di salute basate sul reddito (ad esempio, Mitchell e Popham 2008; vedere anche Nieuwenhuijsen *et al.*, 2014). Frequentare foreste urbane e altri componenti delle infrastrutture verdi nel corso della giornata la vita è stata anche associata alla promozione del benessere soggettivo (ad es. Laforzezza *et al.*, 2009) e al recupero delle funzioni esecutive cognitive (es. Berman *et al.*, 2008). In particolare, recenti scoperte suggeriscono che le infrastrutture verdi con un più alto grado di "naturalità" e biodiversità sono percepite come più riparatorie e hanno un'associazione più forte con il benessere soggettivo (ad esempio, Carrus *et al.*, 2015a, b).

Infine, studi più recenti suggeriscono che rimanere in contatto con la natura ha un aspetto positivo sullo sviluppo cognitivo, comportamentale ed emotivo, interpersonale e sulla promozione di comportamenti sociali positivi nei bambini e adulti (ad esempio, Taylor *et al.*, 2002; Guéguen e Stefan, 2014; Carrus *et al.*, 2015a, b; Amoly *et al.*, 2015; Dadvand *et al.*, 2015).

Nel complesso, una notevole quantità di studi ha evidenziato i vantaggi delle relazioni persone - natura urbana. Questo sembra essere ancora più importante negli ambienti urbani, dove le situazioni stressanti e le pesanti

richieste psicologiche per i residenti sono maggiori e rischiano di entrare in conflitto con la ricerca della sostenibilità urbana (Van den Berg *et al.*, 2007).

I rapporti fra foreste, ambiente e salute possono essere iscritti nel quadro delle utilità ecosistemiche. In sintesi, gli ecosistemi e gli habitat naturali e semi-naturali, grazie alla loro struttura e al loro funzionamento, determinano processi trasformativi nell'ambiente fisico e biotico che vengono percepiti come benefici (FAO, 2016) dagli individui e dalle comunità. Le modalità di manifestazione di tali benefici possono essere di tipo diretto o indiretto ed essere attive in fase di prevenzione del rischio di insorgenza di stati patologici, in fase di terapia effettiva così come in ambito di accompagnamento terapeutico. Un ulteriore aspetto da non ignorare è la possibilità di disporre in natura di rimedi derivati da piante contenenti principi attivi analoghi o vicarianti rispetto a quelli contenuti nei farmaci convenzionali. La presenza di ambienti naturali e foreste in città favorisce spontaneamente stili di vita sana (ad esempio ambiti più o meno informali dove svolgere attività fisica *outdoor*), prevenzione (ad esempio riduzione di inquinanti e polveri sottili per limitare l'insorgenza di malattie respiratorie), terapia immersiva (la *terapia forestale* per affrontare e lenire stati depressivi e di deficit cognitivi, Meneguzzo e Zabini, 2020), accompagnamento terapeutico (recupero o e capacità ristorativa), sostegno psicologico e psicofisico (ad esempio il giardino per donne ammalate di tumore al Policlinico Gemelli di Roma), mitigazione degli stati di severità patologica (ad esempio i giardini dell'Alzheimer) e problematicità esistenziale acuta per infermi o per congiunti di malati terminali: questi sono i principali settori di attenzione di ricerca e di interesse culturale nelle relazioni fra alberi, foreste, spazi verdi e salute.

È importante ricordare anche gli effetti nocivi per la salute umana determinati dalle componenti ambientali. Sappiamo che alcune piante sono allergeniche oppure che alcuni habitat possono ospitare organismi tossici o potenzialmente nocivi: le attività di ricerca volte a migliorare le conoscenze di tali problematiche sono fondamentali per evitare, già in sede di progettazione, criticità indotte da un uso sbagliato di specie vegetali potenzialmente dannose per la salute umana. In ambito gestionale possiamo dire che sarà necessario limitare e rendere inaccessibili habitat che possano ospitare organismi tossici o nocivi, ad esempio popolazioni di zecche o di insetti urticanti (Klimas *et al.*, 2016).

Un primo aspetto da sottolineare è la possibilità di svolgere l'attività fisica spontanea quale componente fondamentale della salute umana

e ben relazionata con i luoghi verdi delle città. Per attività fisica, infatti, non intendiamo un'attività strutturata in palestra o in condizioni *indoor*, ma un'attività informale, all'aperto, fondamentale per il benessere e per la salute: pensata unicamente alla possibilità di ossigenare meglio il sangue o di ridurre l'insorgenza causale di obesità infantile a sua volta interrelata con patologie cardiache.

Ulteriore aspetto emergente riguarda l'aumento di incidenza delle cosiddette malattie non trasmissibili fra cui le sindromi cardiocircolatorie e respiratorie, le forme tumorali a induzione ambientale, il diabete, i disturbi di tipo neurocognitivo maggiore con demenza degenerativa, presenile (ad es. Alzheimer) o senile, o le malattie neurodegenerative quali il morbo di Parkinson: si tratta di patologie in forte incremento e considerate particolarmente tipizzate su condizioni ambientali e stili di vita urbani.

Cosa possono fare le foreste urbane? Possono dimezzare il rischio di disturbi cardiaci, contribuire a ridurre l'obesità, in particolare quella infantile, grazie a una maggiore disponibilità di siti per attività fisica informale; contribuiscono, sia grazie all'attività fisica sia alle migliori *performance* respiratorie, ad abbassare l'incidenza del diabete: questo ci dicono i dati di sperimentazione medica. Della esposizione al verde possono beneficiare gli ammalati di tumore al colon, al seno e alla prostata. Grazie alla capacità di ridurre sostanzialmente il particolato, vettore di inquinanti tossici, le foreste e gli alberi in città possono migliorare l'equilibrio respiratorio; agendo sulle funzioni di recupero da depressione e stress inducono, peraltro, un miglior assetto fisiologico e metabolico globale dell'individuo.

Ritorniamo ora a osservare, in Figura 2, il dato preoccupante dell'aumento dell'incidenza delle malattie mentali fra le cause di morte a Firenze. Vi sono evidenze ormai consolidate sul fatto che la disponibilità e la frequentazione regolare e spontanea di aree verdi, foreste urbane e giardini, portino a una riduzione sostanziale degli stati di stress, diminuiscano l'ansia e gli stati depressivi. In questo senso, Firenze dovrebbe considerare come componente strategica per il benessere dei suoi cittadini la pianificazione, progettazione e gestione di "luoghi" verdi che esaltino le caratteristiche di accompagnamento terapeutico e di possibile esperienza quotidiana di benessere e salute.

Pensiamo anche a quanto possano contribuire gli alberi e il verde alla riduzione di vulnerabilità ad attacchi secondari di tipo batterico o virale: le chiome e le foglie degli alberi sono il miglior materiale ad ora noto per la rimozione delle particelle fini dall'atmosfera, sia in fase secca che in fase

umida. Visto che sono evidenti le relazioni fra particolato e insorgenza di disturbi polmonari, respiratori e cardiocircolatori e che, in seconda battuta, tali disturbi rendono particolarmente vulnerabili le persone a stati patologici determinati da attività di virus e batteri, possiamo dire in sicurezza che una maggior disponibilità di alberi e di verde abbassa, indirettamente ma notevolmente, tale vulnerabilità.

Così vale per la riduzione degli effetti dell'inquinamento atmosferico e per la mitigazione degli estremi termici che possono indurre patologie da calore con conseguenze anche fatali.

Le persone che vivono a Firenze sono ben consapevoli di tutto ciò. In risposta a un questionario condotto "sul campo" in 9 ambiti con alberi e foreste urbane della città nel 2016 (Figura 3), emergono preferenze di frequentazione delle aree legate ai temi di relax e di attività fisica a vari livelli. Ma vengono anche riportate esperienze legate alla gestione degli stati di ansia e alla necessità di momenti contemplativi o di cesura con le condizioni di stress generate dalla vita urbana.

Se poi osserviamo e monitoriamo le attività svolte dalle persone in parchi con caratteristiche forestali in centro a Firenze è immediatamente evidente il significato che tali aree hanno sul benessere e la salute dei cittadini (Figura 4).

D'altra parte sono molteplici, ormai, le occasioni di attività *outdoor* più o meno informali volte al miglioramento dello stato di salute sia in ambiti verdi della città che nelle immediate vicinanze. Le "Passeggiate della Salute", ad esempio, sono una iniziativa promossa dalla Società della Salute di Firenze con il Patrocinio del Comune di Firenze e dell'Azienda Sanitaria USL Toscana Centro. Vengono organizzate nei 5 quartieri della città e per buona parte si svolgono in boschi e parchi urbani e periurbani. Fanno parte del progetto integrato "Salute è benessere" che attraverso un approccio metodologico di ricerca-azione partecipata si pone l'obiettivo di ridurre la sedentarietà e promuovere movimento offrendo occasioni di socialità e di educazione a stili di vita più sani. Le passeggiate si integrano poi con interventi in campo alimentare, fisioterapico e di accompagnamento terapeutico alla riduzione delle dipendenze da alcol e tabagismo. Le foreste e i parchi urbani diventano così il teatro attivo per migliorare le condizioni sanitarie di base in una prospettiva di ecologia e salute integrale. E si guarda sempre con maggior interesse a veri e propri ambiti di accompagnamento terapeutico come, ad esempio, il Giardino di Cice del Meyer e il supporto alla progettazione di Giardini per malati di Alzheimer come quello sviluppato da Pianta Mati a Pistoia. Pensiamo quindi a un futuro dove verde

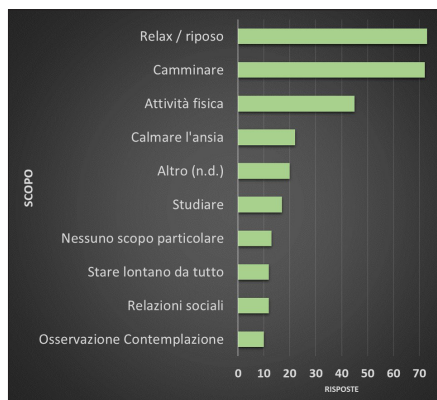


Figura 3 - Esiti sintetici di un questionario somministrato in campo nel 2016 a fruitori di 9 aree verdi con copertura arborea e forestale (fonte: dati DAGRI-UNIFI; proprietà Fabio Salbitano).

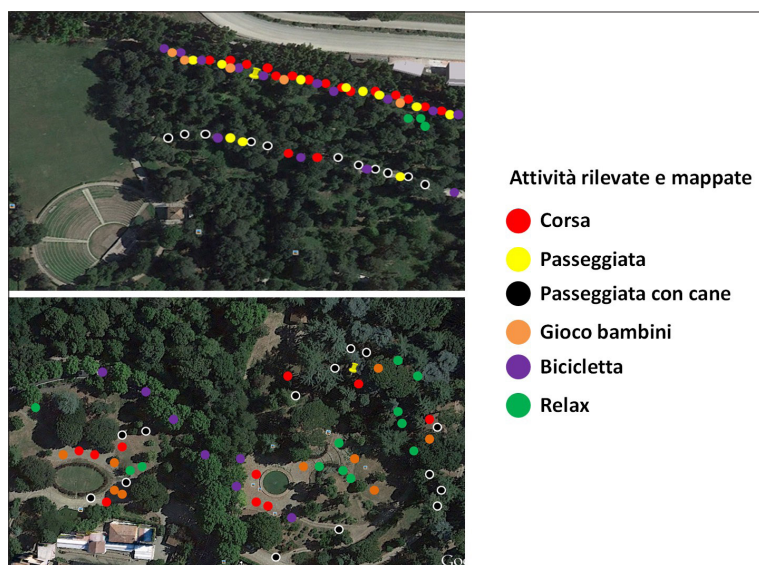


Figura 4 - Osservazione e mappatura di attività in parchi urbani a Firenze nell'agosto 2016 (Fonte: dati DAGRI-UNIFI; proprietà Fabio Salbitano).

e salute saranno sempre più in simbiosi. Nonostante che già attualmente l'azienda ospedaliera del Meyer sia circondata da una estesa copertura arborea, (Figure 5 e 6) il progetto del Parco della Salute, che verrà realizzato nei prossimi anni, nasce con i nuovi edifici pensati per essere immersi in tre ettari di vegetazione, tra boschi e uliveti: un'area verde non solo bella a vedersi e funzionale nel facilitare un più rapido recupero dei degenti, ma anche utile e preziosa per avviare attività salutogeniche di prevenzione e promozione del movimento.





Figura 5 - Vista dall'alto dell'Ospedale Pediatrico Meyer (fonte: Google Earth, 2021).



Figura 6 - L'ingresso del pronto soccorso dell'Ospedale Pediatrico Meyer "immerso" nella foresta urbana di Firenze (<https://www.ceramicavogue.it/uploads/referenze/1920-930/30605.jpg>; Credits: BizOnWeb srl).

Insomma, la *foresta urbana* ci può far vivere veramente meglio. E in salute.

#### BIBLIOGRAFIA

- Amoly E., Dadvand P., Forns J., López-Vicente M., Basagaña X., Julvez J., Alvarez-Pedrerol M., Nieuwenhuijsen M.J., Sunyer J., 2015 - *Green and blue spaces and behavioral development in Barcelona schoolchildren: the BREATHE Project*. Environ. Health Perspect, 122 (12): 1351-1358. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408215>
- Berman M.G., Jonides J., Kaplan S., 2008 - *The cognitive benefits of interacting with nature*. Psychol. Sci., 19: 1207-212. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02225.x>

- Carrus G., Scopelliti M., Laforteza R., Colangelo G., Ferrini F., Salbitano F., Agrimi M., Portoghesi L., Semenzato P., Sanesi G., 2015a - *Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the wellbeing of individuals visiting urban and peri-urban green areas*. Landsc. Urban. Plan., 134: 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.022>
- Carrus G., Passiatore Y., Pirchio S., Scopelliti M., 2015b - *Contact with nature in educational settings might help cognitive functioning and promote positive social behavior*. Psychology, 6: 191-212. <https://doi.org/10.1080/21711976.2015.1026079>
- Dadvand P., Nieuwenhuijsen M.J., Esnaola M., Fornes J., Basagaña X. et al., 2015 - *Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 112: 7937-7942. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503402112>
- Dadvand P., Bartoll X., Basagaña X., Dalmau-Bueno A., Martinez D., Ambros A. et al., 2016 - *Green spaces and general health: roles of mental health status, social support, and physical activity*. Environ. Int., 91: 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.029>
- de Vries S., Verheij R.A., Groenewegen P.P., Spreeuwenberg P., 2003 - *Natural environments - healthy environments? An exploratory analysis on the relationship between greenspace and health*. Environ. Plann. A., 35 (10): 1717-1731. <https://doi.org/10.1068/a35111>
- FAO, 2016 - *Guidelines on urban and peri-urban forestry*. By F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Frumkin H., 2001 - *Beyond toxicity. Human health and the natural environment*. Am. J. Prev. Med., 20 (3): 234-240. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(00\)00317-2](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(00)00317-2)
- Geronimus A.T., 2000 - *To mitigate, resist, or undo: addressing structural influences on the health of urban populations*. American Journal of Public Health, June 2000, 90 (6): 867-872. <https://doi.org/10.2105/AJPH.90.6.867>
- Guéguen N., Stefan J., 2014 - *"Green altruism" short immersion in natural green environments and helping behavior*. Environ. Behav., 48 (2): 324-342. <https://doi.org/10.1177/0013916514536576>
- Hartig T., 2004 - *Restorative environments*. In: Spielberger C. (ed.) Encyclopaedia of applied psychology, Vol 3. Elsevier/Academic, San Diego, pp. 273-278. <https://doi.org/10.1016/B0-12-657410-3/00821-7>
- Hartig T., Cooper-Marcus C., 2006 - *Healing gardens-places for nature in health care*. Lancet, 368: S36-S37. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69920-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69920-0)
- Hartig T., van den Berg A.E., Hagerhall C.M., Tomalak M., Bauer N., Hansmann R., Ojala A., Syngollitou E., Carrus G., van Herzele A., Bell S., Camilleri Podesta M.T., Waaseth G., 2011 - *Health benefits of nature experience: psychological, social and cultural processes*. In: Nilsson K. et al. (eds.), Forests, trees and human health. Berlin, Springer Science, pp. 127-168. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9806-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9806-1_5)
- Kellert S.R., Wilson E.O., 1993 - *The biophilia hypothesis*. Island Press, Washington, D.C.
- Klimas C., Williams A., Hoff M., Lawrence B., Thompson J., Montgomery J., 2016 - *Valuing Ecosystem Services and Disservices across Heterogeneous Green Spaces*. Sustainability, 8 (9): 853. <https://doi.org/10.3390/su8090853>
- Korpela K.M., Ylén M., 2007 - *Perceived health is associated with visiting natural*



- favourite places in the vicinity*. Health Place, 13: 148-151. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2005.11.002>
- Lafortezza R., Carrus G., Sanesi G., Davies C., 2009 - *Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress*. Urban For. Urban Green, 2: 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.003>
- Meneguzzo F., Zabini F. (a cura di), 2020 - *Terapia forestale*. CAI/CNR, Roma. 126 pp. ISBN 9788880804307.
- Milligan C., Bingley A., 2007 - *Restorative places or scary places? The impact of woodland on the mental well-being of young adults*. Health Place, 13: 799-811. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2007.01.005>
- Mitchell R., Popham F., 2008 - *Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study*. Lancet, 372: 1655-1660. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61689-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61689-X)
- Nieuwenhuijsen M.J., Kruize H., Gidlow C., Andrusaityte S., Antó J.M., Basagaña X. *et al.*, 2014 - *Positive health effects of the natural outdoor environment in typical populations in different regions in Europe (PHENOTYPE): a study programme protocol*. BMJ Open, 4: e004951.
- Purcell T., Peron E., Berto R., 2001 - *Why do preferences differ between scene types?* Environ. Behav., 33: 93-106. <https://doi.org/10.1177/00139160121972882>
- Taylor A.F., Kuo F.E., Sullivan W.C., 2002 - *Views of nature and self-discipline: evidence from inner city children*. J. Environ. Psychol., 22: 49-63. <https://doi.org/10.1006/jevp.2001.0241>
- Ulrich R., 1984 - *View through a window may influence recovery*. Science, 224 (4647): 224-225. <https://doi.org/10.1126/science.6143402>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019 - *World Population Prospects 2019: Highlights*. (ST/ESA/SER.A/423).
- Van den Berg A., Hartig T., Staats H., 2007 - *Preference for nature in urbanized societies: stress, restoration, and the pursuit of sustainability*. J. Soc. Issues, 63: 79-96. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.2007.00497.x>
- WHO Centre for Health Development, 2008 - *Our cities, our health, our future. Report to the WHO Commission on Social Determinants of Health from the Knowledge Network on Urban Settings*. Kobe, Japan.
- Wilson E.O., 1984 - *Biophilia*. Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts): vii+159 pp. <https://doi.org/10.2307/j.ctvk12s6h>



## CONCLUSIONI

Firenze è una Foresta Urbana? Molte persone scuoterebbero immediatamente (e convintamente) la testa di fronte ad un'affermazione del genere. Eppure, se osserviamo l'immagine emblematica della cupola di Santa Maria del Fiore del Brunelleschi come ritratta dall'altana delle Oblate è stupefacente l'armonia relazionale fra vegetazione e architettura che anima la città. E forse non è un caso che la città di Firenze sia portatrice dell'essenza del mondo vegetale sia nell'origine del suo nome (*Florentia*) che nel giglio rappresentato nel suo simbolo: quasi che Firenze, in linguaggio contemporaneo, abbia l'antichissima vocazione di testimonial delle piante.



La cupola del Duomo vista dall'altana della biblioteca delle Oblate.

Ovviamente questa riflessione non è stata il motore del percorso che abbiamo voluto intraprendere per conoscere più approfonditamente la foresta urbana di Firenze nella sua grammatica articolata di presenze e funzioni. Abbiamo voluto raccogliere letture, osservazioni, punti di vista esperti e scientificamente fondati nel tentativo di guardare oltre, immaginando il futuro ruolo che l'insieme complesso e sistemico delle singole componenti di alberi, viali e piazze alberate, parchi e giardini, boschi di molteplici dimensioni potranno avere per la città. Un ruolo che non sarà solo ritagliato

per una sopravvivenza di forme, strutture e funzioni ma che sarà sempre più intimamente connesso con il metabolismo urbano di Firenze e con la sua traiettoria culturale, sociale e ambientale.

Un primo aspetto che possiamo considerare, tirando le somme del lavoro svolto, è che Firenze è città di alberi, parchi e giardini come poche altre in Italia e nel mondo. Però sembra, a volte, non esserne consapevole. I contributi di questo libro hanno evidenziato alcuni aspetti culturali e funzionali della foresta urbana di Firenze ma altrettanti potrebbero essere sviluppati: abbiamo imparato che Firenze possiede un patrimonio di alberi e foreste notevole e, contemporaneamente, vanta un formidabile parterre di ricerche e conoscenze sull'ambiente urbano. Ricercatori di diversa formazione e cultura scientifica che collaborano per poter amplificare i saperi sull'ambiente, la biodiversità, la natura, il paesaggio culturale della città.

Sappiamo che non c'è coscienza senza conoscenza: il percorso conoscitivo è ormai sviluppato e sicuramente si evolverà nel prossimo futuro. La sfida è far crescere la consapevolezza del valore inestimabile della foresta urbana di Firenze e la coscienza della comunità nel suo insieme, del mosaico di attori che hanno interessi e passioni per la città, dei decisori che si susseguiranno alla guida politica e strategica della città. È quindi evidente la necessità di rafforzare decisamente la creazione di un ambiente favorevole che catalizzi la percezione diffusa dell'importanza degli alberi e delle foreste a Firenze e dintorni. È improcrastinabile il consolidamento di una nuova *Governance* ambientale che sappia interpretare e valorizzare il fatto che è la natura ad ospitare la città e non il contrario. Un fatto che è incastonato nella storia stessa di Firenze ma troppo spesso derubricato a provocazione naif e non assunto come componente fondante e intelligente della progettazione, della pianificazione e della gestione della città, oltre la città. In un'epoca di crisi ambientale e climatica drammatica, la prospettiva delle città *intelligenti* (le cosiddette *smart cities*) verso la transizione ecologica è affidata, molto spesso, alla rivoluzione tecnologica: ebbene, abbiamo visto in vari tratti del libro come la tecnologia più raffinata di cui disponiamo sia sicuramente quella sviluppata, in milioni e milioni di storia evolutiva, dagli alberi, dagli ecosistemi forestali, dai sistemi naturali. Non è grazie a questa sofisticata tecnologia che possiamo *elaborare* sistemi di detezione e monitoraggio degli inquinanti da parte del legno degli alberi? Non è grazie a quei laboratori dinamici, incessanti, infaticabili e creativi che sono gli alberi e le foreste che possiamo contare su soluzioni basate sulla natura per la rimozione degli inquinanti, per la regolazione multiscalare del tempo atmosferico e

del clima, per il controllo localizzato delle acque, per il sequestro e l'immagazzinamento nel legno e nel suolo del carbonio e dei gas climalteranti? Sono sistemi dinamici e complessi nel *continuum* suolo-pianta-atmosfera che richiedono conoscenza approfondita e capacità di gestione per poter ottimizzare al massimo le loro potenzialità funzionali. Sono complessi di organismi che hanno sviluppato, nel corso della loro storia, un pressoché infinito numero di spettacolari meccanismi evolutivi e co-evolutivi, i cui aspetti funzionali ancora conosciamo solo in parte.

Allora dire che è la natura ad ospitare la città e non il contrario non vuol dire rinunciare all'umanesimo o alle invenzioni artistiche e tecnologiche dell'uomo ma recuperare degli alleati tecnologicamente formidabili per il nostro futuro. Si tratta di pensare la città *sottosopra* di un paradigma rivoluzionario nel suo costrutto teorico ma non nella prassi storica di Firenze. Natura È Cultura per Firenze, come forse per pochissime altre città nel mondo. Lo sa anche l'UNESCO. Pensare Firenze senza Boboli, senza i suoi giardini, le sue piazze alberate, i suoi boschi diventati, nel tempo, luoghi di vita per i fiorentini ha un senso limitato, parleremmo di una città amputata oppure oligotrofica.

La carta dinamica e integrata delle foreste urbane di Firenze diventa così uno strumento fondamentale per la pianificazione strategica della Firenze verde futura in collegamento funzionale con la sua storia. Siamo agli inizi del decennio (2021-2030) del Ripristino Ecologico voluto da UNEP, il programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente, e dalla FAO: Firenze può e, forse, deve divenire un esempio trainante, un vero e proprio laboratorio all'aperto, perché questo decennio di speranza possa venir tessuto nella concretezza di metodi e risultati fondati su basi scientifiche.

Ma i collegamenti funzionali non sono solo nel tempo: fondamentali sono le relazioni spaziali fra Firenze ed il suo territorio immediatamente circostante. Monte Morello è la realtà di bosco più vicina e allo stesso tempo più vero ed esteso, a differenza dei nuclei di verde di una piana ormai troppo frammentata nei vari usi e consumi del suolo. Se nel secondo caso, l'area della piana, sarebbe necessario rafforzare una strategia ambientale complessiva che determini un'inversione di tendenza nel consumo di suolo e nell'infrastrutturazione grigia pensando di sostituire radicalmente con infrastrutture verdi e blu quanto possibile del territorio ad ovest della città, Monte Morello rappresenta una risorsa eccezionale dai punti di vista ambientale e sociale. È la *foresta alla porta di casa* per antonomasia, meta di attività sportive e ricreative, sorgente di salute, benessere e relax. Ed è un miracolo di sapiente e

lungimirante progettazione visto che la copertura forestale attuale di Monte Morello è per gran parte costituita da rimboschimenti della prima metà del secolo scorso realizzati su importanti opere di sistemazione del terreno che nell'insieme proteggono Firenze dal dissesto idrogeologico. Tuttavia, le formazioni di origine artificiale non hanno avuto le necessarie cure colturali e diradamenti. Conseguentemente è indispensabile e improcrastinabile mettere in sicurezza sia le aree prossime a piste e sentieri, sia anche l'interno dei soprassuoli, anche ai fini della riduzione del rischio di incendi.

Firenze è già un laboratorio dove si studiano le *performance* degli alberi nel fornire utilità ecosistemiche preziose per la salute umana. Si studia e si modella come le chiome degli alberi "filtrino" l'aria dagli inquinanti atmosferici. Le latifoglie decidue con foglie di grandi dimensioni, quali faggi, aceri e frassini, sono raccomandate nelle aree soggette a eccedenze di inquinanti gassosi ( $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$ ). Fanno eccezione querce e pioppi che emettono composti organici volatili (COV) e quindi presentano un elevato potenziale di formazione di ozono. Le grandi conifere, in particolare quelle a foglia squamiforme, sono da preferire nel caso di aree ad elevati livelli di particolato. Conoscere questi aspetti di biologia ed ecofisiologia vegetale è fondamentale per sostenere le scelte di progettazione e gestione del verde della città.

Firenze è un laboratorio dove è stato messo a punto un modello in grado di valutare la capacità della foresta urbana di ridurre la concentrazione di inquinanti atmosferici dannosi per la salute dei cittadini (particolato e ozono troposferico). Il metodo è basato su una integrazione di dati rilevati da sensori aerei ad alta risoluzione spaziale, dati misurati a terra e analisi spazialmente esplicite. I risultati dello studio confermano il ruolo potenziale che la foresta urbana di Firenze può svolgere per il miglioramento della qualità dell'area. Ulteriori indagini sono comunque necessarie per continuare a monitorare la funzione che le diverse tipologie di vegetazione svolgono nel mitigare l'inquinamento in città e per poter pianificare la realizzazione di nuovi sistemi arborei e forestali che possano amplificare il contributo della foresta urbana di Firenze al miglioramento della qualità dell'aria e della salute dei cittadini. Parimenti, sono state messe in valore conoscenze approfondite sul ruolo di alberi e foreste nella riduzione dell'isola di calore urbano ed è stato sviluppato un modello per il miglioramento del comfort termico. Anche in questo caso, i risultati raggiunti possono nutrire strumenti innovativi di pianificazione urbanistica e ambientale nonché guidare interventi di progettazione ecologica del paesaggio urbano e delle soluzioni basate sulla natura.

Emerge così, quasi un filo rosso ad unire i vari temi, la centralità della gestione sostenibile e sapiente della foresta urbana di Firenze. In un periodo storico in cui si sta concretizzando una corsa formidabile verso la piantagione di milioni (se non miliardi) di alberi in tutto il mondo - e prima di tutto nelle città e nelle periferie - riflettere sulla scelta delle specie più adatte ai differenti ambienti e sulla cura da dedicare perché gli alberi possano vivere al meglio la loro esperienza su questo pianeta e possano sviluppare in autonomia sistemi ecologici in forma è probabilmente più importante che la pratica stessa della piantagione. Così arboricoltura e selvicoltura a Firenze dovranno affrontare e sostenere le sfide della resilienza e della sostenibilità, sviluppando i criteri sistemici di tutela, salvaguardia e intervento *Cauti, Continui e Capillari* in sintonia con *Ecologia, Etica ed Economia*.

*Fabio Salbitano, Susanna Nocentini, Davide Travaglini*



Stampato in Italia nel mese di dicembre 2021  
da Tipografia Linari - Firenze





Accademia Italiana di Scienze Forestali  
FIRENZE

ISBN 978-88-87553-26-0

*Campione gratuito - Vietata la vendita*