

A photograph of a tree trunk with a person's hand touching it, overlaid with a green semi-transparent box containing text. The tree trunk is the central focus, showing its rough, textured bark. A person's hand, wearing a ring and a grey sweater sleeve, is placed against the trunk. The background is filled with green foliage. The text is white and bold, set against the green overlay.

Valutazione dei Servizi Ecosistemici nel Parco Regionale Urbano di Aguzzano

2017

Risultati del progetto i-Tree ECO Aguzzano

Associazione di Promozione Sociale



Valutazione dei Servizi Ecosistemici nel Parco Regionale Urbano di Aguzzano 2017

Risultati del progetto i-Tree ECO Aguzzano

Stefano Petrella, Francesca Cau, Giampaolo Galli, Mauro Riccardi

con il Patrocinio del Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria
Under the auspices of the Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria
(Council for Agriculture Research and Economics - CREA)



Il presente lavoro è stato possibile grazie alla collaborazione volontaria di numerosi cittadini. La nostra riconoscenza va a Viola Alessandrini, Matteo Bianchi, Paolo Cinque, Laura Dejana, Federica Giunta, Enzo Lanza, Alice Lenzi, Laura Moro, Maila Severini e Matteo Sposato per i loro contributi e per aver sopportato stoicamente le punture degli insetti, le spine dei rovi e le torride temperature dell'estate 2017 e a Eleonora Bianchi per le informazioni sul contesto legislativo relativo al Capitale Naturale, sintetizzate nel box a pagina 8.

Un ringraziamento particolare va al dott. Paolo Onorati, coordinatore del Servizio Integrato Agrometeorologico - ARSIAL per la pazienza con la quale ha reso disponibili i dati orari sulla piovosità, all'illustratore naturalista Carlo Castellani per i bei disegni che ci ha donato e all'amico grafico Guido Benigni che ha curato con grande perizia l'impaginazione e l'editing finale e ha reso esteticamente più gradevoli le pagine che leggerete.

Tutte le fotografie sono di Francesca Cau, Giampaolo Galli, Stefano Petrella, tranne la foto riportata in Fig. 21, che è di: Guilhem Vellut from Paris, France [CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>)], via Wikimedia Commons.

Il contenuto di questo volume può essere liberamente riprodotto purché sia citata la fonte.

Si raccomanda la seguente citazione bibliografica:
Petrella S., Cau F., Galli G., Riccardi M. (Eds), 2018. Valutazione dei servizi ecosistemici nel Parco regionale urbano di Aguzzano. Ass. Casale Podere Rosa, Roma.

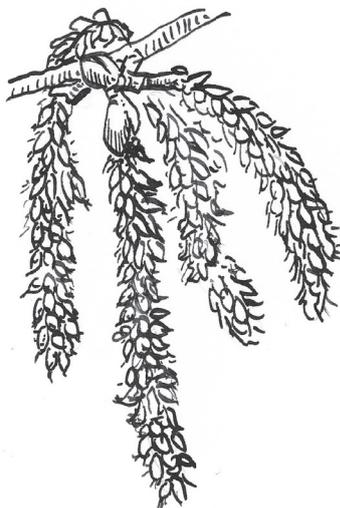
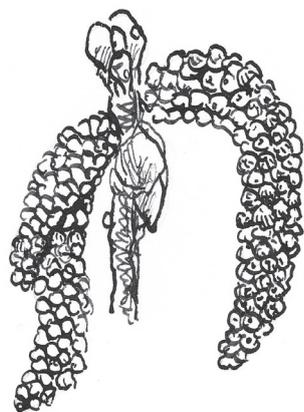
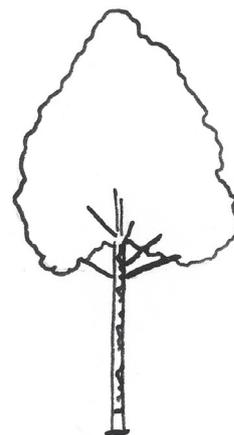
Stampato su carta certificata
FSC® dalla tipografia
PressUp s.r.l. - VT.



Il marchio della
gestione forestale
responsabile

Indice

■	Premessa	5
■	Introduzione	6
	<i>LE FORESTE URBANE E LE INFRASTRUTTURE VERDI</i>	6
	<i>I SERVIZI ECOSISTEMICI</i>	7
■	Metodologia	11
	<i>L'AREA DI STUDIO</i>	11
	<i>STRATIFICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO</i>	12
	<i>AREE DI CAMPIONAMENTO</i>	13
	<i>i-Tree Eco</i>	14
	<i>SCHEMA DI CAMPO E STRUMENTI DI MISURAZIONE</i>	16
	<i>DATI ATMOSFERICI</i>	17
	<i>USO DEL SUOLO</i>	18
■	Struttura della foresta urbana di Aguzzano	21
	<i>SPECIE PRESENTI</i>	21
	<i>ORIGINE DELLE SPECIE</i>	25
	<i>STATO DI SALUTE</i>	27
	<i>CLASSI DIMENSIONALI</i>	30
	<i>AREA FOGLIARE E INDICE DI AREA FOGLIARE</i>	32
	<i>BIOMASSA</i>	33
■	I servizi ecosistemici della foresta urbana di Aguzzano	37
	<i>OZONO</i>	39
	<i>COMPOSTI ORGANICI VOLATILI BIOGENICI</i>	39
	<i>BIOSSIDO DI AZOTO</i>	40
	<i>ANIDRIDE SOLFOROSA</i>	41
	<i>SEQUESTRO E FISSAZIONE DEL CARBONIO</i>	44
	<i>PRODUZIONE DI OSSIGENO</i>	45
	<i>RIDUZIONE DEFLUSSO SUPERFICIALE</i>	46
	<i>CONFRONTI</i>	48
■	Conclusioni	49
	<i>LA SCIENZA DEI CITTADINI</i>	51
	<i>RACCOMANDAZIONI</i>	52
	<i>RICONVERSIONE ECOLOGICA DEL FOSSO DI SAN BASILIO</i>	52
	<i>INCREMENTO DELLA COPERTURA ARBOREA</i>	53
■	GLOSSARIO	57
■	Bibliografia	60

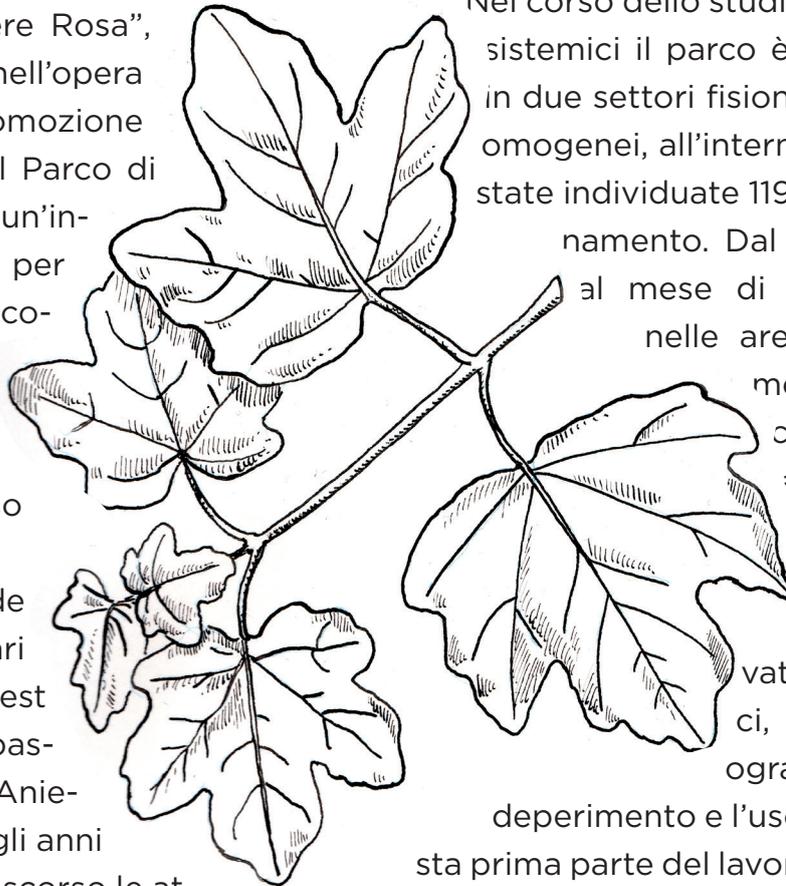


Premessa

Le comunità vegetali del parco costituiscono nel loro insieme la **foresta urbana di Aguzzano**

Nella primavera 2017 l'Associazione "Casale Podere Rosa", proseguendo nell'opera ventennale di promozione e valorizzazione del Parco di Aguzzano, avviava un'indagine preliminare per esaminare i servizi ecosistemici associati a quest'area, attraverso l'uso del software ad accesso libero i-Tree.

Il parco si estende per circa 60 ettari nella periferia nord-est di Roma lungo la bassa valle del fiume Aniene. Fino alla fine degli anni Sessanta del secolo scorso le attività agricole e il pascolo estensivo erano ancora largamente praticati in questa parte della città, dando vita ad una originale compenetrazione tra lembi di campagna romana e borgate circostanti. Poi, nel volgere di pochi anni si è assistito ad un drastico inurbamento del territorio e alla quasi totale sostituzione delle aree agricole con aree ad uso abitativo.



Grazie alla tenace opposizione dei cittadini, l'area verde di Aguzzano è riuscita a sopravvivere e nel 1989, "*in considerazione del rilevante interesse scientifico, naturalistico ed ecologico*" è stato istituito il Parco Regionale Urbano di Aguzzano (LR 55, 8 agosto 1989).

Nel corso dello studio sui servizi ecosistemici il parco è stato suddiviso in due settori fisionomicamente più omogenei, all'interno dei quali sono state individuate 119 aree di campionamento.

Dal mese di giugno al mese di settembre 2017 nelle aree di campionamento sono stati censiti 556 alberi appartenenti a 33 specie. Per ciascun albero sono stati rilevati i dati biometrici, la posizione geografica, il grado di deperimento e l'uso del suolo.

Questa prima parte del lavoro si è svolta grazie al contributo volontario di cittadini e giovani studenti dei quartieri adiacenti il parco, ai quali va il più sentito ringraziamento.

Il presente rapporto intende esporre i risultati dello studio e fornire un contributo di conoscenza sulla ecologia del parco di Aguzzano e sul ruolo che le foreste urbane possono svolgere per migliorare la qualità della vita nelle città.

Introduzione

Per affrontare le sfide epocali del **global change** è necessario costruire **città resilienti**

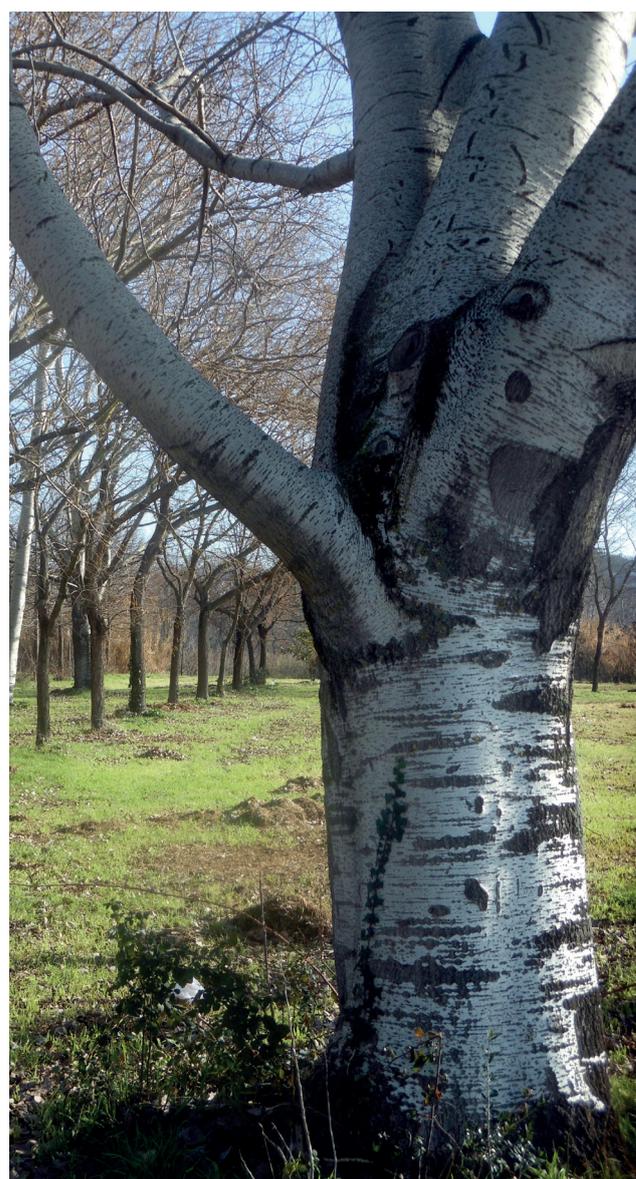
LE FORESTE URBANE E LE INFRASTRUTTURE VERDI

Quasi la metà della popolazione umana - 3,5 miliardi di persone - è oggi concentrata nelle aree urbane, utilizza il 60-80% delle risorse naturali globali e contribuisce per il 75% alle emissioni di CO₂ e di altri gas ad effetto serra in atmosfera e per i prossimi decenni questa tendenza continuerà a crescere (United Nations, 2017). Tutto ciò avrà effetti sempre più rilevanti sul clima, sui cicli biogeochimici, sull'uso del suolo, sull'integrità degli habitat e sulla qualità dell'aria, potrà compromettere la salute e la sicurezza dei cittadini e aumentare le disuguaglianze sociali. La ricerca di modelli di "resilienza urbana" è quindi di strettissima attualità e costituisce uno dei "*Sustainable Development Goals (SDGs)*" dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite.

Le città sono ecosistemi complessi profondamente modellati dall'azione umana, che consumano, trasformano, riciclano e scambiano energia e materia con l'ambiente. Per mantenere le funzioni

ecosistemiche delle città ed assicurare il benessere delle comunità umane nel tempo, un ambito al quale viene rivolta una crescente attenzione da parte di ecologi, economisti e urbanisti è quello delle foreste e degli alberi in ambiente urbano.

Le reti di aree verdi urbane e peri-urbane, comprese le superfici boscate di parchi, giardini e ville storiche, le alberature stradali, il verde condominiale, gli



alberi e gli arbusti degli spazi abbandonati in via di rinaturalizzazione e le vie d'acqua, costituiscono le infrastrutture verdi (Benedict e McMahon, 2006) che collegano le città con le campagne circostanti, mantengono valori di semi-naturalità e rivestono pertanto il ruolo di corridoi ecologici. Esse tuttavia richiedono di essere correttamente censite secondo procedure standard (Corona *et al.*, 2011) e inserite in una strategia di pianificazione, per favorire la continuità e la funzionalità ecologica del territorio. Le infrastrutture verdi dovrebbero promuovere un approccio integrato alla gestione del territorio e determinare effetti positivi anche dal punto di vista economico per la capacità di contenimento del dissesto idrogeologico, per la lotta ai cambiamenti climatici e per il ristabilimento della qualità delle matrici ambientali, aria, acque, suolo.

L'importanza delle infrastrutture verdi è riconosciuta dalla Commissione Europea (EU, EC, 2013) e adottata nell'ambito della Strategia Europea per la Biodiversità.

I SERVIZI ECOSISTEMICI

I servizi ecosistemici possono essere



raggruppati in quattro categorie generali:

- servizi di approvvigionamento, quali la fornitura di cibo, ossigeno, acqua, legname, risorse genetiche;
- servizi di regolazione, tra cui la mitigazione del clima, la ricarica delle falde acquifere, la purificazione dell'aria, il consolidamento dei suoli;
- servizi di mantenimento, che consentono la conservazione *in situ* delle comunità animali e vegetali e la loro diversità genetica;
- servizi culturali, che comprendono il benessere fisico e mentale, lo sviluppo intellettuale e cognitivo, valori estetici e ricreativi e il rafforzamento dei legami sociali (Haines-Young e Potschin, 2018).

In Italia ad oggi solo alcuni servizi ecosistemici sono misurati, spesso in termini solo di flusso, come nel caso dei flussi di materia utilizzati nelle attività economiche. Queste misurazioni vanno estese e soggette ad una contabilità fisica ed economica “ufficiale”, in grado di essere integrata nei processi decisionali ed economici. Una sotto-valutazione o, addirittura, l’assenza di una misurazione, del valore dei servizi ecosistemici può comportare scelte sbagliate, mancanza di prevenzione, errati interventi, con considerevoli costi diretti e indiretti, non solo nel breve periodo, ma soprattutto a medio e lungo termine, dal punto di vista ecologico, sociale, economico, e in definitiva in termini di benessere stesso dell’uomo. Con la legge n. 221 del 2015 “Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell’uso eccessivo di risorse naturali”, il cosiddetto Collegato Ambientale alla legge di stabilità 2014, **il tema della valutazione fisica ed economica dei servizi ecosistemici è diventata di fatto norma di legge.** L’articolo 67 del Collegato prevede la redazione annuale del “Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia” da parte del Comitato per il Capitale Naturale, presieduto dal Ministro dell’Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, e composto da 10 Ministri, dall’Associazione Nazionale dei Comuni Italiani, dalla Conferenza delle Regioni e 5 Istituti pubblici di Ricerca. Il Rapporto, di cui nel 2018 è stata elaborata la 2^o edizione*, ha il compito di evidenziare ai policy makers il fondamentale ruolo ricoperto dal Capitale Naturale e dai servizi ad esso correlati rispetto al sistema socio-economico del Paese, arricchendo la conoscenza e affinando modelli di valutazione fisica e monetaria dei servizi ecosistemici e degli impatti che le politiche hanno su di essi.

* <http://www.minambiente.it/pagina/il-2deg-rapporto-sullo-stato-del-capitale-naturale-italia>

Tuttavia il depauperamento delle risorse naturali causa la riduzione o la perdita totale dei benefici resi dagli ecosistemi e spesso i costi ambientali e sociali che ne conseguono sono a carico di soggetti o comunità non direttamente coinvolti nello sfruttamento della risorsa (Co-stanza, 2008). Se ad esempio le acque di una sorgente vengono captate in maniera eccessiva o utilizzate per scaricare liquami domestici o industriali, saranno le popolazioni a valle della stessa che ne subiranno i danni maggiori (“esternalità negative”). Diversamente, se un’area agricola verrà coltivata con sistemi biologici a basso impatto ambientale, la comunità beneficerà di acque più pulite, terreni più fertili e stabili, maggiore biodiversità, migliore qualità dell’aria, ecc. (“esternalità positive”).

I servizi ecosistemici generalmente non sono riconosciuti dal mercato come beni o servizi in senso economico tradizionale, cioè non sono scambiabili nell’ambito di una comune transazione volontaria poiché derivano intrinsecamente dalle risorse naturali mantenute integre (valore d’uso prevalente sul valore di scambio). Per questo motivo coloro che beneficiano di questi servizi non sono tenuti



a sostenere alcun costo per il loro godimento e coloro che ne garantiscono la fruizione attraverso il non uso o l'uso sostenibile e rinnovabile della risorsa, non sono incentivati a mantenere tali pratiche.

Questa bassa percezione dei servizi ecosistemici fa sì che il capitale naturale venga generalmente depauperato, con gravi conseguenze sistemiche e rilevanti costi sociali a carico della collettività (il dissesto idrogeologico in cui versa il territorio italiano ne è un esempio palese). Le "esternalità", cioè gli effetti che una data modalità di utilizzazione di una risorsa da parte di un soggetto produce verso altri soggetti, dovrebbero essere inserite in un bilancio generale di costi-benefici attraverso il meccanismo volontario dei PES (*Payments for Environmental Services*). Il dibattito sulle diverse modalità di implementazione di schemi di pagamento per i servizi ecosistemici è tuttora aperto (Farley e Co-

stanza, 2010) e mira alla definizione di adeguati sistemi di contabilità ambientale che assicurino il coinvolgimento degli *stakeholder* e evitino nel contempo che il mercato con le sue leggi divenga l'unica forma di *governance* per la conservazione della natura (Pirard, 2012; Lockie, 2013; Spash, 2015).

Per affrontare le sfide epocali dei cambiamenti climatici, dell'inquinamento atmosferico e degli eventi climatici estremi, è necessario costruire città resilienti. Gli amministratori pubblici dovrebbero pianificare strategie di gestione multi-scala - dal singolo albero alla scala di paesaggio - basate sulla conoscenza della struttura, della dinamica e della funzione ecologica delle foreste urbane e peri-urbane, per assicurare nel tempo la produzione dei servizi di regolazione e mitigazione che le foreste urbane possono generare.

La gestione e il mantenimento in salute

delle foreste urbane non dovrebbe essere considerato un costo ma un mezzo attraverso il quale la comunità usufruisce di servizi e beneficia di minori costi sociali: minore esposizione alle malattie dovute all'inquinamento dell'aria, aumento della qualità e della durata media di vita, minori episodi di allagamento di strade, sottopassi, metropolitane e scantinati durante le piogge torrenziali, riduzione delle temperature durante le torride estati cittadine, disponibilità di isole urbane di silenzio e aria pulita e molto altro ancora.

In tale contesto il coinvolgimento attivo dei cittadini assume un valore fondamentale. Attraverso un'opera costante di sensibilizzazione, informazione e formazione, i cittadini acquisiscono consapevolezza delle potenzialità dell'ambiente che li circonda e con la loro presenza possono dare vita a reti di monitoraggio permanente della qualità delle foreste urbane.



A trent'anni dall'istituzione del Parco di Aguzzano, il presente studio costituisce il primo tentativo di indagine sui servizi ecosistemici associati a quest'area. Ad esso intendiamo far seguire ulteriori approfondimenti basati sull'acquisizione di nuovi dati di campo e nuove procedure di analisi, per migliorare ed aggiornare le conoscenze.

Auspichiamo che studi analoghi vengano condotti anche in altre aree verdi della capitale e che siano riconosciuti come propedeutici per definire piani e strategie di gestione per aumentare la resilienza della nostra città ai cambiamenti climatici.



Metodologia

Se ci si lascia alle spalle una strada affollata e ci si inoltra tra **gli alberi di un parco** si imparano sempre cose nuove

L'AREA DI STUDIO

Il Parco Regionale Urbano di Aguzzano (41°56'10"N, 12°33'54"E) si estende in direzione NE-SW per 59,56 ettari nel settore nord est della capitale. È compreso tra le vie consolari SP22/a Nomentana e SS5 Tiburtina e si affaccia sui quartieri di Rebibbia, Casal de' Pazzi e San Basilio (Fig. 1).

Il territorio del parco occupa per gran parte il fondovalle del fosso di San Basilio prima della confluenza nel collettore fognario e in parte minore le ultime propaggini delle diramazioni secondarie del crinale di Aguzzano (Leone e Patriarca, 1992). L'origine geologica è legata all'ultima fase parossistica del distretto vulcanico laziale ed è testimoniata dalla presenza di pozzolane grigie superiori e tufo litoide lionato (Funiello *et al.*, 2008). La morfologia è di tipo sub-pianeggiante: circa l'80% del territorio ha una pendenza < 5% e solo in corrispondenza degli affioramenti tufacei, nel settore meridionale del parco, sono presenti piccole scarpate verticali con pendenza $\geq 25\%$. Il motivo morfologico più rilevante dell'area è il fosso di San Basilio con una stretta valle che mo-



Fig. 1. Il Parco Regionale Urbano di Aguzzano.

stra pendii moderatamente acclivi.

Dal punto di vista climatico, l'area di studio rientra nella Regione Mediterranea, Tipo mesomediterraneo subumido, Sottotipo mesomediterraneo subumido/termomediterraneo subumido, caratterizzato da temperature minime e massime rispettivamente di circa 10°C e 20°C (valori medi), con precipitazioni che variano dai 680 agli 820 mm (Blasi e Michetti, 2001).

Il parco di Aguzzano non presenta cenosi vegetali di elevata qualità ambientale e risente di un evidente grado di alterazione rispetto all'assetto potenziale. La vegetazione ripariale lungo il fosso di San Basilio con *Salix alba* e *Populus alba* rappresenta l'elemento maggiormente caratterizzante a cui si associano compatte formazioni con *Rubus ulmifolius*, *Arundo plinii*, *Phragmites australis* e *Arundo donax*. Le aree di prateria secondaria, in passato intensamente sfruttate per il pascolo, sono caratterizzate da *Lychnis alba*, *Eruca sativa*, *Galega officinalis*, *Verbascum sinuatum*, *Malva sylvestris*, *Taraxacum officinale* e *Daucus carota*. Sono inoltre presenti alberature di impianto antropico a *Pinus pinea* e *Quercus ilex* e, gestiti a ceppaia, *Platanus x acerifolia* e *Populus x canadensis*. Molto diffusa la presenza delle specie alloctone invasive *Robinia pseudoacacia* e *Ailanthus altissima*.

Il parco di Aguzzano può costituire parte di una rete ecologica con altre aree di valenza naturalistica e fornire una certa continuità biologica tra la campagna romana della Marcigliana a nord, la Riserva Naturale della Valle dell'Aniene a sud

ovest, il Tevere, Villa Ada, Villa Borghese.

STRATIFICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Per effettuare il campionamento stratificato della vegetazione arborea e arbustiva, l'area è stata preliminarmente suddivisa in due settori fisionomicamente più omogenei, sulla base delle tipologie vegetazionali riportate nella Carta della vegetazione naturale e antropica di Roma 1:10.000 (Attorre *et al.*, 1999). Questa carta è stata preferita a studi più recenti quali la Carta delle serie di vegetazione del territorio comunale e la Carta fitosociologica della vegetazione reale del territorio comunale (Blasi, 2007) poiché entrambe realizzate ad una scala troppo piccola per la modesta estensione dell'area di studio (rispettivamente 1:50.000 e 1:20.000).

Il Settore 1 ha una estensione di 22,12 ha (37% della superficie totale) e include le seguenti tipologie vegetazionali:

- Vegetazione ripariale caratterizzata da *Salix alba* e *Populus* sp.pl. (*Salicion albae*);
- Vegetazione arbustiva dei fossi fisionomicamente dominata da *Rubus ulmifolius* e *Arundo donax* e formazioni nitrofile a *Urtica dioica* e *Sambucus ebulus* (*Urtico Sambucetum ebuli*);
- Cespuglieti di ricostituzione dei boschi a caducifoglie caratterizzati da *Spartium junceum*, *Rubus ulmifolius*, *Prunus spinosa* (*Pruno - Rubion*) e boscaglie a *Ulmus minor* (*Ulmetum minoris*);

- Vegetazione arborea infestante a *Robinia pseudoacacia* e *Ailanthus altissima*;
- Vegetazione di impianto antropico a *Pinus pinea*, *Cedrus deodara*, *Eucalyptus globulus*, *Quercus ilex*.

Il Settore 2 ha una estensione di 37,44 ha (63% della superficie totale) e comprende le seguenti tipologie vegetazionali:

- Praterie termofile caratterizzate da *Verbascum sinuatum*, *Hypericum perforatum* e *Calamintha nepeta* (*Brachypodium phoenicoides*);
- Praterie soggette a calpestio caratterizzate da *Lolium perenne*, *Poa annua*, *Malva sylvestris* e *Plantago lanceolata* (*Lolio - Plantaginion*);
- Vegetazione ruderale e nitrofila

(*Echio - Galactition*, *Hordeion leporini*, *Sylibetum mariani*)

AREE DI CAMPIONAMENTO

Sono state individuate 119 aree di campionamento ("plot") con una densità di 2 plot per ettaro, distribuite in maniera random e in numero proporzionale alla superficie dei due settori di campionamento. La distribuzione geografica dei plot è stata ottenuta utilizzando il software GIS *open source* "QGIS" (funzione "Punti casuali"). Sono stati in questo modo individuati 44 plot nel Settore 1 e 75 nel Settore 2 (Fig. 2). Per facilitare le operazioni sul terreno si è deciso di assegnare ai plot forma circolare con raggio 10 m e superficie 314 m².

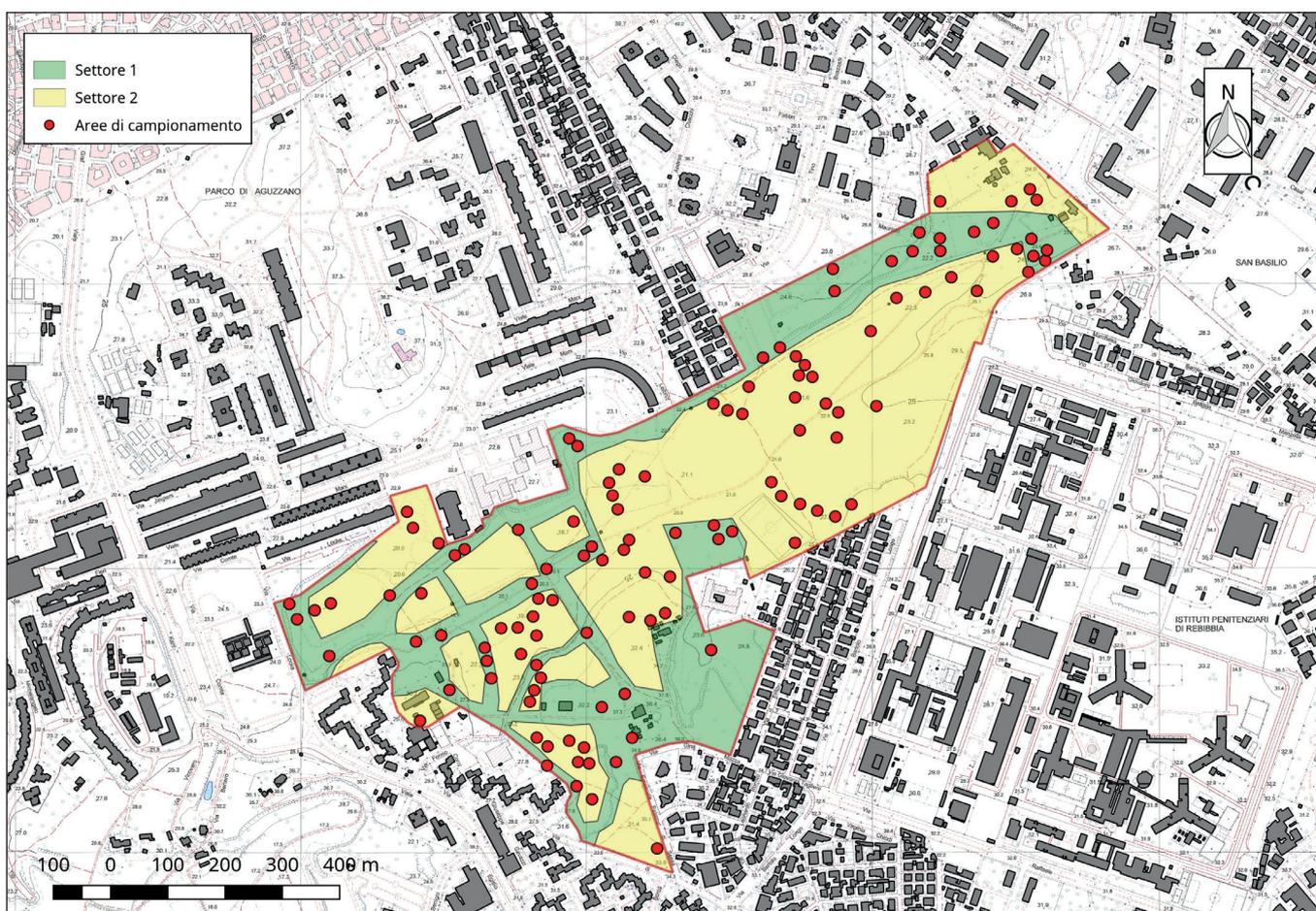


Fig. 2. Settori e aree di campionamento

All'interno delle aree di campionamento sono stati censiti 556 alberi appartenenti a 33 specie e 18 famiglie. Nell'insieme le aree di campionamento coprono il 6,3% del territorio del parco.

i-Tree Eco

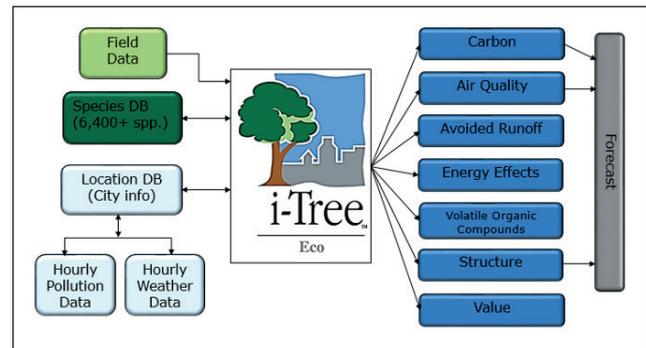
i-Tree (www.itreetools.org/) è una *suite* di strumenti web e desktop ad accesso libero per l'analisi della struttura delle foreste urbane e per la quantificazione dei servizi ecosistemici, che utilizza il modello ambientale denominato UFO-RE (*Urban Forest Effects*) elaborato dal Servizio Forestale degli Stati Uniti (Nowak e Crane, 2000).

Le funzioni disponibili possono avere carattere "*bottom-up*" e prevedere la raccolta dati sul campo e il loro successivo trattamento, o "*top-down*" e utilizzare immagini telerilevate per l'acquisizione delle informazioni necessarie per le analisi. Alcune delle principali applicazioni di i-Tree sono:

- ECO. Consente di studiare la struttura, le minacce e i benefici delle popolazioni forestali e valutare i servizi ecosistemici.
- HYDRO. È un modello di idrologia specifico per la vegetazione in ambiente urbano. È stato progettato per modellare gli effetti dei cambiamenti della copertura delle foreste urbane sul ciclo dell'acqua.
- DESIGN. È un applicativo online che consente di visualizzare in modo rapido gli effetti degli alberi a seconda delle specie, dimensioni e posizione, sul consumo di energia per la clima-

tizzazione degli edifici.

- STREET. Permette di sviluppare analisi sui benefici ambientali ed estetici delle alberature stradali.
- VUE. Fornisce un supporto alla progettazione e gestione della foreste urbane e ne modella gli effetti.



i-Tree è progettato essenzialmente per essere utilizzato nei contesti forestali del Nord America, Canada, Australia e Gran Bretagna, tuttavia tramite l'applicativo i-Tree Database gli utilizzatori internazionali possono implementare il sistema con informazioni relative alla propria area di studio, alle specie presenti, alle precipitazioni e all'inquinamento atmosferico locali e in questo modo utilizzare tutte le funzionalità disponibili.

Nello studio della foresta urbana di Aguzano è stato utilizzato l'applicativo i-Tree ECO v6 (versione 6.1.20) limitando le analisi alla struttura della foresta urbana, alla rimozione degli inquinanti atmosferici (CO, O₃, NO₂, SO₂ e PM_{2,5}), al sequestro e fissazione del carbonio, alla produzione di ossigeno e alla riduzione del deflusso superficiale delle acque meteoriche. Non sono state invece utilizzate in questa fase altre funzioni quali il calcolo della riduzione delle emissioni di CO₂ per minori consumi energetici degli edifici

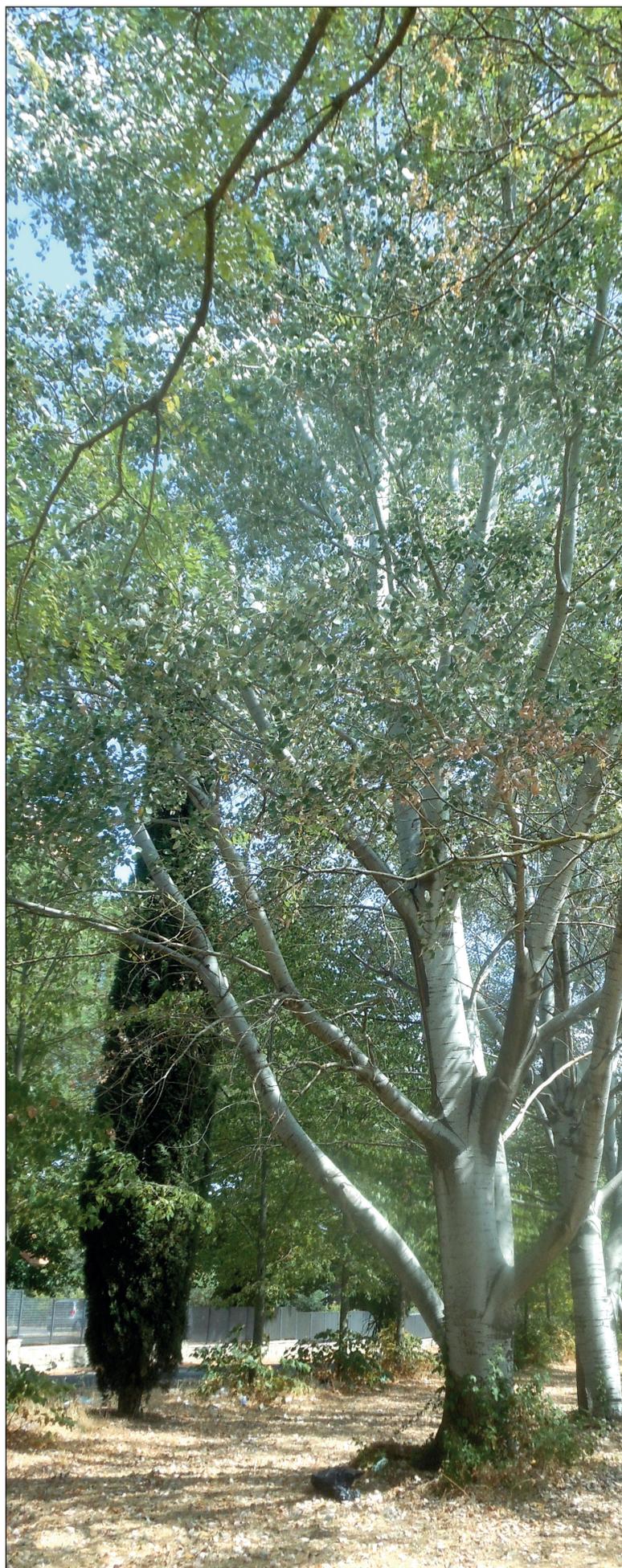
adiacenti il parco, la diffusione di fitoparassiti e la minore incidenza di affezioni cardiorespiratorie dovute alla minore esposizione agli agenti inquinanti.

Il sistema ha anche prodotto una stima del valore economico dei servizi ecosistemici, tuttavia si consiglia di utilizzare con cautela queste stime. Infatti è stato possibile fornire i valori di riferimento adottati in Italia solo per il carbonio (CE, 2003), per l'ozono troposferico (Comitato Capitale Naturale, 2017) e per la ricarica delle falde acquifere (Gaglioppa e Marino, 2016)¹, mentre per le altre variabili sono stati utilizzati i valori medi europei delle esternalità (van Essen *et al*, 2011) o le equazioni di regressione BenMAP (Nowak *et al*, 2014).

Variabile	Servizio ecosistemico	Valori di riferimento	
		€/t	€/m ³
CO		1.271,00	
O ₃		4.419,00	
NO ₂	Rimozione	8.951,00	
SO ₂		2.191,00	
PM _{2,5}		5.976,00	
C	Sequestro e fissazione	100,00	
H ₂ O	Riduzione deflusso superficiale		9,80

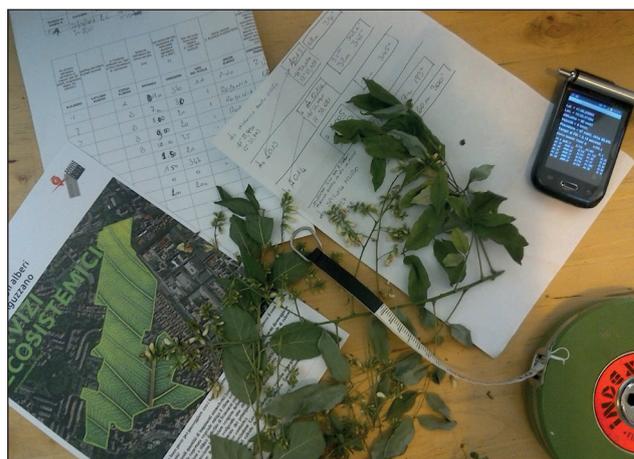
Tab. 1. Valori di riferimento utilizzati da i-Tree per la stima del valore economico dei servizi ecosistemici.

¹ Gli Autori stimano per il Parco regionale delle Orobie Valtellinesi una ricarica delle falde acquifere pari a 45.746.420 m³/anno con un valore economico (una tantum) di 448.314.915 €.



SCHEDA DI CAMPO E STRUMENTI DI MISURAZIONE

Per la raccolta dati sul campo è stata predisposta una apposita scheda suddivisa in tre sezioni: “Sez. plot”, “Sez. alberi” e “Sez. arbusti” (Fig. 3). Per ciascuna colonna sono riportate le informazioni minime necessarie all’operatore per la compilazione.



SEZ. PLOT	1: Settore 1 2: Settore 2	Centro plot			ID univoco del plot		Percentuale del plot accessibile (%)	Percentuale del plot coperta dalle chiome degli alberi (%)	Percentuale del plot occupata dai cespugli (%)
SEZ. ALBERI	ID univoco dell'albero	A: impianto B: spontaneo	Dal centro plot (m)	Deviazione dal nord (0-360°)		A 1,3 m da terra (cm)	d = C/π (cm)		
SCHEDA	SETTORE	LAT/LOG	DATA/ORA	RILEVATORE	ID	USO DEL SUOLO	AGIBILE	COPERTURA ARBOREA	COPERTURA ARBUSTI
018	1	41.932383 12.562683	27/06/2017 17:55	MS	A036	AA	100	60	65
LAT/LOG	ID	STATUS	DISTANZA	DIREZIONE	SPECIE	CIRCONFERENZA	DIAMETRO		
41.932383 12.562667	A036/1	B	2,8	226°	<i>Ulmus minor</i>	48	15,28		
41.932167 12.562783	A036/2	A	6,5	282°	<i>Quercus ilex</i>	107	34,06		
Dal suolo alla cima (anche se la parte apicale è secca) (m)	Dal suolo alla estremità superiore della chioma vitale. Se la parte apicale è secca, si esclude dalla misurazione (m)	Dal suolo all'inizio della chioma (m)	Proiezione al suolo della chioma misurata in direzione N-S e E-O (m ²)	Area di insidenza impermeabilizzata (es. superficie asfaltata) (%)	Volume della chioma mancante (%)	Lati dai quali l'albero riceve la luce (1-5)	Stato di deperimento (%)		
ALTEZZA TOT	ALTEZZA VITALE	ALTEZZA INIZIO	AREA INSIDENZA	IMPERMEABILIZ.	MANCANTE	ESPOSIZIONE	DEPERIMENTO		
5	5	1,5	1,2x1,8	0	25	3	30		
9	9	2,8	4,2x3,9	0	0	4	5		
SEZ. ARBUSTI	(m)	Se specie diverse, percentuale del plot occupata da ciascuna specie (%)	Percentuale mancante di ciascun gruppo (%)						
SPECIE	ALTEZZA	COPERTURA	MANCANTE						
<i>Rubus ulmifolius</i>	1,4	80	0						
<i>Sambucus ebulus</i>	0,6	20	0						

Fig. 3. Scheda di campo.

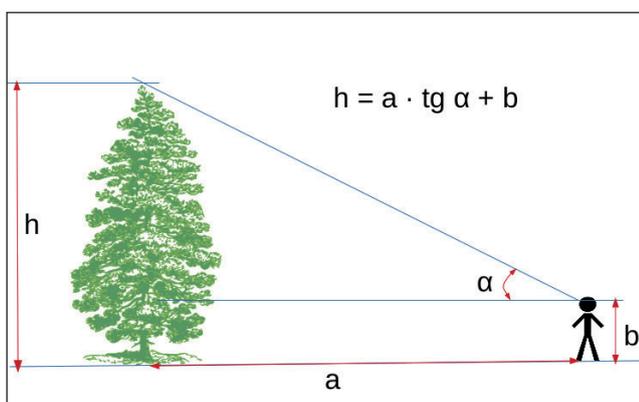


Fig. 4. Metodo trigonometrico per il calcolo dell'altezza degli alberi

Per la delimitazione delle aree di campionamento, la misura delle aree di insidenza e le circonferenze dei tronchi è stata utilizzata una comune rotella metrica forestale. Per determinare l'altezza degli alberi è stato utilizzato un clinometro analogico e sono state applicate le proprietà trigonometriche dei triangoli rettangoli (Fig. 4). In taluni casi è stato sufficiente procedere in maniera

empirica e stimare l'altezza di un albero per confronto con l'altezza del rilevatore o con quella di oggetti di altezza nota presenti sul posto (recinzioni, edifici, muri, ecc.).

Per determinare la posizione geografica degli alberi è stata utilizzata la app per Android "GPSHelper"; per misurare le direzioni e le distanze degli alberi rispetto al centro del plot è stata utilizzata una comune bussola magnetica e la rotella metrica.

Per assegnare lo stato di salute di ciascun albero è stata utilizzata la scala percentuale indicata nel Manuale di i-Tree. Lo stato di salute è stato valutato dall'operatore attraverso l'esame dei parametri riportati in Tab. 2.

DESCRIZIONE	DEPERIMENTO	STATO DI SALUTE
Albero sano e vigoroso	0%	Eccellente
Albero di discreto vigore, privo di ferite e attacchi parassitari	1-10 %	Buono
Albero di discreto vigore, ferite lievi in cicatrizzazione, attacchi parassitari limitati	10-25 %	Discreto
Albero di modesto vigore, ferite mal cicatrizzate, presenza di gravi attacchi parassitari	25-50 %	Scarso
Alberi con processi di deperimento irreversibili, ferite rilevanti, presenza di corpi fruttiferi fungini	50-75 %	Critico
Albero quasi interamente secco	75-99 %	Disperato
Albero morto	100 %	Albero morto

Tab 2. Classi di deperimento degli alberi.

DATI ATMOSFERICI

Il software i-Tree richiede agli utilizzatori internazionali (non USA, UK, Canada e Australia) di fornire i dati orari relativi al

proprio sito, per un intero anno solare, sia delle concentrazioni atmosferiche di CO, O₃, NO₂, SO₂ e PM_{2,5}, sia delle precipitazioni. È essenziale per lo svolgimento delle analisi che i dati coprano l'intero anno e siano riferiti, per gli inquinanti e per le precipitazioni, al medesimo anno; meno importante invece è che i dati siano recenti ("... *the year does not have to be recent, but it needs to be complete and within the same calendar year for all pollutants*").

I dati forniti dagli utilizzatori internazionali vengono implementati nel sistema in occasione del rilascio di una nuova release del software, che avviene successivamente alla pubblicazione dei dati climatici ufficiali degli Stati Uniti da parte del *National Climatic Data Center* del NOAA. Nel 2017 il database climatico di i-Tree era aggiornato fino al 2015, per cui è stato possibile utilizzare solo i dati climatici dell'area di studio relativi al 2015. Le concentrazioni orarie degli inquinanti atmosferici sono state acquisite tramite il portale dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale ARPA Lazio (<http://www.arpalazio.net/>) utilizzando i rilevamenti delle due centraline più vicine all'area di studio, "Bufalotta" e "Villa Ada" (Tab. 3):

Stazione di rilevamento	Latitudine Longitudine	Tipo di stazione	Inquinante
BUFALOTTA via Monte Canda, 13	41.947649 12.533682	Fondo urbano residenziale	CO, NO ₂ , O ₃
VILLA ADA via Salaria, 275	41.932874 12.506971	Background urbano	PM _{2,5} , SO ₂

Tab. 3. Centraline di rilevamento utilizzate.

I dati orari sulle precipitazioni sono stati forniti dall'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio - ARSIAL, Via Rodolfo Lanciani, 38 - Roma.

Per quanto riguarda i dati di temperatura, umidità dell'aria e radiazione solare, è stata utilizzata come regione climatica USA di riferimento la regione mediterranea della California centrale (McPherson, 2010).

USO DEL SUOLO

Sono state esaminate le seguenti cartografie di uso del suolo disponibili per l'area di studio: "CORINE Land Cover 2006", scala 1:100.000, unità minima cartografata 25 ettari (ISPRA, 2010); "Carta dell'uso del suolo e delle fisionomie vegetazionali del territorio comunale. Agg. 2006-2007", scala 1:20.000 (Comune di Roma, 2007a)

La Carta dell'uso del suolo CORINE riporta un'unica classe per l'intera area del Parco di Aguzzano: *2.1.1.1 Colture intensive*.

La Carta elaborata dal Comune di Roma nell'ambito del PRG vigente riporta le seguenti classi: *2.1.1 Seminativi in aree non irrigue e prati stabili*; *2.3.1 Sistemi colturali e particellari complessi e colture temporanee associate a colture permanenti*; *1.4 Zone verdi artificiali non agricole*; *3.1.1.2.1b Querceti dei fondovalle a Quercus cerris e Q. frainetto con presenza di Q. robur*.

Tra i mesi di settembre e dicembre 2017 sono stati effettuati numerosi soprall-

luoghi speditivi nell'area di studio volti a verificare la consistenza delle informazioni contenute nelle carte di uso del suolo disponibili. Oltre a verificare l'inesistenza della classe *2.1.1.1 Colture intensive*, poiché tali pratiche sono state abbandonate con l'istituzione del parco, è stata verificata anche la scomparsa del lembo di querceto misto (*3.1.1.2.1b*), localizzato secondo la Carta dell'uso del suolo del Comune di Roma nel settore meridionale del parco. Qui infatti nel corso del 2012 l'amministrazione comunale ha portato a termine la bonifica di una micro-discarda di rifiuti, intervento che ha verosimilmente comportato la rimozione di una grossa parte della vegetazione preesistente, oggi sostituita da *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Laurus nobilis* e *Rubus ulmifolius*.

Data la modesta estensione dell'area di studio, è stato possibile aggiornare e articolare ulteriormente la carta di uso del suolo mantenendo come base di riferimento la legenda delle classi CORINE Land Cover 2006.

Attraverso il plugin per QGIS "SCP (Semi-Automatic Classification Plugin)" è stata eseguita una preliminare classificazione supervisionata di un'immagine multispettrale dell'area del parco, acquisita dal satellite Sentinel-2 l'8 ottobre 2017. La procedura di acquisizione dei prodotti Sentinel tramite *Copernicus Open Access Hub*, così come l'utilizzo del plugin SCP esulano dalle finalità del presente rapporto. Per approfondimenti: <https://scihub.copernicus.eu/>; <http://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/it/latest/>

Per la classificazione supervisionata dell'area sono state utilizzate le 119 aree di campionamento come punti di controllo al suolo (*Ground Control Point*), ulteriormente verificati attraverso indagini speditive sul campo. Da ultimo le elaborazioni sono state confrontate con le ortofotocarte disponibili presso il GeoPortale del Comune di Roma (<http://comuneroma.globogis.it/servizi>) e corrette quando necessario.

In questo modo nell'area del parco di Aguzzano sono state individuate sei classi di uso del suolo:

- 1.1.2.3 Tessuto urbano discontinuo rado, principalmente residenziale;
- 1.4.2.2 Strutture di sport e tempo libero;
- 1.4.1 Aree verdi urbane;

- 2.3.2 Superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorate;
- 2.4.2 Sistemi colturali e particellari complessi;
- 4.1.1.1 Vegetazione a dominanza di canneti/giuncheti (zone umide fluviali).

Nella classe "1.1.2.3 Tessuto urbano" sono state raggruppate tre tipologie: "Residenziale", "Commerciale" e "Altri edifici".

In Tab. 4 vengono riportate le classi di uso del suolo (UDS) ricodificate e descritte.

In Fig. 5 è riportata la Carta dell'uso del suolo del parco di Aguzzano.

	CORINE Land Cover	Cod	UDS
1.1.2.3. Tessuto urbano discontinuo rado, principalmente residenziale	Spazi caratterizzati dalla presenza di edifici. Gli edifici, la viabilità e le superfici a copertura artificiale coesistono con superfici coperte da vegetazione e con suolo nudo, che occupano in maniera discontinua aree non trascurabili. Gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente occupano dal 10 al 30% della superficie totale.	AC	Attività commerciale
		RE	Residenziale
		AE	Altri edifici
1.4.1. Aree verdi urbane	Spazi ricoperti di vegetazione compresi nel tessuto urbano. Ne fanno parte cimiteri con abbondante vegetazione e parchi urbani.	AA	Altre aree di libera fruizione
1.4.2.2. Strutture di sport e tempo libero	Aree utilizzate per camping, attività sportive, parchi di divertimento, campi da golf, ippodromi, rovine archeologiche e non, ecc.	AS	Aree per attività sportive
2.3.2. Superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorate	Superfici a copertura erbacea densa a composizione floristica rappresentata principalmente da graminacee, non soggette a rotazione. Sono per lo più pascolate ma il foraggio può essere raccolto meccanicamente. Ne fanno parte i prati permanenti e temporanei e le marcite. Sono comprese inoltre aree con siepi.	PN	Prato naturale
2.4.2. Sistemi colturali e particellari complessi	Mosaico di piccoli appezzamenti con varie colture annuali, prati stabili e colture permanenti, occupanti ciascuno meno del 75% della superficie totale dell'unità.	UA	Uso agricolo
4.1.1.1. Paludi interne, terrestri	Vegetazione a dominanza di canneti/giuncheti (zone umide fluviali)	FR	Fascia ripariale

Tab 4. Classi di uso del suolo.

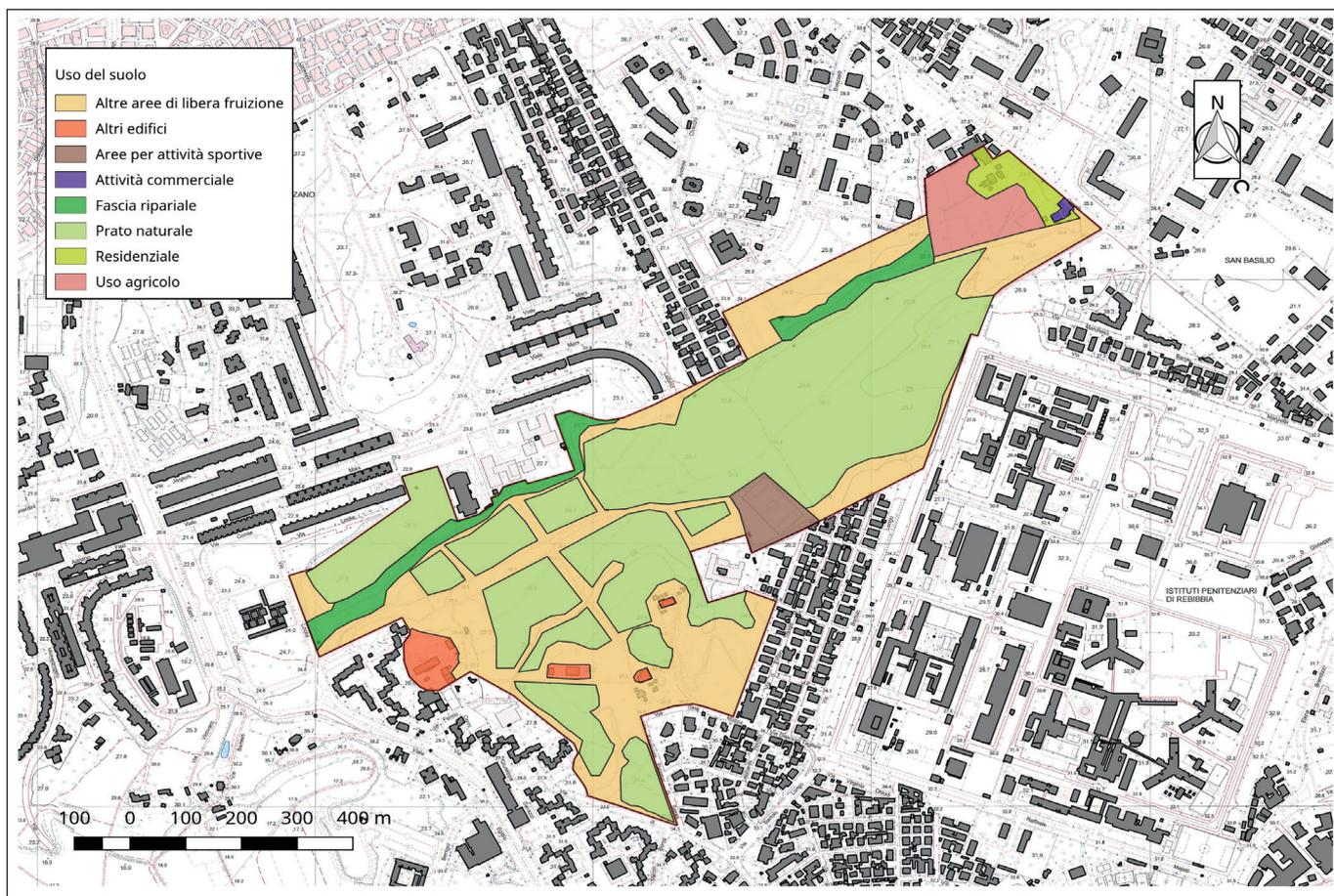
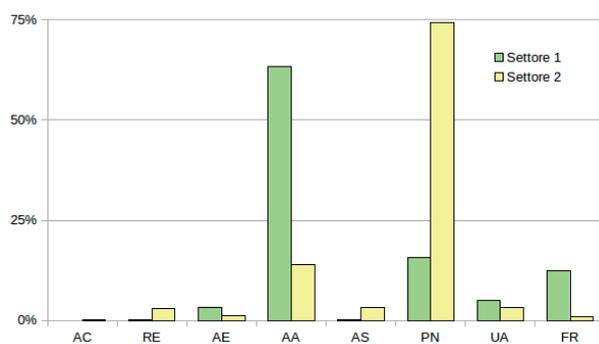


Fig. 5. Carta dell'uso del suolo del Parco Regionale Urbano di Aguzzano

La distribuzione delle diverse classi di uso del suolo all'interno dei settori di campionamento mostra che la classe 1.4.1. *Aree verdi urbane*, ricodificata "AA - Altre aree di libera fruizione" è presente prevalente nel Settore 1 (63,36%), mentre la classe 2.3.2 *Superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorate*, ricodificata "PN - Prato naturale", prevale nel Settore 2 (74,36%).



CORINE Land Cover	COD	Settore 1			Settore 2	
		Superficie ha	Superficie %	Plot n	Superficie %	Plot n
1.1.2.3.	AC	0,09	0,00%	0	0,24%	0
	RE	1,13	0,15%	0	2,93%	0
	AE	1,18	3,36%	0	1,17%	1
1.4.1.	AA	19,21	63,36%	31	13,91%	7
1.4.2.2.	AS	1,26	0,25%	0	3,22%	1
2.3.2.	PN	31,30	15,63%	8	74,36%	58
2.4.2.	UA	2,33	4,95%	0	3,30%	8
4.1.1.1.	FR	3,05	12,30%	5	0,88%	0
		59,56	100,00%	44	100,00%	75



Tab. 5. Distribuzione delle classi di uso del suolo e delle aree di campionamento nei due settori e rappresentazione grafica.

Struttura della foresta urbana di Aguzzano

Le foreste urbane osservate con attenzione possono rivelarsi sorprendenti **luoghi di biodiversità**

SPECIE PRESENTI

Nel parco di Aguzzano sono stati censiti 556 alberi appartenenti a 33 specie e 18 famiglie (Tab. 6). La superficie campionata è stata di 3,74 ha (circa il 6,3% del parco).

Sulla base di questi dati, i-Tree ha stimato la presenza nel parco di 8.932 ± 1.049 alberi, 5.800 ± 3.788 nel Settore 1 e 3.132 ± 692 nel Settore 2, più esteso ma occupato prevalentemente da praterie secondarie.

La copertura arborea è del 26,6%. Il 92% degli alberi è costituito da latifoglie decidue, il 5% da latifoglie sempreverdi e il 3% da conifere.

In relazione alle classi di uso del suolo, il 65,8% di tutti gli alberi è distribuito nella classe “Altre aree di libera fruizione”, il 17,9% nella classe “Prato naturale”, il 7,9% nella “Fascia ripariale”, il 3,4% nelle aree di “Uso agricolo” e il 4,9 nelle aree residenziali - “Residenziale” e “Altri edifici” (Tab. 7).

	Specie	Famiglia	n	%
d	<i>Ailanthus altissima</i>	Simaroubaceae	1.963 ± 711	22,0%
d	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabaceae	1.317 ± 494	14,7%
d	<i>Platanus x acerifolia</i>	Platanaceae	968 ± 275	10,8%
d	<i>Prunus cerasifera</i>	Rosaceae	774 ± 184	8,7%
d	<i>Ulmus minor</i>	Ulmaceae	548 ± 300	6,1%
d	<i>Populus x canadensis</i>	Salicaceae	517 ± 227	5,8%
d	<i>Populus alba</i>	Salicaceae	445 ± 386	5,0%
sv	<i>Quercus ilex</i>	Fagaceae	336 ± 120	3,8%
c	<i>Pinus pinea</i>	Pinaceae	242 ± 84	2,7%
d	<i>Tilia platyphyllos</i>	Malvaceae	240 ± 98	2,7%
d	<i>Fraxinus ornus</i>	Oleaceae	159 ± 83	1,8%
d	<i>Pyrus communis</i>	Rosaceae	159 ± 139	1,8%
d	<i>Juglans regia</i>	Juglandaceae	144 ± 82	1,6%
d	<i>Acer negundo</i>	Sapindaceae	129 ± 79	1,4%
d	<i>Prunus spinosa</i>	Rosaceae	128 ± 79	1,4%
d	<i>Salix alba</i>	Salicaceae	113 ± 77	1,3%
d	<i>Celtis australis</i>	Cannabaceae	113 ± 71	1,3%
d	<i>Crataegus monogyna</i>	Rosaceae	111 ± 108	1,2%
sv	<i>Laurus nobilis</i>	Lauraceae	80 ± 40	<1,0%
d	<i>Corylus avellana</i>	Betulaceae	79 ± 77	<1,0%
c	<i>Thuja occidentalis</i>	Cupressaceae	48 ± 47	<1,0%
d	<i>Ficus carica</i>	Moraceae	48 ± 35	<1,0%
d	<i>Malus sylvestris</i>	Rosaceae	48 ± 46	<1,0%
d	<i>Punica granatum</i>	Lythraceae	48 ± 46	<1,0%
d	<i>Quercus robur</i>	Fagaceae	48 ± 46	<1,0%
d	<i>Acer campestre</i>	Sapindaceae	16 ± 16	<1,0%
d	<i>Maclura pomifera</i>	Moraceae	16 ± 16	<1,0%
sv	<i>Olea europaea</i>	Oleaceae	16 ± 16	<1,0%
d	<i>Gleditsia triacanthos</i>	Fabaceae	16 ± 15	<1,0%
d	<i>Ligustrum lucidum</i>	Oleaceae	16 ± 15	<1,0%
c	<i>Pinus pinaster</i>	Pinaceae	16 ± 15	<1,0%
d	<i>Prunus persica</i>	Rosaceae	16 ± 15	<1,0%
sv	<i>Pyracantha coccinea</i>	Rosaceae	16 ± 15	<1,0%
			8.932 ± 1.049	100%

Tab. 6. Specie arboree censite nella foresta urbana di Aguzzano (c = conifere; d = latifoglie decidue; sv = latifoglie sempreverdi).

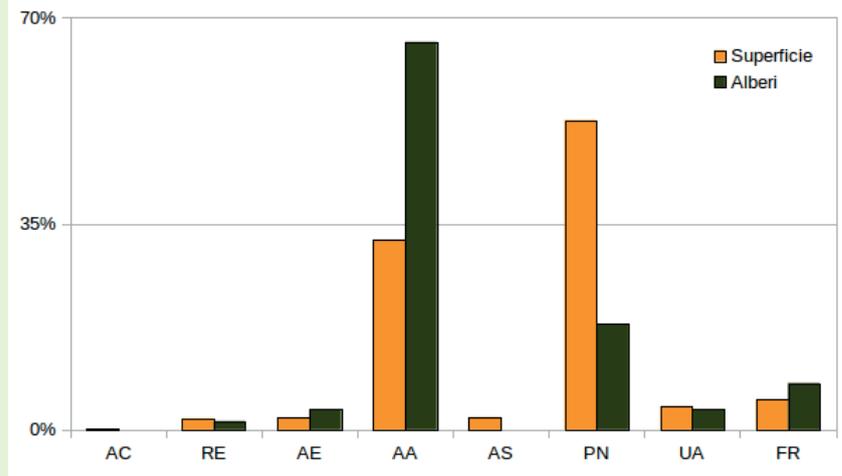
La densità degli alberi è di circa 150 per ettaro (Tab. 8), ben al di sopra della densità media di 5,2 alberi/ettaro registrata nel territorio fortemente urbanizzato del Municipio IV entro cui il parco ricade (Roma Open Data, 2016).

Delle 33 specie censite, sedici rappresentano da sole il 90% degli alberi. Tra queste, una conifera (*Pinus pinea*), una latifolia sempreverde (*Quercus ilex*) e quattordici latifoglie decidue.

Le prime dieci specie maggiormente rappresentate nei due settori di campionamento sono riportate in Tab. 9.

La prevalenza di individui appartenenti a specie esotiche invasive (*Ailanthus altissima* e *Robinia pseudoacacia*) testimonia le profonde alterazioni della fisionomia vegetazionale intervenute nel corso del tempo a causa delle attività umane, che hanno impedito il raggiungimento di una maggiore complessità strutturale forestale. Tuttavia stabilire l'importanza delle specie solo in base al numero di individui

CORINE Land Cover	Cod.	Categorie di uso del suolo	Superficie		Alberi	
			ha	%	n	%
1.1.2.3.	AC	Attività commerciale	0,09	0,15%	0	0%
	RE	Residenziale	1,13	1,90%	129	1,44%
	AE	Altri edifici	1,18	1,98%	305	3,42%
1.4.1.	AA	Altre aree di libera fruizione	19,21	32,26%	5.880	65,83%
1.4.2.2.	AS	Aree per attività sportive	1,26	2,12%	0	0%
2.3.2.	PN	Prato naturale	31,30	52,56%	1.606	17,99%
2.4.2.	UA	Uso agricolo	2,33	3,91%	305	3,42%
4.1.1.1.	FR	Fascia ripariale	3,05	5,12%	707	7,91%
			59,56	100%	8.932	100%



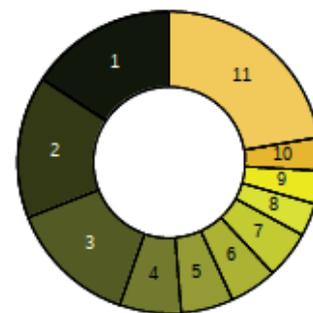
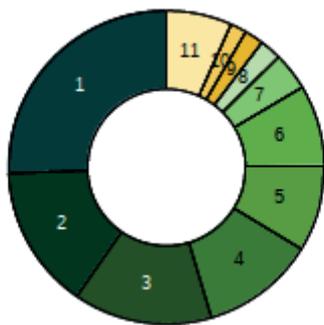
Tab. 7. Distribuzione degli alberi nelle differenti categorie di uso del suolo. La categoria di uso del suolo “AA-Altre aree di libera fruizione”, pur occupando poco più del 32% della superficie del parco di Aguzzano, ospita il 65,8% della popolazione arborea.

Settore	Area studio		Area campionata		Popolazione arborea stimata		
	Superficie (ha)	(%)	Plot (n)	Superficie (ha)	(%)	Dimensione (n)	Densità (n/ha)
1	22,12	37,1%	44	1,38	2,4%	5.800 ± 788	262,2
2	37,44	62,9%	75	2,35	4,0%	3.132 ± 692	83,6
Tot.	59,56	100%	119	3,73	6,4%	8.932 ± 1.049	149,97

Tab. 8. Dimensione e densità della popolazione arborea stimata nel parco di Aguzzano.



Settore 1				Settore 2			
	Specie	n.	%		Specie	n.	%
1	Ailanthus altissima	1.486 ± 686	25,62%	1	Robinia pseudoacacia	493 ± 383	15,74%
2	Platanus x acerifolia	857 ± 264	14,78%	2	Ailanthus altissima	477 ± 187	15,23%
3	Robinia pseudoacacia	824 ± 312	14,21%	3	Populus alba	429 ± 386	13,70%
4	Prunus cerasifera	679 ± 180	11,71%	4	Quercus ilex	207 ± 94	6,61%
5	Populus x canadensis	517 ± 227	8,91%	5	Tilia platyphyllos	175 ± 75	5,59%
6	Ulmus minor	485 ± 296	8,36%	6	Fraxinus ornus	159 ± 83	5,08%
7	Pinus pinea	226 ± 83	3,90%	7	Pyrus communis	159 ± 139	5,08%
8	Quercus ilex	129 ± 75	2,22%	8	Crataegus monogyna	111 ± 108	3,54%
9	Salix alba	113 ± 77	1,95%	9	Juglans regia	111 ± 80	3,54%
10	Celtis australis	97 ± 69	1,67%	10	Platanus x acerifolia	111 ± 76	3,54%
11	Altro		6,67%	11	Altro		22,35%



Tab. 9. Presenza percentuale delle principali specie arboree rilevate nei due settori di campionamento.

che le compongono è riduttivo. Se si associano alla dimensione di popolazione delle specie anche i valori della biomassa si possono ottenere ulteriori informazioni.

Nell'area di studio le specie con biomassa maggiore (*Platanus x acerifolia*, *Populus x canadensis*, *Pinus pinea* e *Quercus ilex*) sono rispettivamente la terza, la sesta, la nona e la ottava in ordine di importanza per numero di individui, mentre l'ailanto e la robinia, che presentano le popolazioni più numerose, hanno valori di biomassa più bassi (Fig. 6).

Poiché la biomassa degli alberi è correlata alla fissazione del carbonio, questo parametro fornisce informazioni utili per il calcolo dei servizi ecosistemici.

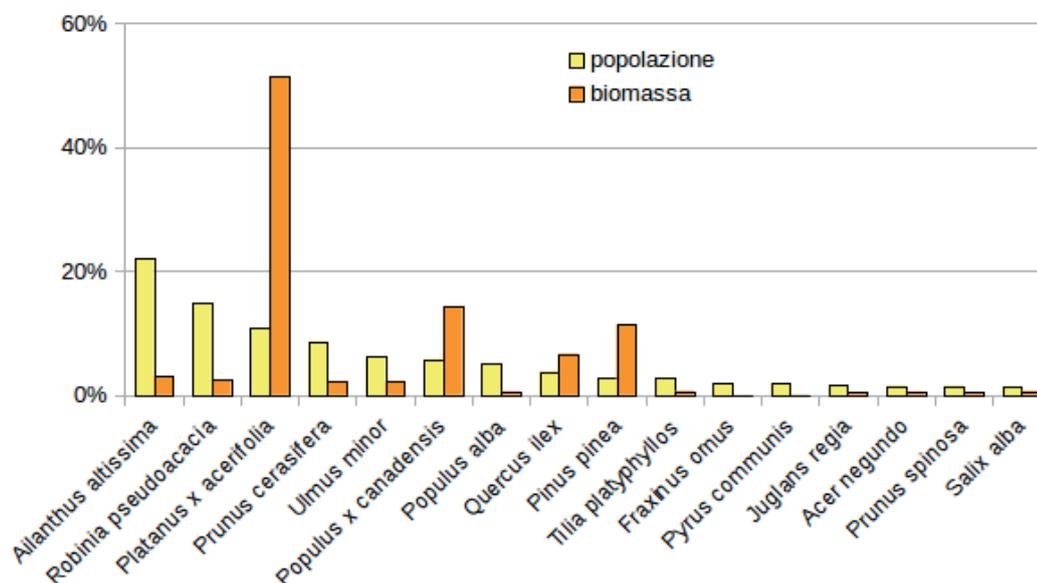


Fig. 6. Confronto tra numero di individui e biomassa nelle prime sedici specie presenti nel parco di Aguzzano.

INDICI DI BIODIVERSITÀ

In base ai dati raccolti sono stati calcolati alcuni indici in grado di descrivere in maniera sintetica le caratteristiche della popolazione arborea dell'area di studio: ricchezza, densità di specie, diversità e equiripartizione (o *evenness*).

- La *ricchezza di specie* corrisponde al numero di specie presenti. Poiché nel corso dei campionamenti alcune specie presenti ma molto localizzate o rappresentate da pochi individui non sono mai state rilevate all'interno di nessun plot (es. *Ceratonia siliqua*, *Juglans nigra*, *Eucalyptus globulus*), si è ritenuto più idoneo l'uso dell'Indice di Menhinick (R), meno sensibile alle caratteristiche del campione, che stima la ricchezza di specie come rapporto tra il numero delle specie rilevate, S , e la radice quadrata del numero degli individui, N :

$$R = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

- La *densità di specie* (d) è il numero delle specie rilevate per unità di superficie. Nel caso in esame la superficie campionata corrisponde alla sommatoria delle aree dei plot, a_i :

$$d = \frac{S}{\sum a_i}$$

- Per calcolare la *diversità di specie* è stato adottato l'Indice di Simpson (H):

$$H = 1 - \sum p_i^2$$

L'Indice di Simpson può assumere

valori compresi tra 0 e 1 e stima la probabilità che due individui scelti a caso in una comunità appartengano alla stessa specie. La probabilità, p_i^2 , si ottiene elevando al quadrato il rapporto tra n_i , numero di individui appartenenti alla specie i -esima, e N , numero totale di individui del campione: $p_i^2 = \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$. Sommando tra loro le probabilità associate a tutte le specie presenti, $\sum p_i^2$, si ha la probabilità che due individui scelti a caso appartengano ad una stessa specie tra tutte le specie presenti; sottraendo all'unità la sommatoria delle probabilità, il valore dell'indice sale per valori di biodiversità alti e scende per valori di biodiversità bassi.

- L'*equiripartizione* (o *evenness*) misura quanto la distribuzione delle specie, indipendentemente dal loro numero, si avvicina a una ripartizione perfettamente equa. È calcolata attraverso l'indice di Pielou (J) ed è il rapporto tra l'indice di biodiversità, H , e la biodiversità massima possibile in base al numero di specie presenti nella comunità ($H_{max} = 1-1/S$):

$$J = \frac{H}{H_{max}}$$

Il Settore 2, pur presentando una densità di specie minore rispetto al Settore 1, mostra una ricchezza di specie maggiore e soprattutto una maggiore equiripartizione e un più alto indice di biodiversità.

Ciò potrebbe trovare una spiegazione

plausibile nella presenza di aree ecotoni tra gli ambienti di prateria secondaria e le fasce ripariali nel Settore 2. Per contro, nel Settore 1 la estrema frammentazione delle residue aree con copertura arborea può generare un “effetto margine” (Battisti, 2004) e quindi aumentare il disturbo derivante dalla matrice antropica. In questo settore le specie alloctone infestanti, ailanto e robinia, esercitano probabilmente una sensibile competizione a carico della vegetazione autoctona. Occorreranno tuttavia ulteriori indagini specifiche per confermare o smentire le ipotesi avanzate.

ORIGINE DELLE SPECIE

In *Tab. 11* sono riportati i tipi corologici delle specie di alberi e arbusti rilevati nella foresta urbana di Aguzzano.

Diversi studi (McKinney *et al.*, 2006; Aronson *et al.*, 2015) considerano l'urbanizzazione uno dei fattori che contribuiscono all'espansione di specie non native, che tuttavia rappresentano spesso una componente importante degli ecosistemi urbani. In considerazione di ciò, i gestori delle foreste urbane e delle infrastrutture verdi non dovrebbero limitarsi alla conservazione dell'assetto

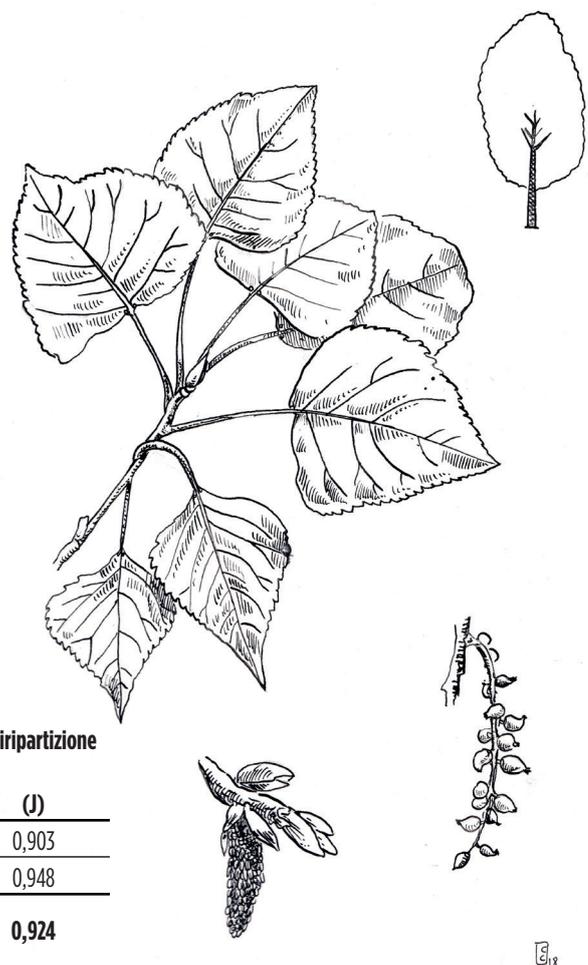
Settore	Numero di specie (S)	Numero di individui (N)	Superficie campionata (ha)	Ricchezza di specie (R)	Densità di specie (d)	Diversità (H)	Equipartizione (J)
1	21	359	1,38	1,108	15,217	0,860	0,903
2	27	197	2,35	1,924	11,489	0,913	0,948
Area di studio	33	556	3,73	1,400	8,847	0,896	0,924

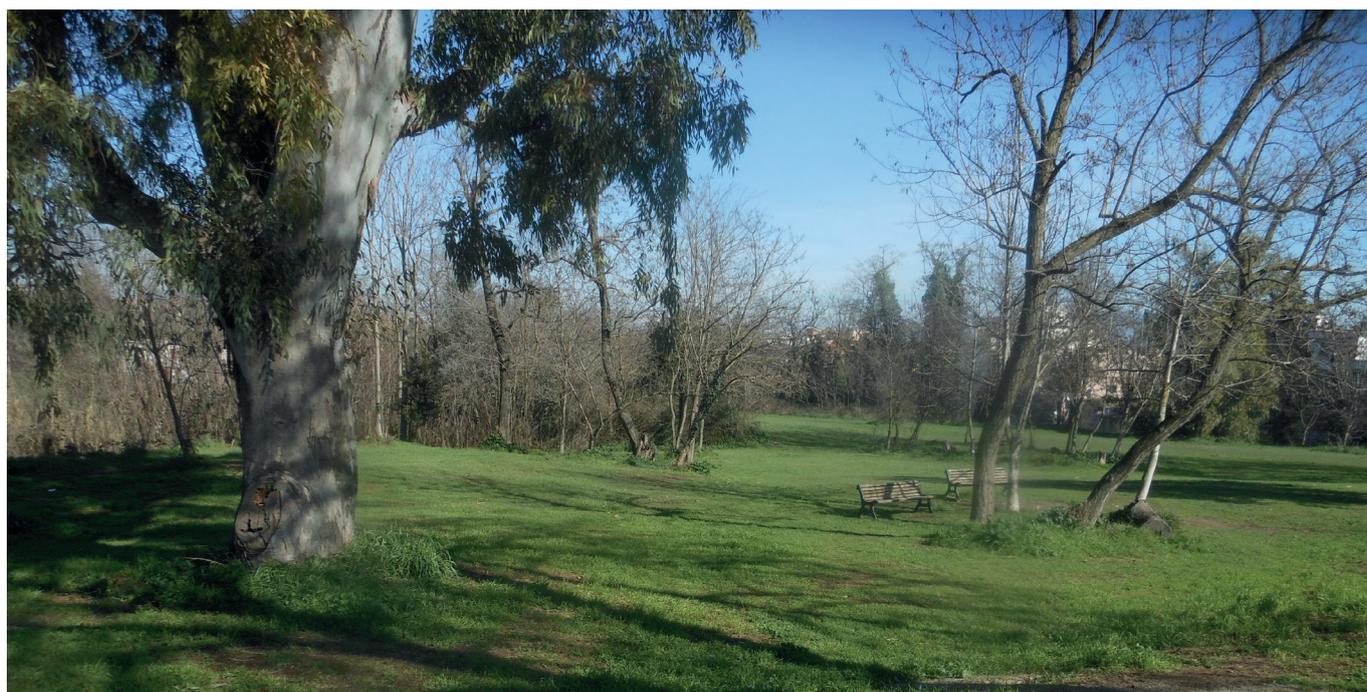
Tab. 10. Indici di biodiversità.

vegetazionale esistente ma dovrebbero prestare attenzione a favorire le specie autoctone appartenenti al pool naturale di specie dell'area.

n. specie	%	Tipo corologico	Descrizione
7	17,95%	Steno-Mediterraneo	Entità mediterranee in senso stretto, con areale limitato alle coste mediterranee (area dell'Olivio)
8	20,51%	Euri-Mediterraneo	Entità con areale centrato sulle coste mediterranee, ma con prolungamenti verso nord e verso est (area della Vite)
8	20,51%	Eurasia	Eurasatiche in senso stretto, dall'Europa al Giappone
6	15,38%	Eurasia +	Eurasatiche in senso lato, che ricompaiono anche nel Nord Africa
5	12,82%	Asia	Piante native del continente asiatico
5	12,82%	Nord America	Piante native del continente nord americano

Tab. 11. Origine biogeografica delle specie di alberi e arbusti censite. (Fonte: Acta Plantarum - <http://www.actaplantarum.org/>)





Capotorti *et al.*, (2017) adottano i criteri di “rappresentatività biogeografica” e di “coerenza ecologica” per definire rispettivamente lo *status* di specie e comunità native di un’area e l’idoneità a specifiche combinazioni climatiche, litomorfologiche e edafiche, cioè la coerenza con la vegetazione potenziale naturale e le relative comunità naturali di sostituzione. Poiché l’ambiente bio-fisico naturale non è mai completamente nascosto dall’urbanizzazione (Blasi *et al.*, 2008), e considerando che le comunità vegetali autoctone ed ecologicamente coerenti tendono ad affermarsi se vengono meno i fattori di disturbo (Miyawaki, 2004; Schirone *et al.*, 2011), i criteri di rappresentatività biogeografica e coerenza ecologica possono costituire i riferimenti per orientare le scelte di conservazione e gestione anche nelle foreste urbane.

Dal punto di vista litomorfologico l’area del parco di Aguzzano si inquadra nel “Sistema dei depositi alluvionali recenti”

e, marginalmente, nella porzione meridionale del parco, nel “Sistema delle formazioni vulcaniche del distretto albano e sabatino”. La vegetazione potenziale naturale della foresta urbana di Aguzzano, cioè la comunità vegetale stabile che si svilupperebbe in assenza di disturbo, viene definita secondo il seguente schema:

Sistema dei depositi alluvionali recenti	<p>Complesso delle serie dei boschi igrofili ripariali e delle serie dei boschi planiziali (<i>Fraxino-Querceto roboris</i> sigmetum, <i>Aro italici-Alneto glutinosae</i> sigmetum, <i>Populeto albae</i> sigmetum, <i>Saliceto albae</i> sigmetum), costituiti da:</p> <ul style="list-style-type: none"> • boschi a dominanza di <i>Quercus robur</i> con <i>Fraxinus oxycarpa</i> e <i>Populus</i> sp.pl. del <i>Fraxino-Quercetum roboris</i>; • boschi igrofili ripariali a dominanza di <i>Alnus glutinosa</i> (<i>Aro italici-Alnetum glutinosae</i>); • boschi ripariali a dominanza di <i>Populus</i> sp. pl. del <i>Populetum albae</i>; • boschi dominati da <i>Salix alba</i> insediati in prossimità dell’alveo (<i>Salicetum albae</i>).
Sistema delle formazioni vulcaniche del distretto albano e sabatino	<p>Serie del cerro e del carpino orientale dei pianori e versanti piroclastici (<i>Carpino orientalis-Quercetum cerridis</i> sigmetum); sui versanti più acclivi serie del leccio e dell’orniello (<i>Fraxino orni-Querceto ilicis</i> sigmetum).</p>

Tab. 12. Serie di vegetazione potenziale coerente con la tipologia litomorfologica e climatica dell’area del parco di Aguzzano (Blasi, 2007).

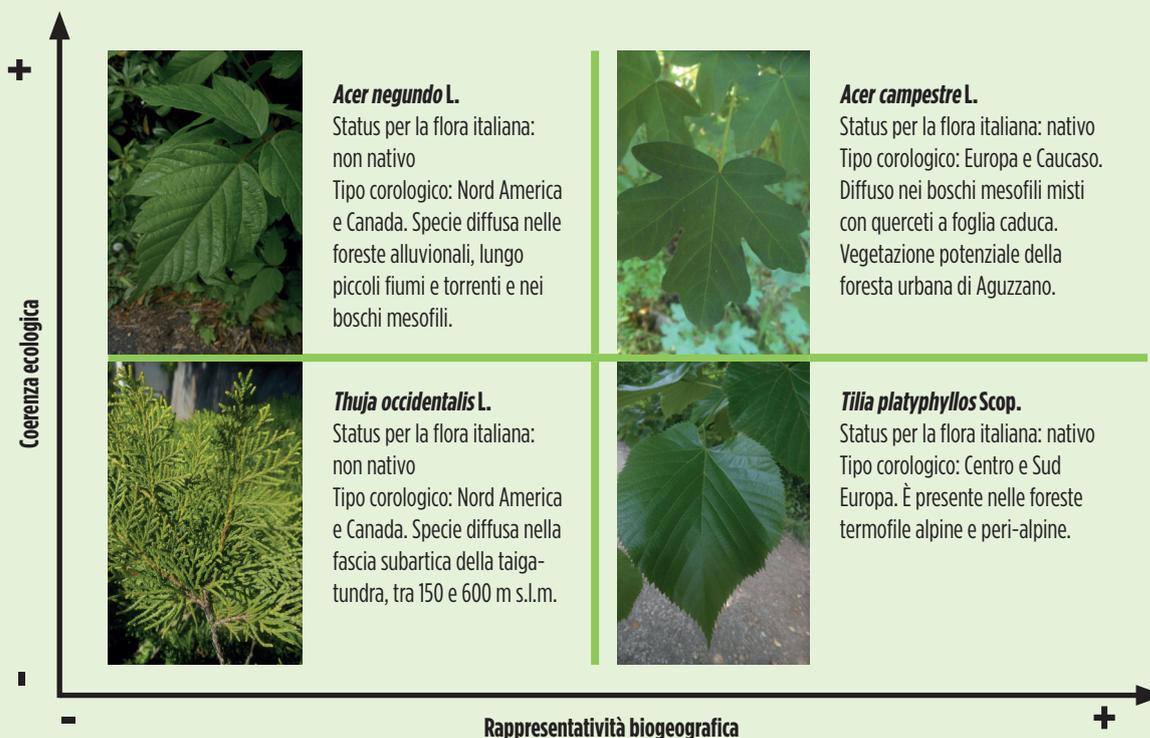


Fig. 7. Differenti valori di Rappresentatività biogeografica e Coerenza ecologica di specie presenti nel parco di Aguzzano (da Capotorti *et al.*, 2017, modificato)

Utilizzando i criteri di “rappresentatività biogeografica” e di “coerenza ecologica” è possibile individuare la criticità o la idoneità delle specie presenti e ottenere informazioni per una corretta gestione. In Fig. 7 è riportato un esempio di confronto tra specie presenti nella foresta urbana di Aguzzano.

STATO DI SALUTE

Lo stato di salute degli alberi è un importante indicatori di qualità delle foreste in ambito urbano poiché fornisce informazioni sulle scelte gestionali adottate (o non adottate) e sulla idoneità ecologica delle specie presenti.

Nella foresta urbana di Aguzzano il 48,4% degli alberi è in condizioni buone o eccellenti, il 25,1% in condizioni di-

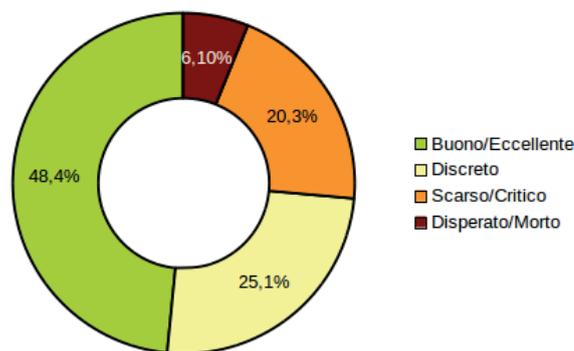


Fig. 8. Stato di salute degli alberi nel parco di Aguzzano.

scrite, il 20,3% in condizioni mediocri o critiche e il 6,1% sono alberi morti o gravemente deperienti (Fig. 8).

I più comuni segnali di deperimento osservati sugli alberi sono stati: ingiallimento delle foglie, importante riduzione della chioma, presenza di corpi fruttiferi di funghi del gen. *Trametes*. Inoltre per quanto riguarda gli alberi di olmo campestre, su quasi tutte le piante sono stati osservati gli effetti della presenza del coleottero crisomelide *Galerucella luteola* consistenti in diffuse lesioni fogliari o defoliazione (Fig. 9).

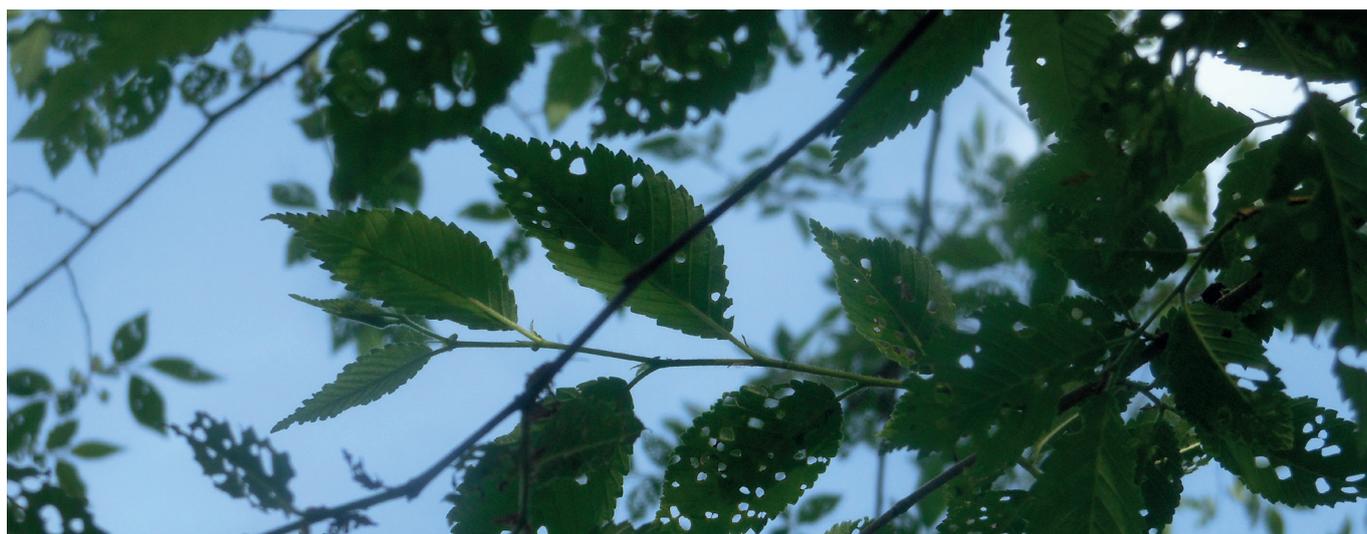
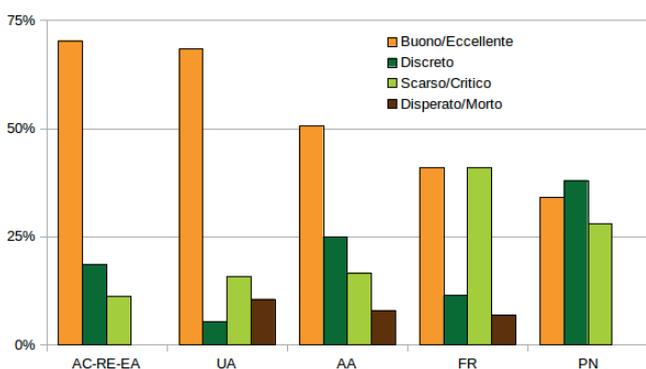


Fig. 9. Effetti del parassita *Galerucella luteola* su foglie di *Ulmus minor*

La classe di uso del suolo con la più alta proporzione di alberi in buone condizioni è quella del “Tessuto urbano discontinuo” che comprende i casali storici e le aree di residenza (AC-RE-EA) con il 70,37% di alberi in condizioni buone o eccellenti, seguita dalle aree adibite a piccole attività agricole (UA) con il 68,42%.

Classi UDS	Buono/Eccellente	Discreto	Scarso/Critico	Disperato/Morto
AC-RE-EA	70,37%	18,52%	11,11%	0,00%
UA	68,42%	5,26%	15,79%	10,53%
AA	50,55%	24,86%	16,67%	7,92%
FR	40,91%	11,36%	40,91%	6,82%
PN	34,00%	38,00%	28,00%	0,00%
AS	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tab. 13. Stato di salute degli alberi nelle diverse classi di uso del suolo e rappresentazione grafica.

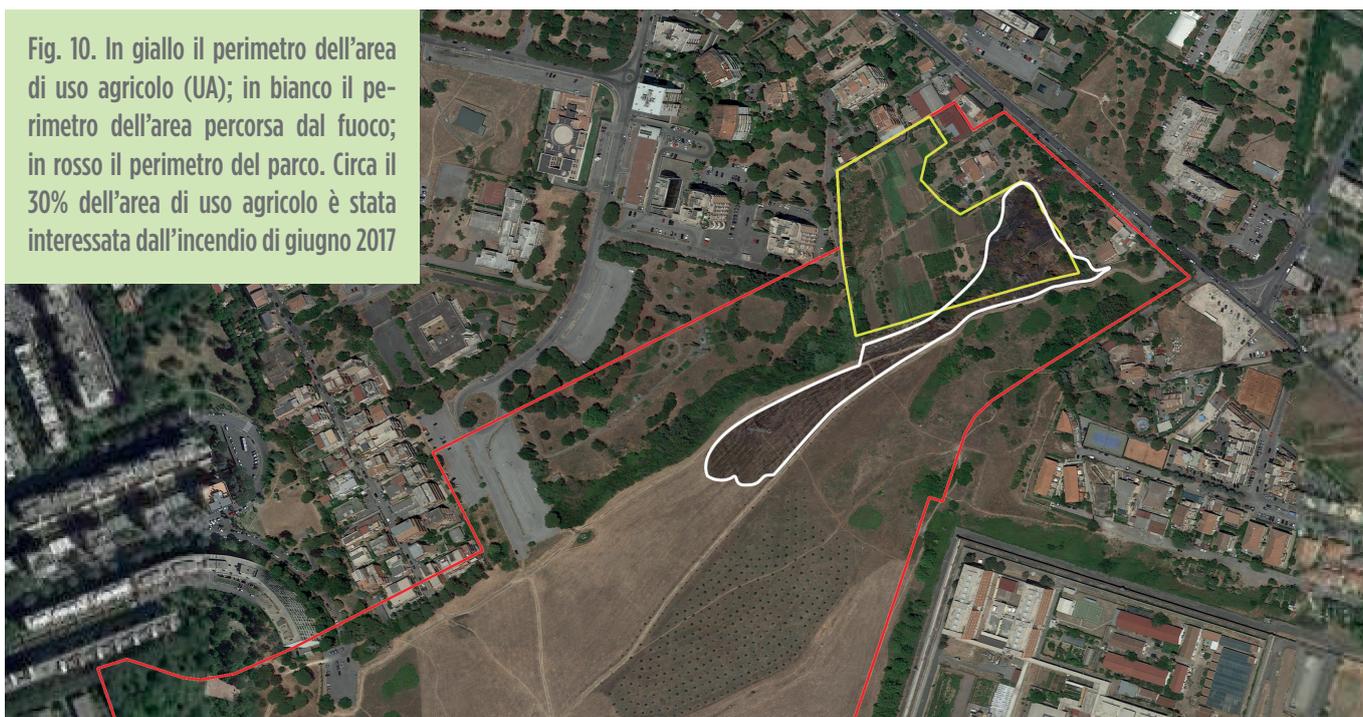


La forte associazione tra la classe “Buono/Eccellente” e le classi “Tessuto urbano discontinuo” e “uso agricolo”, può trovare una spiegazione plausibile da un lato in una maggiore sorveglianza e controllo del territorio in queste aree per la presenza di recinzioni e cancelli e quindi minore esposizione ad atti di vandalismo e dall'altra nelle maggiori cure colturali riservate agli alberi produttivi (*Corylus avellana*, *Juglans regia*, *Malus* sp, ecc.) nell'area di uso agricolo.

Va rilevato tuttavia che un incendio che ha interessato nel mese di giugno 2017 il settore orientale del parco, ha coinvolto in profondità anche l'area di uso agricolo comportando la perdita di numerosi alberi. Per questo motivo attualmente quest'area mostra la maggiore proporzione di alberi morti (10,53%).

Per verificare l'esistenza di un collegamento statisticamente significativo tra lo stato di salute degli alberi e l'uso del suolo è stato effettuato il Test del Chi-quadrato, χ^2 , sul campione di 556

Fig. 10. In giallo il perimetro dell'area di uso agricolo (UA); in bianco il perimetro dell'area percorsa dal fuoco; in rosso il perimetro del parco. Circa il 30% dell'area di uso agricolo è stata interessata dall'incendio di giugno 2017



alberi censiti. Attraverso il Test è stata valutata la possibilità che esista una associazione tra le due variabili categoriali: “*stato di salute*” e “*uso del suolo*”.

Nella prima variabile per motivi di praticità le classi sono state accorpate in due gruppi: alberi in condizioni positive (“Eccellente/Buono” e “Discreto”) indicati con il simbolo “+” e alberi in condizioni negative (“Scarso/Critico” e “Disperato/Morto”) indicati con “-”.

La seconda variabile contiene cinque classi di uso del suolo: “Tessuto urbano discontinuo (AC-Area commerciale; RE-residenziale; AE-Altri edifici)”;

“Prato naturale (PN)”;

L’ipotesi nulla (H_0) prevede che non vi sia alcuna associazione tra le due variabili categoriali e che tutte le classi di uso

del suolo contengano la medesima proporzione di frequenza di alberi appartenenti alle quattro classi di *stato di salute*. Il valore del Chi-quadrato ($\chi^2 = 14,28$, gradi di libertà = 4) supera il valore critico di 9,49 e consente di rigettare l’ipotesi nulla e affermare che esiste un collegamento altamente significativo tra lo stato di salute degli alberi censiti e le classi di uso del suolo con $p < 0,05$ (Tab. 14).

USO DEL SUOLO	n. alberi	STATO DI SALUTE		Test di indipendenza (Chi-quadrato)
		+	-	
AC-RE-EA	27	24	3	Alfa 0,05
AA	366	276	90	df 4
PN	100	72	28	Valore p 0,0064
UA	19	14	5	Statistica del test 14,28
FR	44	23	21	Valore critico 9,49
TOT	556	409	147	

Tab. 14. Frequenze delle condizioni di salute degli alberi nelle classi di uso del suolo: Test del Chi-quadrato.

Il test ovviamente non fornisce alcuna spiegazione circa la natura di tale associazione, che potrà essere messa in luce solo attraverso studi successivi (per approfondimenti sul Test del Chi-quadrato

e altri test statistici usati in Ecologia si veda tra gli altri Fowler e Cohen, 2003).

CLASSI DIMENSIONALI

La classe dimensionale degli alberi è un parametro utile per determinare alcune importanti variabili come la biomassa forestale, l'età e il *trend* di crescita (Semenzato *et al.*, 2011). In generale si può affermare che la forma che assume la distribuzione di frequenza delle classi dimensionali fornisce indicazioni utili per comprendere la relazione spaziale e temporale tra gli alberi e l'interazione con l'ambiente.

Il modello UFORE utilizza i valori del diametro degli alberi per calcolare la biomassa e il *carbon storage*, cioè la quantità di carbonio fissata (Nowak e Crane, 2002).

Nello studio eseguito nella foresta urbana di Aguzzano sono stati oggetto

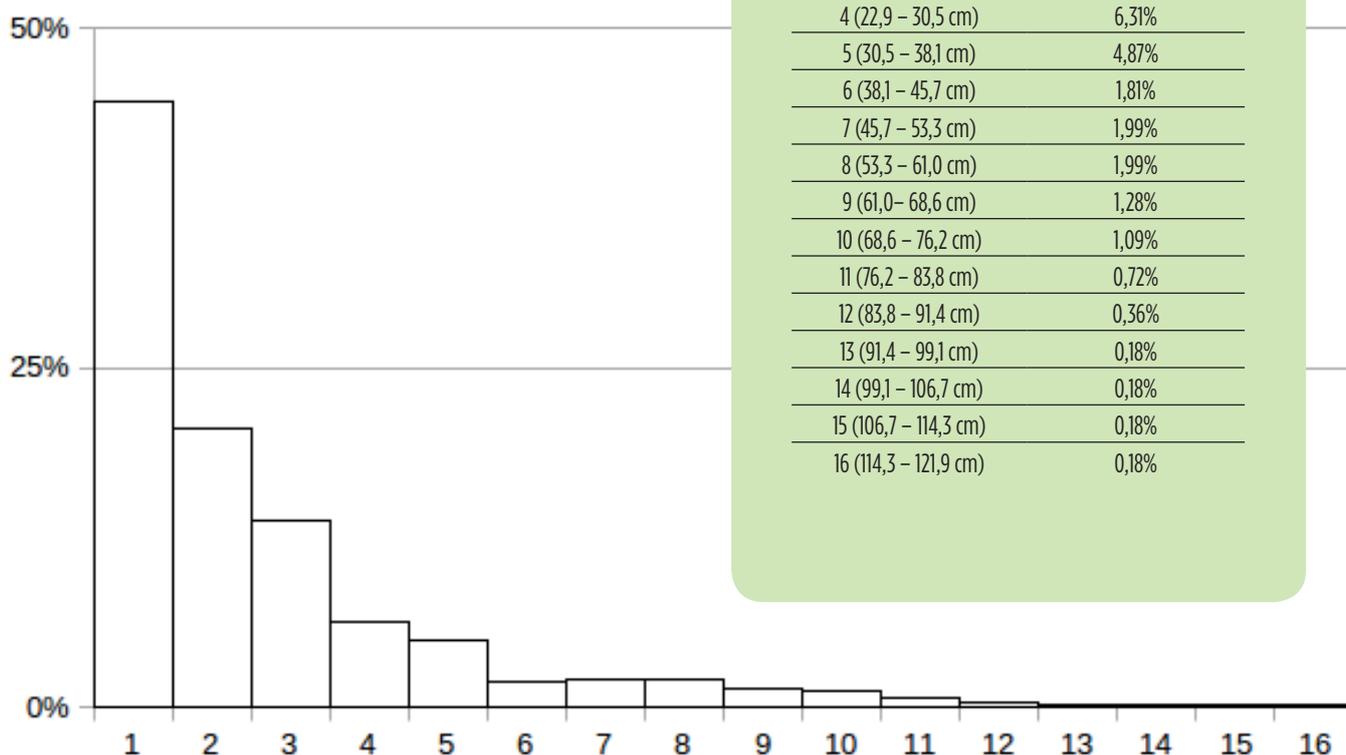
di rilievo gli alberi con diametro misurato a 1,3 m dal suolo (DBH - *diameter at breast height*) $\geq 2,5$ cm. Gli esemplari al di sotto di questo valore sono stati considerati arbusti. Le piante con altezza ≤ 30 cm sono state considerate erbacee e quindi escluse dai rilevamenti.

La popolazione arborea del parco è stata suddivisa in 16 classi diametriche in modo da minimizzare la perdita di informazione.

Il 78,84% degli alberi rientra nelle prime tre classi diametriche. Le specie mag-

Tab. 15. Classi diametriche e distribuzione di frequenza

Classi diametriche	% alberi
1 (2,5 - 7,6 cm)	44,70%
2 (7,6 - 15,2 cm)	20,46%
3 (15,2 - 22,9 cm)	13,68%
4 (22,9 - 30,5 cm)	6,31%
5 (30,5 - 38,1 cm)	4,87%
6 (38,1 - 45,7 cm)	1,81%
7 (45,7 - 53,3 cm)	1,99%
8 (53,3 - 61,0 cm)	1,99%
9 (61,0 - 68,6 cm)	1,28%
10 (68,6 - 76,2 cm)	1,09%
11 (76,2 - 83,8 cm)	0,72%
12 (83,8 - 91,4 cm)	0,36%
13 (91,4 - 99,1 cm)	0,18%
14 (99,1 - 106,7 cm)	0,18%
15 (106,7 - 114,3 cm)	0,18%
16 (114,3 - 121,9 cm)	0,18%



giormente rappresentate in questo raggruppamento sono *Ailanthus altissima* (27,17%) e *Robinia pseudoacacia* (17,31%): più del 95% delle popolazioni di entrambe le specie rientra in questo *range*.

La struttura dimensionale degli alberi di Aguzzano tende a raggrupparsi intorno alle classi dimensionali più basse. È possibile rappresentare congiuntamente la distribuzione degli alberi nelle classi di altezza e di DBH per avere una sommaria idea dell'età della foresta urbana di Aguzzano.

Oltre il 90% della popolazione arborea di Aguzzano è costituita da individui appartenenti a due classi diametriche (<10 cm e 10-40 cm). In questo contingente il contributo maggiore è dato da alberi

più bassi di 5 m (30,58%) o compresi tra 5 e 10 m di altezza (24,28%), Fig. 11.

Questa distribuzione fornisce una indicazione circa la giovane età della popolazione arborea del parco di Aguzzano e la presenza di numerosi individui coetanei. Si può supporre che ciò sia dovuto a numerosi fattori tra cui l'abbandono delle pratiche agricole avvenuto in epoca recente a seguito della istituzione del parco e i ricorrenti incendi boschivi.

Anche un intervento di piantumazione di alberi che nel 2011 ha interessato una superficie di circa 2,5 ha, ha contribuito al ringiovanimento della struttura della foresta urbana di Aguzzano.

Altezza (m)	DBH (cm)				Tot.
	<10	10-40	40-70	>70	
<5	30,58%	4,14%	0,00%	0,00%	34,71%
5-10	22,12%	24,28%	0,72%	0,00%	47,12%
10-15	0,54%	7,91%	3,60%	0,72%	12,77%
>15	0,00%	1,08%	2,88%	1,44%	5,40%
Tot.	53,24%	37,41%	7,19%	2,16%	

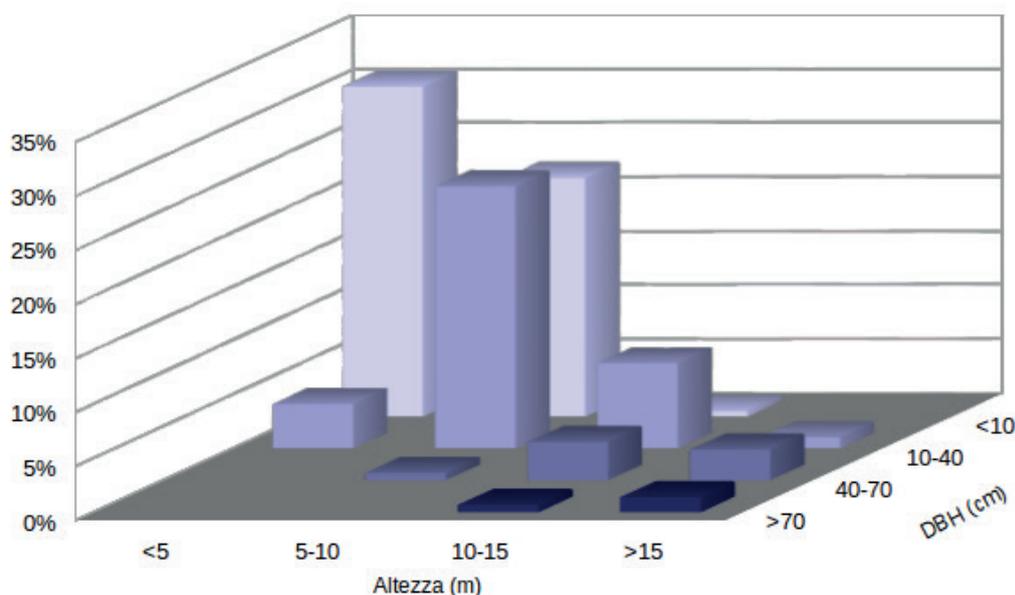


Fig. 11. Distribuzione delle classi di altezza degli alberi nelle diverse classi di DBH.



AREA FOGLIARE E INDICE DI AREA FOGLIARE

L'area fogliare di un albero è la somma delle superfici delle foglie che intercettano la luce solare ed è proporzionale alla capacità dell'albero di catturare la CO₂, produrre ossigeno e abbattere gli inquinanti atmosferici.

I-Tree calcola l'area fogliare applicando le equazioni di regressione per le latifoglie decidue (Nowak, 1996) e opportuni coefficienti di correzione per le specie sempreverdi e le conifere (Nowak *et al.*, 2008).

L'area fogliare di alberi e arbusti nell'intera area di studio è stimata in 218,6 ± 24,2 ha, con una densità pari a 36.713,80 ± 4.056,80 m²/ha. Le specie che forniscono il contributo maggiore sono *Rubus ulmifolius* (61%) e *Platanus x acerifolia* (10%).

L'Indice di area fogliare (LAI - Leaf Area Index) è calcolato come rapporto tra l'area fogliare funzionale (verde) e l'area di insidenza cioè la porzione del suolo su cui si proietta l'ombra della chioma

dell'albero (Beadle, 1993). Si tratta quindi di un indice adimensionale che può essere espresso in unità di m²/m². In generale, quindi, maggiore è l'indice di area fogliare maggiore è la superficie fotoesposta per unità di suolo coperto dalla chioma degli alberi ("tree canopy").

In base ai dati raccolti la stima della copertura degli alberi (esclusi gli arbusti) nell'area di studio ammonta a 16,44 ha e la superficie fogliare a 63,84 ha. L'indice di area fogliare calcolato per l'area di studio è di 3,88 m²/m².

Settore	Copertura arborea (m ²)	Area fogliare (m ²)	LAI (m ² /m ²)
1	120.323,34	453.700,00	3,77
2	44.121,45	184.650,00	4,19
Area studio	164.444,80	638.350,00	3,88

Tab. 16. Area fogliare e Indice di Area Fogliare (LAI) nei due settori di campionamento.

Nei due settori di campionamento il Settore 1 comprende principalmente le fasce ripariali e formazioni vegetazionali più compatte, mentre il Settore 2 è occupato principalmente da aree aperte di prateria secondaria. È ipotizzabile pertanto una maggiore competizione per lo spazio e per la luce da parte degli alberi nel Settore 1 rispetto al Settore 2 e ciò può essere alla base del differente valore di LAI nei due settori.

Per valutare quali specie contribuiscono maggiormente all'abbattimento degli

inquinanti atmosferici e alla produzione di ossigeno, è stato calcolato un Valore di Importanza (V.I.) ottenuto dalla somma della frequenza percentuale di ciascuna specie e della sua superficie fogliare percentuale (Tab. 17):

Specie	Frequenza %	Superficie fogliare %	V.I.
<i>Platanus x acerifolia</i>	10,80	34,30	45,10
<i>Ailanthus altissima</i>	22,00	6,70	28,70
<i>Robinia pseudoacacia</i>	14,70	4,20	18,90
<i>Pinus pinea</i>	2,70	11,00	13,70
<i>Prunus cerasifera</i>	8,70	4,20	12,80
<i>Populus x canadensis</i>	5,80	6,00	11,80
<i>Ulmus minor</i>	6,10	4,60	10,70
<i>Quercus ilex</i>	3,80	6,50	10,20
<i>Tilia platyphyllos</i>	2,70	5,00	7,70
<i>Populus alba</i>	5,00	1,20	6,20
<i>Juglans regia</i>	1,60	4,60	6,20
<i>Celtis australis</i>	1,30	1,30	2,50
<i>Acer negundo</i>	1,40	1,00	2,40
<i>Prunus spinosa</i>	1,40	0,90	2,30
<i>Salix alba</i>	1,30	0,90	2,20
<i>Crataegus monogyna</i>	1,20	0,90	2,10
<i>Ficus carica</i>	0,50	1,60	2,10
<i>Pyrus communis</i>	1,80	0,30	2,10
<i>Fraxinus ornus</i>	1,80	0,20	2,00
<i>Corylus avellana</i>	0,90	1,00	1,80
<i>Laurus nobilis</i>	0,90	0,70	1,60
<i>Punica granatum</i>	0,50	0,60	1,10
<i>Maclura pomifera</i>	0,20	0,90	1,00
<i>Quercus robur</i>	0,50	0,40	0,90
<i>Malus sylvestris</i>	0,50	0,30	0,80
<i>Thuja occidentalis</i>	0,50	0,20	0,70
<i>Prunus persica</i>	0,20	0,20	0,40
<i>Acer campestre</i>	0,20	0,20	0,40
<i>Gleditsia triacanthos</i>	0,20	0,20	0,30
<i>Pinus pinaster</i>	0,20	0,20	0,30
<i>Pyracantha coccinea</i>	0,20	0,10	0,30
<i>Ligustrum lucidum</i>	0,20	0,00	0,20
<i>Olea europaea</i>	0,20	0,00	0,20

Tab. 17. Valori di Importanza delle specie censite.

Platanus x acerifolia, *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia* e *Pinus pinea* sono le specie con il Valore di Importanza maggiore. Tuttavia è utile sottolineare che il Valore di Importanza non indica quali specie dovrebbero essere incrementate nella pianificazione di strategie di gestione a lungo termine, ma solo quali specie allo stato attuale forniscono potenzialmente il contributo maggiore all'abbattimento degli inquinanti atmosferici.

BIOMASSA

La biomassa fogliare di alberi e arbusti stimata per l'area di studio ammonta a $108,6 \pm 10,4$ t, con una densità pari a $1.829,2 \pm 174,80$ Kg/ha. Le specie che forniscono il contributo maggiore sono ancora *Rubus ulmifolius* (46%) e *Platanus x acerifolia* (9%).

Limitando l'esame ai soli alberi, la biomassa fogliare stimata è di $42,62 \pm 4,88$ t e la biomassa legnosa è $2.383,13 \pm 489,36$ t. Le latifoglie contribuiscono per l'83,6% alla biomassa fogliare e per l'88,1% alla biomassa legnosa, mentre le conifere per il 16,4% alla biomassa fogliare e per l'11,9% alla biomassa legnosa.

La densità della biomassa fogliare è di 0,71 t/ha e quella della biomassa legnosa di 40 t/ha.

Nella Tab. 18 sono riportati i valori delle biomasse in relazione all'uso del suolo.

UDS	Tot.						Latifoglie				Conifere				Densità	
	Superficie	Alberi	BF		BL		BF		BL		BF		BL		BF	BL
	ha	n	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t/ha	t/ha
AA	19,21	5.880,00	26,45	62,07	1.510,83	63,40	19,90	55,88	1.245,80	59,32	6,55	93,57	265,03	93,66	1,38	78,65
PN	31,30	1.606,00	9,47	22,22	578,62	24,28	9,02	25,33	560,68	26,7	0,45	6,43	17,95	6,34	0,30	18,49
FR	3,05	707,00	3,17	7,44	235,02	9,86	3,17	8,90	235,02	11,19	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	77,06
UA	2,33	305,00	2,04	4,79	38,23	1,60	2,04	5,73	38,23	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	16,41
AC-RE-AE	2,40	434,00	1,48	3,47	20,42	0,86	1,48	4,16	20,42	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	8,51
AS	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOT.	59,56	8.932,00	42,61	100,00	2.383,12	100,00	35,61	100,00	2.100,15	100,00	7,00	100,00	282,98	100,00	0,72	40,02

Tab. 18. Biomassa fogliare (BF) e biomassa legnosa (BL) di latifoglie e conifere, nelle diverse classi di uso del suolo (UDS)

Quattro specie (*Platanus x acerifolia*, *Populus x canadensis*, *Pinus pinea* e *Quercus ilex*) rappresentano il 57,3% della biomassa fogliare e l'83,6% della biomassa legnosa, pur costituendo nell'insieme appena il 23% della popolazione arborea del parco.

Mettendo in relazione la biomassa fogliare e le classi diametriche si osserva che il 95,33% della popolazione arborea di Aguzzano è costituita da individui con biomassa fogliare piccola (< 5 Kg) o medio-piccola (5-25 Kg). In questo raggruppamento il contributo maggiore è fornito da alberi con DBH < 10 cm (53,24%), seguiti da alberi con DBH compreso tra 10 e 40 cm (35,97%). Questo dato è coerente con l'analisi del rapporto tra altezza degli alberi e classi diametriche, descritto precedentemente (Fig. 12).



DBH (cm)	Biomassa fogliare (Kg)				Tot.
	<5	5-25	25-40	>40	
<10	51,80%	1,44%	0,00%	0,00%	53,24%
10-40	23,74%	12,23%	1,44%	0,00%	37,41%
40-70	1,26%	3,60%	1,62%	0,72%	7,20%
>70	0,00%	1,26%	0,36%	0,54%	2,16%
Tot.	76,80%	18,53%	3,42%	1,26%	

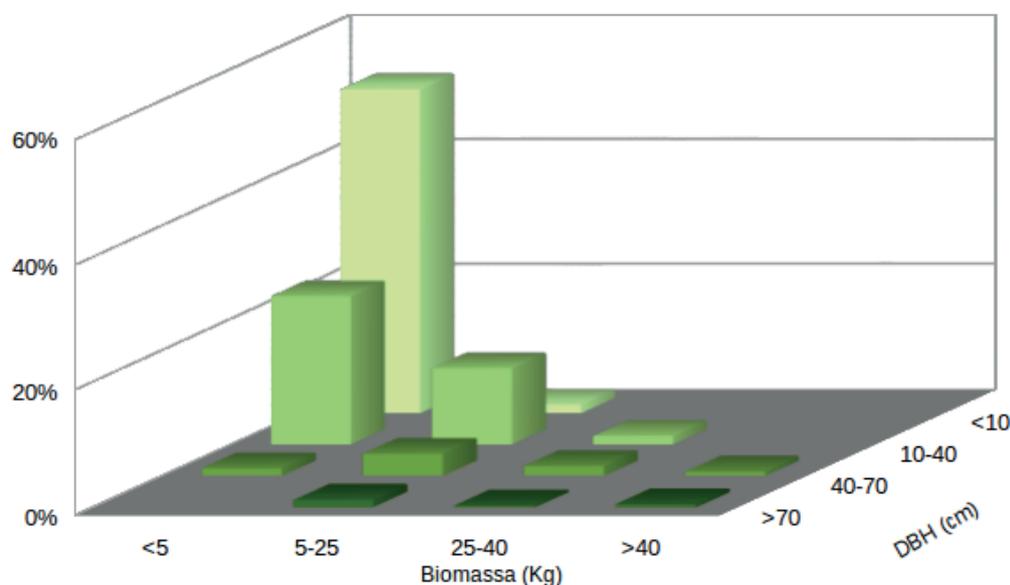
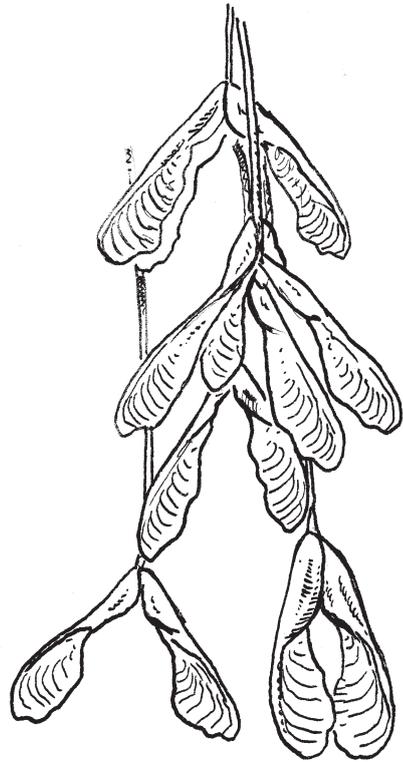
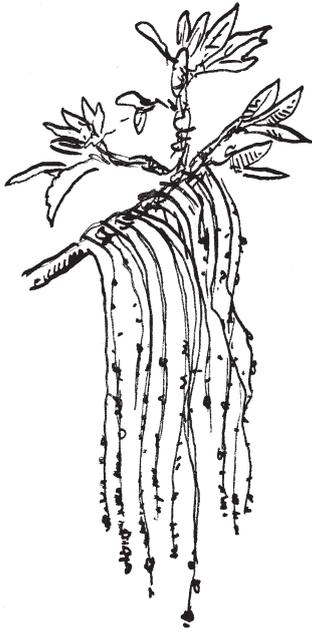
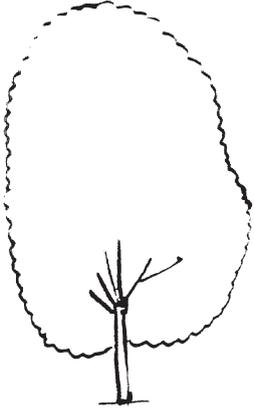


Fig. 12. Distribuzione delle classi di biomassa fogliare nelle diverse classi di DBH.

i-Tree calcola la biomassa di ciascun albero utilizzando i dati di campo (diametro e altezza degli alberi) e le equazioni allometriche descritte da Nowak (1994) e Nowak *et al.* (2002a), opportunamente modificate per adattarsi alle caratteristiche degli alberi in ambiente urbano.

La biomassa totale, legnosa e fogliare, cioè la sostanza organica contenuta negli alberi, viene utilizzata per il calcolo dell'assorbimento e fissazione del carbonio.





I servizi ecosistemici della foresta urbana di Aguzzano

La **fotosintesi delle piante** è il sistema naturale più efficiente ed economico per **rimuovere CO₂ dall'atmosfera**

La capacità della vegetazione di rimuovere grandi quantità di inquinanti atmosferici assume un interesse crescente da parte degli amministratori pubblici alla ricerca di strategie di lungo periodo per affrontare in maniera strategica il problema del miglioramento della qualità dell'aria in ambiente urbano.

La comunità scientifica è da tempo impegnata ad analizzare gli effetti della gestione della vegetazione sulla qualità dell'aria e a fornire stime quantitative della capacità di abbattimento degli inquinanti (Yang *et al.*, 2005; Nowak *et al.*, 2006; Bealey *et al.*, 2007; McDonald *et al.*, 2007; Escobedo e Nowak, 2009; Manes *et al.*, 2008).

Lo studio condotto nel parco di Aguzzano ha permesso di stimare la capacità della copertura arborea e arbustiva di rimuovere i principali inquinanti atmosferici (ozono troposferico, biossido di azoto, anidride solforosa, monossido di carbonio e polveri sottili) e di quantificare l'emissione di composti organici volatili precursori della formazione di ozono.



Ha fornito inoltre una misura della quantità di carbonio fissato nella biomassa vegetale, della quantità di CO₂ rimossa annualmente dall'atmosfera e della quantità di ossigeno prodotta.

Da ultimo ha valutato la capacità della vegetazione di Aguzzano di ridurre il deflusso superficiale delle acque meteoriche.

Il modello UFORE effettua una stima della deposizione oraria a secco (cioè nei periodi con assenza di precipitazioni) degli inquinanti atmosferici sulle foglie, lungo tutto l'arco dell'anno. I dati utilizzati dal modello sono la copertura arborea dell'area in esame, le concentrazioni orarie degli inquinanti e i dati atmosferici (umidità e temperatura dell'aria e radiazione solare).

Il flusso degli inquinanti intercettato dagli alberi è calcolato come prodotto della velocità di deposizione degli inquinanti e della loro concentrazione atmosferica (Nowak, 1994):

$$F = V_d \cdot C$$

con F = flusso verso gli alberi, cioè la quantità di inquinanti depositata per unità di tempo e di superficie ($\text{g}/\text{m}^2/\text{sec}$), V_d = velocità di deposizione (m/sec), C = concentrazione degli inquinanti (g/m^3).

Il flusso (F) moltiplicato per la superficie fogliare (L) e per l'unità di tempo (T), fornisce la quantità totale di inquinanti (Q) intercettata dagli alberi nell'unità di tempo:

$$Q = F \cdot L \cdot T$$

La velocità di deposizione (V_d), è calcolata come reciproco della resistenza totale (R_{tot}) che le particelle inquinanti incontrano nel processo di deposizione, ossia come reciproco della somma della resistenza aerodinamica (R_a), cioè la

resistenza opposta dall'aria al passaggio delle molecole degli inquinanti, della resistenza incontrata dalle particelle alla superficie di interfaccia aria-foglie (R_b) e della resistenza opposta dai tessuti vegetali e dalle aperture stomali (R_c) (Balducchi 1988; Balducchi *et al.* 1987):

$$V_d = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c}$$

Per quanto riguarda le polveri sottili che si depositano sulle foglie, queste possono essere dilavate dalle piogge e trasferite al suolo ma, in caso di stagioni particolarmente asciutte, possono essere risospese in atmosfera. In questo caso la quantità di $\text{PM}_{2,5}$ rimosso dalle piante può anche essere inferiore a quella reimessa in atmosfera. Il modello adottato da i-Tree assume che il 50 per cento del $\text{PM}_{2,5}$ che si deposita sulle foglie venga risospeso in atmosfera (Zinke, 1967).

Il modello di calcolo produce anche una stima del valore economico che si può attribuire ai servizi ecosistemici, vale a dire quanto la comunità cittadina dovrebbe spendere per ottenere un analogo miglioramento della qualità dell'aria e riduzione della CO_2 in atmosfera.

Si sottolinea che la stima del valore economico del capitale naturale e dei servizi ecosistemici è un tema tutt'ora ampiamente dibattuto dalla comunità scientifica internazionale, che non ha ancora prodotto una formulazione univoca. In ragione di ciò e della complessità delle relazioni tra servizi ecosistemici e benessere umano, le valutazioni economiche riportate nel presente lavoro hanno un significato puramente indica-

tivo e vanno considerate una approssimazione del valore complessivo delle risorse esaminate.

OZONO

L'ozono troposferico (O_3) è una molecola composta da tre atomi di ossigeno, presente nei bassi strati dell'atmosfera. È prodotto dalle reazioni chimiche tra ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili, catalizzate dalla luce. Ciò spiega perché le concentrazioni di O_3 troposferico varino nell'arco della giornata e siano massime nei mesi estivi.

Gli ossidi di azoto si liberano in tutti i fenomeni di combustione, mentre i composti organici volatili biogenici sono prodotti principalmente dalla vegetazione.

L'esposizione ad alte concentrazioni di ozono può comportare irritazioni a carico del sistema respiratorio e fenomeni di allergia.

Il Decreto Legislativo 155/2010, che recepisce la normativa europea in materia di lotta all'inquinamento, fissa in $240 \mu g/m^3$ misurati per un'ora la soglia di allarme per la concentrazione dell'ozono.

Lo studio condotto nel parco di Aguzzano ha permesso di stimare in 1.173,9 Kg la quantità media di ozono troposferico rimosso dalla vegetazione in un anno e in 5.187,43 € il valore economico di tale servizio.

	Kg	€
GEN	13,36	59,05
FEB	22,13	97,79
MAR	79,59	351,71
APR	148,37	655,65
MAG	178,79	790,07
GIU	197,40	872,31
LUG	191,14	844,63
AGO	137,66	608,30
SET	96,50	426,43
OTT	70,76	312,68
NOV	29,97	132,43
DIC	8,23	36,38
TOT	1.173,89	5.187,43

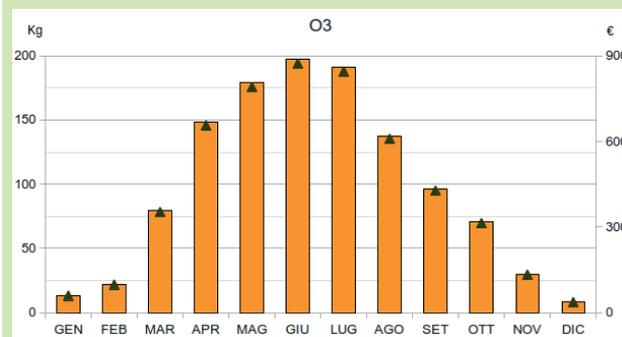


Fig.13. Rimozione mensile di ozono troposferico e relativo valore economico.

COMPOSTI ORGANICI VOLATILI BIOGENICI

I composti organici volatili biogenici (COVB), tra cui i monoterpeni (mentolo, geraniolo, canfora, eucaliptolo, ecc.) e l'isoprene, sono prodotti dalla vegetazione e assolvono ad alcune funzioni fondamentali tra cui la resistenza delle cellule vegetali all'innalzamento della temperatura, la difesa dai parassiti e l'attrazione degli insetti impollinatori.

I COVB sono precursori chimici dell'ozono e quindi concorrono alla sua formazione. Tuttavia numerosi studi (Nowak, 2000; Nowak *et al.*, 2000) dimostrano

che l'incremento della copertura delle foreste urbane, soprattutto qualora si utilizzino specie con basse emissioni di composti organici volatili biogenici, conduce a significative riduzioni nette nella concentrazione di ozono nelle aree urbane.

La valutazione dei COVB emessi dagli ecosistemi forestali prevede il calcolo della biomassa fogliare degli alberi moltiplicata per un fattore di emissione specifico per ciascun genere (Nowak *et al.*, 2002b). In questo modo si ottiene una misura standardizzata di emissione che viene convertita ai valori di emissioni effettive attraverso opportuni fattori di correzione per l'irraggiamento solare, la temperatura e le caratteristiche meteorologiche locali (Geron *et al.*, 1994).

Gli alberi e gli arbusti della foresta urbana di Aguzzano nel 2015 hanno emesso nel complesso 821,2 Kg di COVB, 702,8 Kg di isoprene e 118,2 Kg di monoterpeni. Il 55,75% di queste emissioni è stato prodotto dai platani e dai lecci, questi ultimi coinvolti soprattutto nella emissione di isoprene.



Specie	Monoterpene (Kg/anno)	Isoprene (Kg/anno)	Tot COVB (Kg/anno)
Acer campestre	0,40	0,00	0,40
Acer negundo	3,50	0,00	3,50
Ailanthus altissima	0,00	0,00	0,00
Celtis australis	0,40	0,00	0,40
Corylus avellana	1,40	0,00	1,40
Crataegus monogyna	0,50	0,50	1,00
Ficus carica	0,60	11,90	12,40
Fraxinus ornus	0,00	0,00	0,00
Gleditsia triacanthos	0,00	0,00	0,00
Juglans regia	13,60	0,10	13,60
Laurus nobilis	0,10	0,00	0,20
Ligustrum lucidum	0,00	0,00	0,00
Maclura pomifera	0,00	0,00	0,00
Malus sylvestris	0,00	0,00	0,00
Olea europaea	0,00	0,00	0,00
Pinus pinaster	1,20	0,00	1,20
Pinus pinea	83,60	0,50	84,10
Platanus x acerifolia	3,70	240,80	244,50
Populus alba	0,20	31,70	31,90
Populus x canadensis	1,30	169,20	170,50
Prunus cerasifera	0,60	0,10	0,70
Prunus persica	0,00	0,00	0,10
Prunus spinosa	0,20	0,00	0,20
Punica granatum	0,00	2,00	2,00
Pyracantha coccinea	0,00	0,00	0,00
Pyrus communis	0,00	0,00	0,00
Quercus ilex	3,40	209,90	213,30
Quercus robur	0,10	8,40	8,50
Robinia pseudoacacia	1,10	13,80	14,80
Salix alba	1,10	13,80	14,90
Thuja occidentalis	0,50	0,00	0,60
Tilia platyphyllos	0,00	0,00	0,00
Ulmus minor	0,70	0,10	0,90
Totale	118,20	702,80	821,10

Tab. 19. Produzione di composti organici volatili biogenici delle specie arboree della foresta urbana di Aguzzano.

BIOSSIDO DI AZOTO

Il biossido di azoto (NO₂) si origina dalla trasformazione in atmosfera del monossido di azoto prodotto dal traffico veicolare, dalle attività industriali e dalle centrali energetiche (combustione fossile). Nei bassi strati dell'atmosfera il biossido di azoto concorre in maniera complessa,

insieme ai COV (sia biogenici, sia prodotti dalle attività industriali e domestiche), alla produzione di ozono. Gli effetti del biossido di azoto sulla salute umana consistono principalmente in affezioni del sistema respiratorio e complicazioni polmonari. Particolarmente vulnerabili sono le persone anziane e i bambini.

La soglia di allarme prevista dalla normativa è di 400 µg/m³ misurati per 3 ore consecutive.

Nel parco di Aguzzano è stata stimata una capacità di rimozione di NO₂ da parte della vegetazione pari a 842,28 Kg/anno con un corrispettivo economico pari a 7.539,08 €/anno.

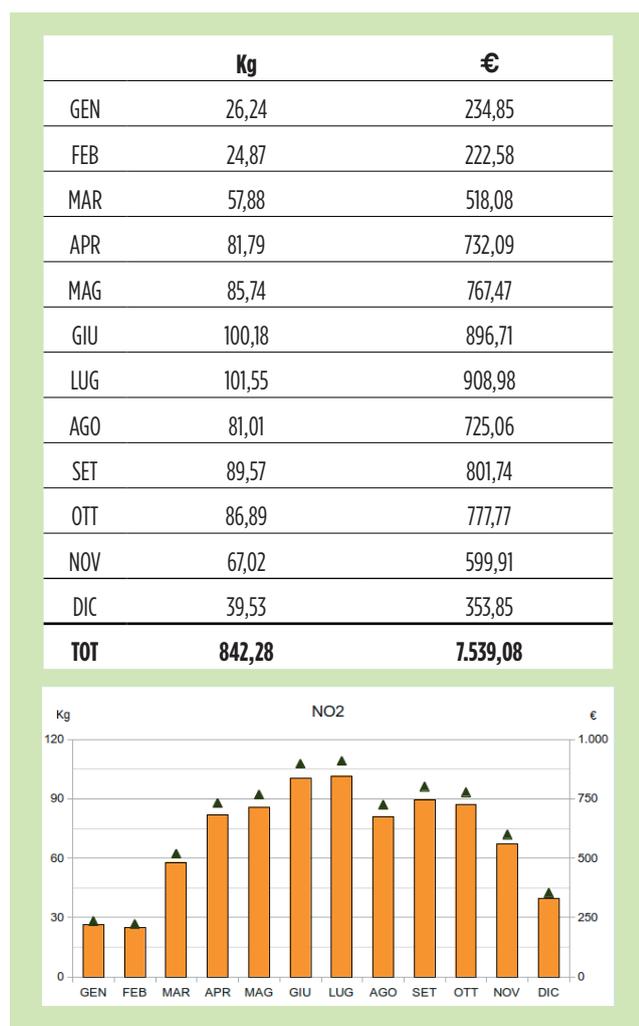


Fig.14. Rimozione mensile di biossido di azoto e relativo valore economico.

ANIDRIDE SOLFOROSA

L'anidride solforosa (SO₂) si forma nella combustione di tutti i materiali contenenti zolfo, come il carbone e i derivati del petrolio. In ambiente urbano quindi i riscaldamenti domestici non alimentati a metano e le centrali termoelettriche sono le principali fonti di SO₂. Attraverso diverse reazioni chimiche mediate dall'umidità dell'aria, dalle radiazioni solari e dalle polveri sottili, l'anidride solforosa dà luogo a particelle di acido solforico che produce i noti effetti corrosivi sui metalli, sui materiali da costruzione e sui monumenti.

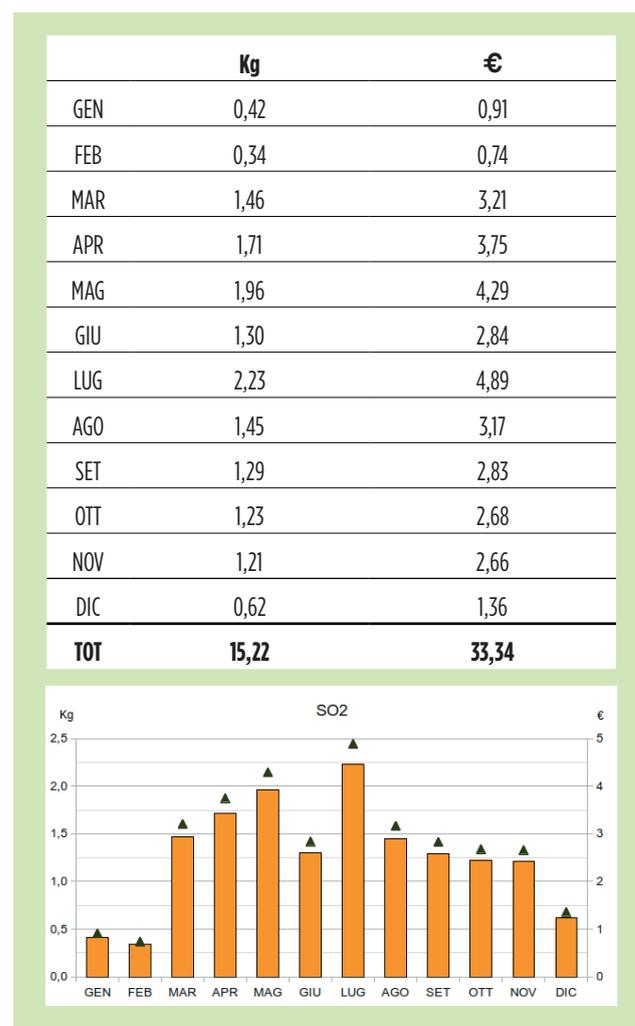


Fig.15. Rimozione mensile di anidride solforosa e relativo valore economico.

L'anidride solforosa è tossica per l'apparato respiratorio ed è anche fortemente reattiva con numerose molecole biologiche tra cui lipidi, proteine e acidi nucleici. È responsabile inoltre del fenomeno delle "piogge acide" che compromette gravemente la vegetazione e gli ecosistemi delle acque interne.

La soglia di allarme per l' SO_2 è di $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ misurati per 3 ore consecutive. Nel parco di Aguzzano è stato calcolato che la vegetazione riesce ad abbattere $15,22 \text{ Kg}/\text{anno}$ di anidride solforosa e il corrispettivo economico è di $33,34 \text{ €/anno}$.

MONOSSIDO DI CARBONIO

Il monossido di carbonio (CO) è prodotto sia da fenomeni naturali, sia dalle attività umane, soprattutto dalla combustione interna incompleta dei motori degli autoveicoli e dagli impianti industriali. Penetra molto rapidamente nell'apparato respiratorio e attraverso gli alveoli polmonari raggiunge il torrente sanguigno. Qui si lega alla emoglobina con maggiore efficienza dell'ossigeno formando un composto stabile, la carbossiemoglobina. In questo modo il monossido di carbonio riduce l'ossigenazione dei tessuti e può creare danni al sistema respiratorio e al sistema nervoso. La normativa prevede come valore limite la concentrazione massima giornaliera calcolata su 8 ore di $10 \text{ mg}/\text{m}^3$. Lo studio condotto nel parco di Aguzzano ha permesso di stimare in $73,53 \text{ Kg}/\text{anno}$ la quantità di CO rimossa dall'atmosfera, con un valore economico stimato in $93,48 \text{ €/anno}$

	Kg	€
GEN	0,66	0,84
FEB	0,46	0,59
MAR	4,92	6,26
APR	8,04	10,22
MAG	7,52	9,56
GIU	6,76	8,59
LUG	6,83	8,69
AGO	6,02	7,65
SET	7,06	8,97
OTT	9,54	12,12
NOV	14,02	17,83
DIC	1,70	2,16
TOT	73,53	93,48

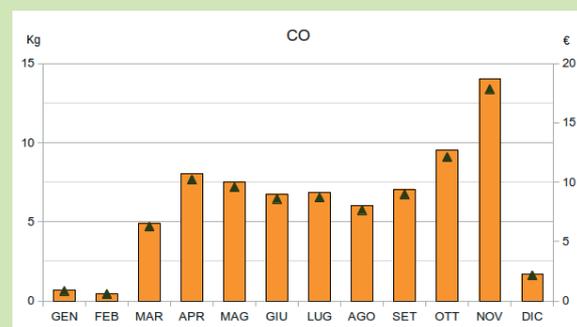


Fig.16. Rimozione mensile di monossido di carbonio e relativo valore economico.

POLVERI SOTTILI

Le polveri sottili $\text{PM}_{2,5}$ sono particelle sospese nell'aria di diametro inferiore a $2,5 \mu\text{m}$ (un μm è un millesimo di mm). Anche in questo caso la loro origine principale è la combustione fossile e quella delle biomasse legnose, ma quote di emissione di $\text{PM}_{2,5}$ sono anche associate all'usura dei freni e degli pneumatici delle auto e del manto stradale. Le polveri sottili possono causare disturbi respiratori acuti e scatenare crisi respiratorie in soggetti predisposti. L'esposizione prolungata ad alte concentrazioni di polveri

sottili può dare luogo a fenomeni cronici e a patologie respiratorie e cardiache gravi. Il valore limite per il $PM_{2,5}$ è di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il parco di Aguzzano trattiene $81,85 \text{ Kg}/\text{anno}$ di $PM_{2,5}$ che corrisponde a $489,16 \text{ €/anno}$.

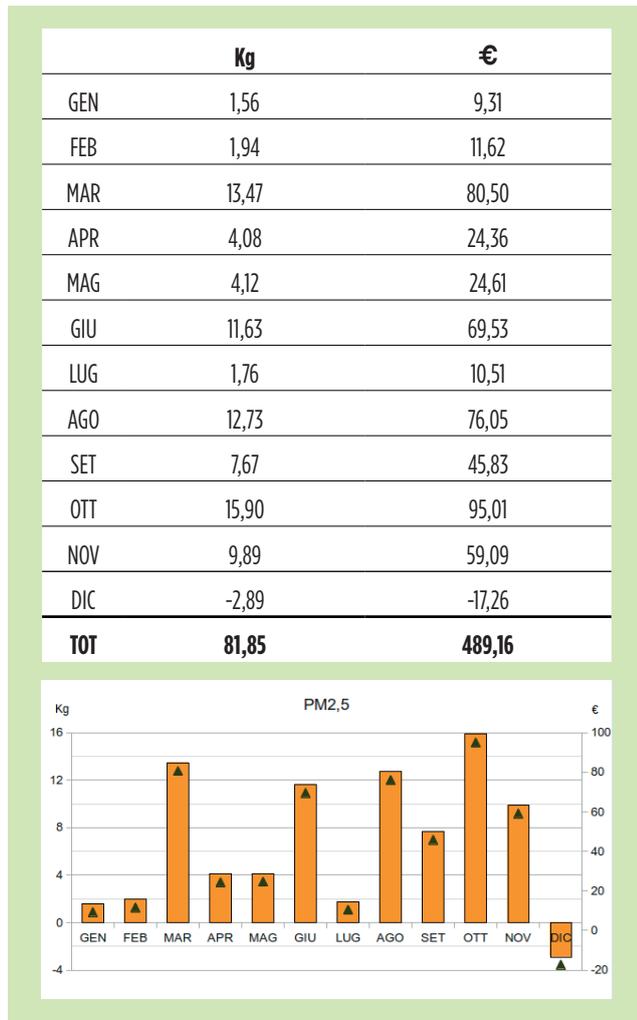


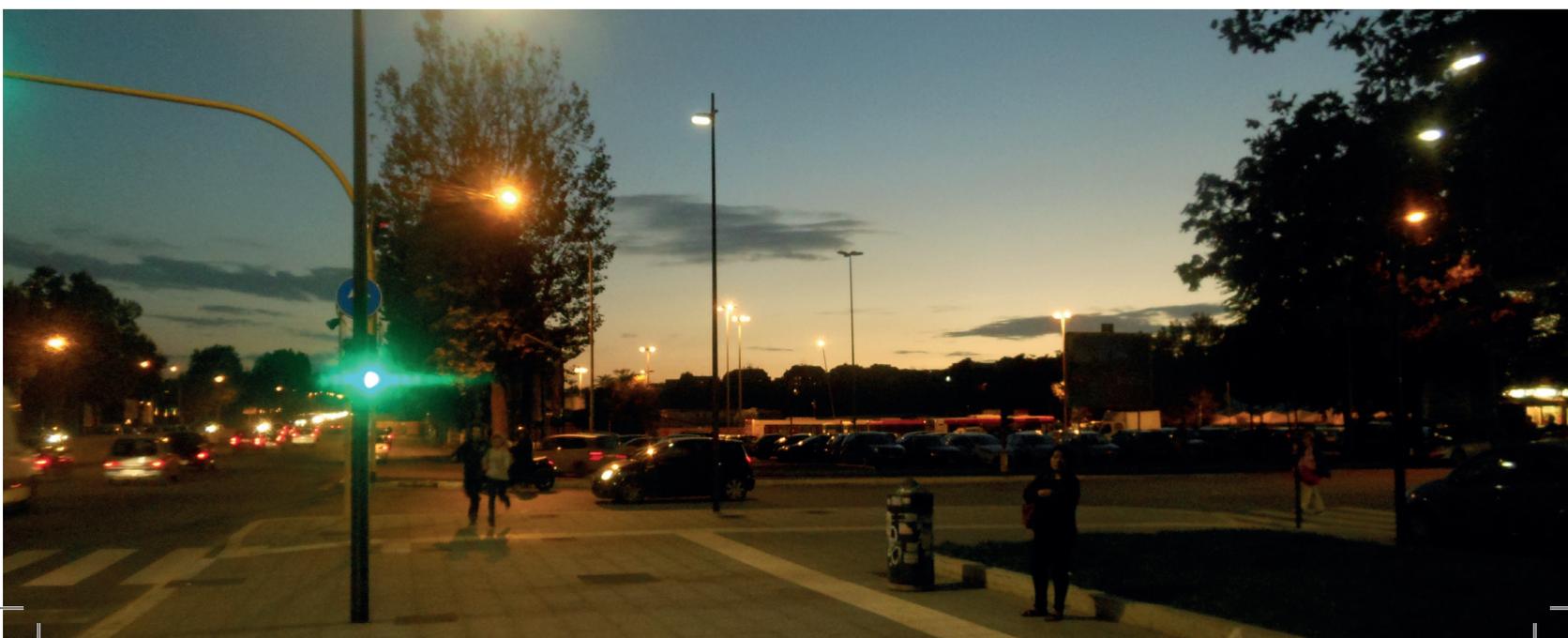
Fig.17. Rimozione mensile di $PM_{2,5}$ e relativo valore economico.

In base ai dati raccolti la stima complessiva degli inquinanti atmosferici rimossi dalla vegetazione del parco di Aguzzano ammonta a di $2,187 \text{ tonnellate}/\text{anno}$ con un valore economico stimato di $13.342,5 \text{ €/anno}$ (Tab. 21).

	Kg	€
O₃	1.173,89	5.187,43
NO₂	842,28	7.539,08
SO₂	15,22	33,34
C₀	73,53	93,48
PM_{2,5}	81,85	489,16
TOT	2.186,77	13.342,49

Tab. 20. Inquinanti atmosferici rimossi in un anno dalla foresta urbana di Aguzzano.

La capacità di rimozione degli inquinanti varia nel tempo. I picchi di eliminazione dell'ozono troposferico, dell'anidride solforosa e del biossido di azoto sono stati raggiunti nei mesi estivi (giugno e luglio); diversamente le polveri sottili $PM_{2,5}$ e il monossido di carbonio sono stati rimossi soprattutto in autunno (ottobre e novembre). Queste variazioni possono essere spiegate sia dalla feno-



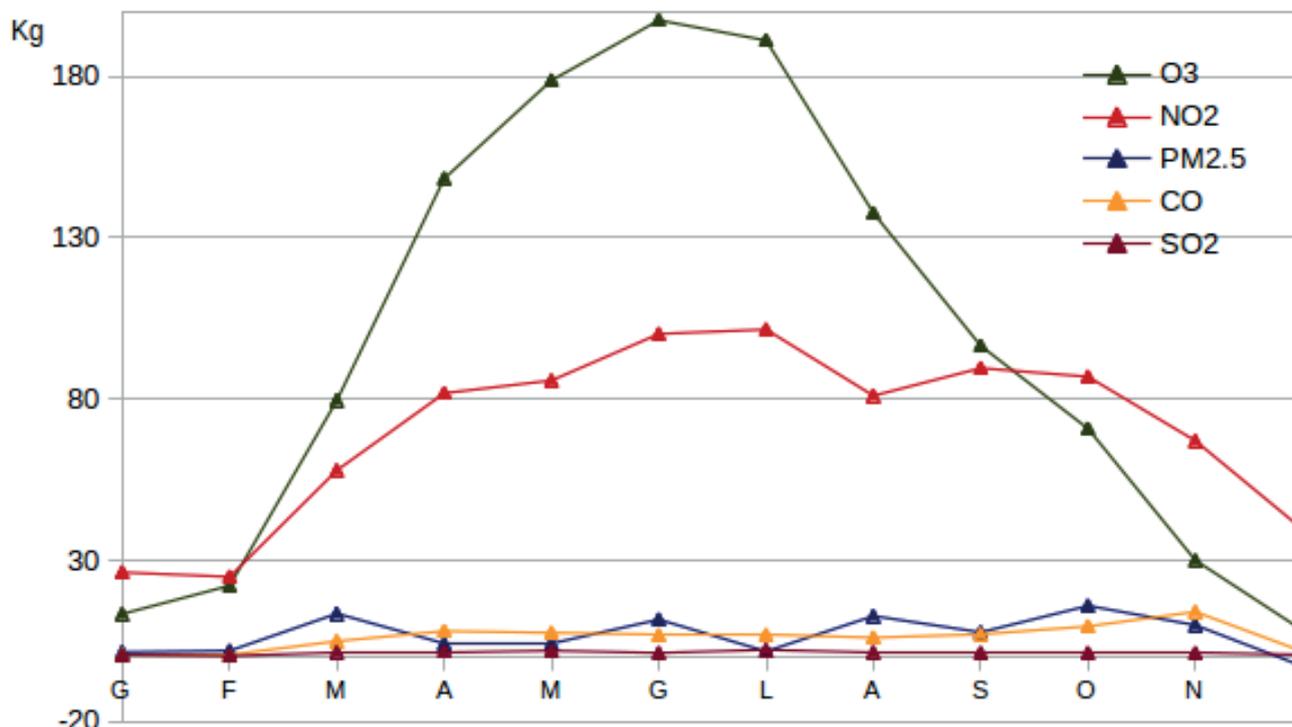


Fig. 18. Variazione nel tempo della capacità di rimozione degli inquinanti atmosferici.

logia degli alberi poiché la superficie di scambio gassoso tra l'atmosfera e gli alberi è maggiore durante la stagione estiva, sia dal variare della concentrazione specifica degli inquinanti nell'atmosfera nel corso dell'anno (Fig. 18).

SEQUESTRO E FISSAZIONE DEL CARBONIO

L'uso dei combustibili fossili libera rapidamente in atmosfera grandi quantità di CO₂ che gli ecosistemi forestali hanno accumulato in milioni di anni. Questa è una delle modalità attraverso le quali gli esseri umani negli ultimi due secoli stanno alterando profondamente il clima sulla Terra e compromettendo gli ecosistemi.

Ma la vegetazione attraverso i processi di fotosintesi continua ad assorbire carbonio dall'atmosfera (*carbon seque-*

stration) e a fissarlo nei tessuti vegetali (*carbon storage*) e pertanto l'incremento delle aree forestate insieme ad una riduzione netta delle emissioni in atmosfera di gas ad effetto serra, dovrebbe costituire una delle strategie di elezione per contrastare i cambiamenti climatici.

La fissazione del carbonio è proporzionale all'aumento della biomassa durante la crescita degli alberi. Al raggiungimento della maturità la quantità di carbonio che anno dopo anno si accumula sia nella parte epigea (rami, foglie, tronco, corteccia) che ipogea (radici), tende progressivamente a diminuire.

Attualmente la copertura arborea della foresta urbana di Aguzzano trattiene 1.191,60 t di carbonio equivalenti a 4.369,50 t di CO₂ per un corrispondente valore di 119.200 €. Questo dato tuttavia potrebbe rivelarsi sovrastimato a causa dei ricorrenti incendi boschivi che, sep-

pure di modesta entità, reimmettono carbonio in atmosfera.

Anche la pratica di lasciare al suolo gli alberi caduti per cause naturali può certamente contribuire al rilascio graduale di carbonio in atmosfera, ma assolve una importante funzione positiva a favore degli organismi saproxilici e delle catene trofiche ad essi collegate (Franc, 2007).

i-Tree stima la quantità di carbonio accumulata utilizzando i valori della biomassa legnosa moltiplicati per 0,5 (Pilli *et al.*, 2006).

Il sequestro del carbonio è la quantità di carbonio prelevata dall'atmosfera durante la fotosintesi. La quantità lorda di carbonio sequestrato dagli alberi della foresta urbana di Aguzzano è stimata in 69,97 t/anno equivalenti a 256,59 t/anno di CO₂, con un valore associato di 6.997 €/anno. La quantità netta di carbonio sequestrato, che tiene conto cioè della quota di carbonio reimpressa in atmosfera con la respirazione e la decomposizione del legno morto, è stimata in 61,16 t/anno equivalenti a 224,28 t/anno di CO₂, con un valore associato di 6.116 €/anno.

Platanus x acerifolia è la specie che contribuisce maggiormente al sequestro (35,3%) e allo stoccaggio del carbonio (51,3%).

PRODUZIONE DI OSSIGENO

Il bilancio del carbonio nei sistemi fo-

restali è ottenuto dalla differenza tra la produttività primaria lorda, cioè la quantità di carbonio assimilata attraverso la fotosintesi, e la quantità di carbonio rilasciato in atmosfera attraverso la respirazione. Questa differenza è detta produttività primaria netta dell'ecosistema (NEP - *net ecosystem productivity*) e, se positiva, corrisponde all'incremento di biomassa nei vari *pools* forestali: biomassa aerea (o epigea), biomassa ipogea, necromassa legnosa, lettiera e suolo (Barbati *et al.*, 2014).

Fotosintesi:



Respirazione:



La quantità di ossigeno prodotto da un ecosistema forestale è proporzionale alla produttività primaria netta (Salisbury e Ross, 1978). Nota la quantità netta di carbonio sequestrato (t/anno) e noti il peso molecolare dell'ossigeno (32) e il peso atomico del carbonio (12), la quantità di ossigeno prodotto (t/anno) si ottiene facilmente dalla relazione:

$$\text{C} : \text{O}_2 = 12 : 32$$

$$\text{O}_2 = \text{C} \cdot \frac{32}{12}$$

La stima della produzione di ossigeno della foresta urbana di Aguzzano è 163,1 t/anno. Non è stato possibile, nell'ambito del presente studio, assegnare un valore economico a questo servizio ecosistemico.

Le dieci specie che forniscono il contributo maggiore alla produzione di ossigeno nella foresta urbana di Aguzzano sono:

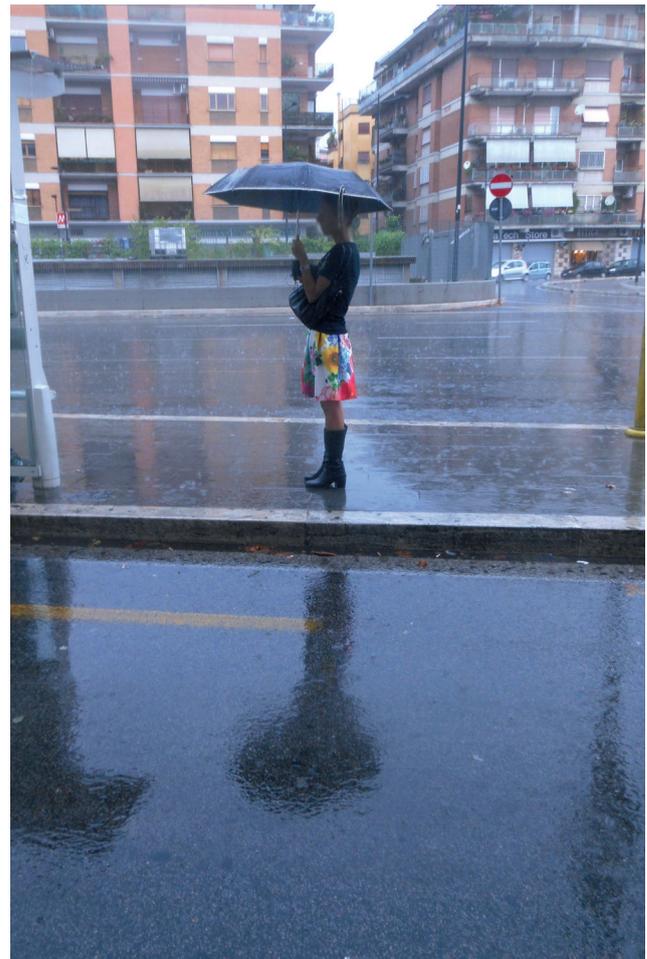
Specie	Ossigeno (t/anno)	Produttività primaria netta (t/anno)	Numero di alberi	Superficie fogliare (ha)
<i>Platanus x acerifolia</i>	55,78	20,92	968	21,88
<i>Populus x canadensis</i>	27,99	10,49	517	3,82
<i>Quercus ilex</i>	15,55	5,83	336	4,13
<i>Ailanthus altissima</i>	13,25	4,97	1,963	4,28
<i>Pinus pinea</i>	12,38	4,64	242	6,99
<i>Robinia pseudoacacia</i>	8,15	3,06	1,317	2,67
<i>Prunus cerasifera</i>	6,25	2,34	774	2,67
<i>Populus alba</i>	3,04	1,14	445	0,76
<i>Salix alba</i>	2,56	0,96	113	0,58
<i>Tilia platyphyllos</i>	2,26	0,85	240	3,20

Tab. 21. La dieci specie arboree che contribuiscono maggiormente alla produzione di ossigeno.

RIDUZIONE DEFLUSSO SUPERFICIALE

Lo scorrimento superficiale delle acque piovane è un problema di difficile gestione in molte città. Le aree urbane sono caratterizzate da vaste superfici impermeabilizzate (strade, piazzali, parcheggi, edifici) che impediscono alle acque piovane di defluire liberamente, infiltrarsi nel terreno e andare ad alimentare le falde acquifere. Al contrario, durante le piogge e soprattutto in occasione di precipitazioni particolarmente intense e concentrate in breve tempo, si creano grandi volumi di acque di dilavamento superficiale che possono raggiungere con grande velocità il sistema fognario, spesso scarsamente mantenuto, e creare picchi di piena e allagamenti.

Il dilavamento delle superfici imperme-



abilizzate, inoltre, carica le acque delle sostanze inquinanti presenti al suolo (idrocarburi, metalli pesanti, sostanze organiche, rifiuti solidi, ecc.), contribuendo all'inquinamento dei corsi d'acqua. In questo modo le acque meteoriche invece di rappresentare una preziosa risorsa da gestire in maniera oculata finiscono per diventare un problema alla stregua di un rifiuto urbano di cui sbarazzarsi in fretta.

Le foreste urbane possono controllare il deflusso superficiale e ridurre l'apporto di inquinanti ai corsi d'acqua, attraverso:

- traspirazione - le radici assorbono dal suolo grandi quantità di acqua necessaria per la fotosintesi. Successivamente una parte dell'acqua è rilasciata in atmosfera in forma di vapore, attraverso gli stomi delle foglie;

- intercettazione - le foglie, i rami e i tronchi intercettano e assorbono le precipitazioni riducendo la quantità di acqua che raggiunge il suolo e restituendola all'atmosfera attraverso per evaporazione;
- riduzione del potere erosivo delle piogge - gli alberi riducono la quantità di pioggia che raggiunge il suolo e la velocità (e quindi il potere erosivo) delle gocce d'acqua;
- infiltrazione - le radici e la decomposizione delle foglie al suolo facilitano i processi di infiltrazione delle acque;
- fitodepurazione - insieme all'acqua gli alberi assorbono anche le sostanze inquinanti presenti, inclusi metalli pesanti, composti organici, combustibili e solventi. Queste sostanze chimiche possono essere trasformate dai processi metabolici della pianta in sostanze meno nocive, possono essere utilizzate come sostanze nutritive e/o conservate nelle radici e nelle foglie.

Utilizzando i dati di campo e i dati orari delle precipitazioni, i-Tree stima diversi parametri: l'evapotraspirazione potenziale (ETp), l'evaporazione dal terreno (E), la traspirazione dai tessuti vegetali (T) e la quantità di pioggia intercettata dalla vegetazione (R). Questi parametri vengono utilizzati per la stima della quantità di acqua restituita all'atmosfera e sottratta al deflusso superficiale (W):

$$W = ETp - (E + T + R) \cdot k$$

(k = coefficiente per le specie in esame)

Per un esame più dettagliato del calcolo della riduzione del deflusso superficiale ad opera della vegetazione si rimanda a Hirabayashi (2012).

i-Tree stima che nel 2015, anno per il quale sono stati utilizzati i dati delle precipitazioni, gli alberi e gli arbusti della foresta urbana di Aguzzano abbiano ridotto il deflusso superficiale delle acque meteoriche di 3.705 m³, con un valore economico corrispondente di 36.309 €.



CONFRONTI

Il carbonio fissato e gli inquinanti atmosferici rimossi dagli alberi di Aguzzano sono stati confrontati con:

- la CO₂ equivalente prodotta dagli abitanti del Municipio IV e del quartiere Casal de' Pazzi;
- la CO₂ media emessa per chilometro percorso da un'autovettura Euro 6;
- la CO₂, SO₂ e l'ozono troposferico equivalenti prodotti da una famiglia media italiana.

I dati di partenza utilizzati sono:

Fissazione C Aguzzano (CO ₂ eq.)	4.369,50 t
Rimozione SO ₂ Aguzzano	15,22 Kg/anno
Rimozione O ₃ Aguzzano	1.173,89 Kg/anno
Emissioni medie annue pro-capite di CO ₂ nella città di Roma ¹	2,406 t
Abitanti Municipio IV di Roma ²	176.981
Abitanti quartiere Casal de' Pazzi ²	27.206
Emissioni medie di CO ₂ per autovettura Euro 6 ³	120 g/Km
Percorrenza media annua per autovettura ⁴	20.000 Km
Emissioni medie annue di CO ₂ delle famiglie italiane ⁵	98.735.829 t eq.
Emissioni medie annue di SO ₂ delle famiglie italiane ⁵	150.666 t eq.
Emissioni medie annue di POT* delle famiglie italiane ⁵	854.005 t eq.
n. famiglie italiane	25.386.000

¹ Tortorella, W., Chiodini, L. - Rapporto Cittalia 2010. Fondazione ANCI Ricerche. Roma.

² Roma Capitale - Roma Statistica. Popolazione iscritta in anagrafe al 31 dicembre 2016 per zone urbanistiche. ³ CE, 2009. ⁴ Pennisi L. - Una stima delle percorrenze medie annue delle autovetture. <http://groupware.sinanet.isprambiente.it/> ⁵ Annuario Statistico Italiano. ISTAT, 2017.

* Potenziale di formazione di Ozono Troposferico. Comprende la produzione di composti organici volatili non metanici

Tab. 22. Dati utilizzati per i confronti.

La CO₂ rimossa in un anno dalla foresta urbana di Aguzzano equivale alle emissioni di CO₂:

- dei cittadini del IV Municipio per 3,7 giorni;
- dei cittadini di Casal de' Pazzi per

24,4 giorni;

- di 1.820,6 autovetture Euro 6 per un anno;
- di 1.123,4 famiglie medie per un anno.

L'anidride solforosa rimossa in un anno equivale a quella prodotta da 2,6 famiglie medie per un anno.

L'ozono troposferico rimosso in un anno equivale a quello prodotto da 34,9 famiglie medie per un anno.

I dati esposti non tengono conto di altri servizi ecosistemici la cui valutazione non era prevista nel presente studio. Tra questi:

- il valore economico degli alberi del parco, cioè quanto costerebbe alla collettività acquistare, piantare e gestire alberi corrispondenti a quelli presenti per numero, specie e classe di età;
- il risparmio energetico (e quindi la riduzione delle emissioni di CO₂) dovuto al minore condizionamento climatico domestico, grazie all'isolamento termico esercitato dalla copertura vegetale;
- la riduzione dell'effetto "isola di calore" dovuta all'ombreggiamento degli alberi e all'evapotraspirazione (Steenefeld *et al.*, 2011; Armson *et al.*, 2012);
- tutti i valori immateriali di carattere estetico, ricreativo e culturale a cui è forse impossibile attribuire un valore economico.

Conclusioni

I cittadini hanno un ruolo importante per tutelare e monitorare le foreste urbane

Misurare con esattezza il ruolo che la vegetazione urbana può svolgere nella mitigazione dei cambiamenti climatici non è un'impresa facile a causa delle innumerevoli e complesse variabili che entrano in gioco.

Tuttavia lo studio svolto nel parco di Aguzzano ha fornito utili indicazioni su come anche un'area verde di modeste dimensioni, ubicata in un settore fortemente congestionato della città, possa costituire un efficace filtro per rimuove-

re gli inquinanti atmosferici, catturare e trattenere la CO₂ e ridurre le masse di acqua piovana che allagano le strade prima di defluire verso i sistemi fognari. Questi servizi ecosistemici possono migliorare su scala locale la qualità dell'aria, la salute dei cittadini, il clima e la resilienza del territorio.

Di questi servizi è stato stimato il valore economico per ottenere una misura indicativa di quanto convenga alla comunità cittadina conservare la funzionalità ecosistemica delle aree verdi urbane, perché da queste riceve gratuitamente dei benefici.

I servizi ecosistemici della foresta urbana di Aguzzano sono riassunti nella tab. 23.

Servizio ecosistemico		Quantità	CO ₂ eq.	Stima economica
Fissazione		1.191,60 t	4.369,50 t	119.200,00 €
Sequestro lordo	C	69,97 t/anno	256,59 t/anno	
Sequestro netto		61,16 t/anno	224,28 t/anno	6.116,00 €/anno
Rimozione	O ₃	1.173,893 Kg/anno		5.187,43 €/anno
	NO ₂	842,28 Kg/anno		7.539,08 €/anno
	SO ₂	15,22 Kg/anno		33,34 €/anno
	CO	73,53 Kg/anno		93,48 €/anno
	PM _{2,5}	81,85 Kg/anno		489,16 €/anno
Produzione	O ₂	163,10 t/anno		
Riduzione deflusso superficiale	H ₂ O	3.705,00 m ³ /anno		36.309,00 €/anno
TOT				174.967,49 €/anno

Tab. 23. Servizi ecosistemici della foresta urbana di Aguzzano.

La fissazione e il sequestro del carbonio e la produzione di ossigeno sono calcolati solo per gli alberi.

La rimozione degli inquinanti e la riduzione del deflusso superficiale sono calcolati per alberi e arbusti.



Confrontando la funzione di *carbon sink* della foresta urbana di Aguzzano con quella stimata in due studi analoghi condotti nelle città di Barcellona (Chaparro e Terradas, 2009) e Strasburgo (Selmi, 2016), Aguzzano si colloca in una posizione intermedia per quanto riguarda la fissazione del carbonio per superficie di copertura arborea e in una posizione leggermente superiore per quanto riguarda le funzioni di fotosintesi.

Significativamente più alto risulta inoltre il tasso di rimozione degli inquinanti atmosferici (Tab. 24), che tuttavia risente fortemente di specifiche condizioni locali quali la concentrazione atmosferica degli inquinanti, il fotoperiodo, la durata della fase vegetativa, il regime pluviometrico e dei venti, le condizioni atmosferiche generali, ecc.

Il confronto è condizionato dalle dimensioni e dalle caratteristiche strutturali e urbanistiche delle tre aree di studio, tuttavia questi dati mettono in evidenza le grandi potenzialità ecosistemiche e di infrastrutture verdi rappresentate dalle foreste urbane.

La città di Roma, con i suoi 86.000 ha di verde costituiti da superfici agricole, spazi naturali, aree incolte, superfici alberate, giardini, parchi urbani, ville storiche, ville comunali, orti urbani, aree ripariali, aree boscate, costituisce un potenziale ecosistemico di rilevante interesse. Tuttavia questo potenziale, privo di una pianificazione e di un sistema di regole che lo indirizzi verso il miglioramento degli standard di qualità ambientale, può trasformarsi rapidamente da risorsa in problema, da beneficio in costo.

	BARCELLONA	STRASBURGO	AGUZZANO	
Area di studio (ha)	10.121	2.170	60	
Copertura arborea (ha)	2.550	1.495	16	
Copertura arborea %	25,2%	68,89%	26,6%	
Carbonio	Fissazione (t)	113.437	127.895	1.191,6
	Tasso di fissazione (Kg/m ²)	4,45	8,55	7,53
	Sequestro lordo (t)	6.187	4.060	69,67
	Sequestro netto (t)	5.422	3.745	61,16
	Tasso di sequestro lordo (Kg/m ²)	0,24	0,27	0,44
	Tasso di sequestro netto (Kg/m ²)	0,21	0,25	0,39
	Inquinanti	Rimozione (t)	306,60	76,44
Tasso di rimozione (g/m ²)		11,98	5,11	13,82

Tab. 24. Confronto tra i servizi ecosistemici delle foreste urbane di Barcellona, Strasburgo e Aguzzano.

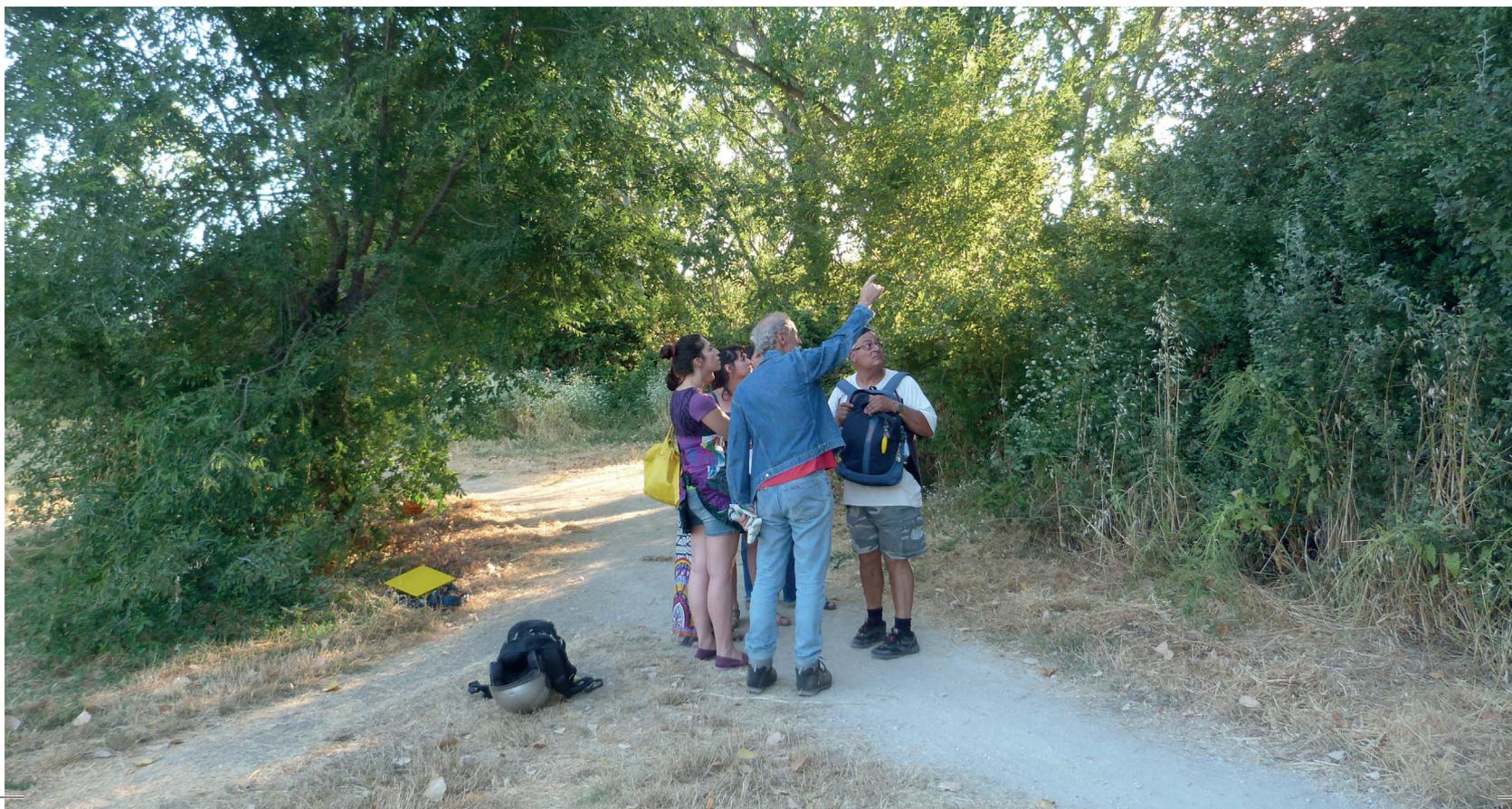
LA SCIENZA DEI CITTADINI

Lo studio condotto nella foresta urbana di Aguzzano, oltre a fornire elementi di conoscenza sulla struttura e sulle funzioni ecosistemiche di quest'area, rappresenta anche uno dei primi esempi di "scienza dei cittadini" portato avanti nel nostro paese.

Il coinvolgimento dei cittadini nel monitoraggio ambientale, visto fino a poco tempo fa con distacco dalle istituzioni scientifiche ed accademiche, si sta rivelando invece un approccio integrativo, originale ed interessante per la ricerca scientifica. Le moderne tecnologie informatiche in particolare nel campo dell'osservazione della Terra e della modellistica ambientale, consentono a tutti di raccogliere grandi quantità di informazioni sul territorio con un livello di dettaglio impensato fino a pochi anni fa. Allo stesso tempo l'interazione a vari livelli tra società civile, comunità

scientifiche e decisori politici può creare le sinergie necessarie per pianificare strategie di prevenzione, gestione delle emergenze e miglioramento della qualità della vita.

Un primo momento di riflessione su questi temi è stato la *First Italian Citizen Science Conference*, organizzata dall'Accademia Nazionale delle Scienze presso il CNR di Roma il 23, 24 e 25 novembre 2017. L'incontro ha rappresentato un'occasione di confronto tra numerosi paesi europei sulle idee, metodologie, problemi e prospettive del coinvolgimento dei cittadini nel monitoraggio ambientale, con particolare riferimento al clima, alla biodiversità e alla stabilità dei territori. È auspicabile che gli amministratori pubblici sappiano cogliere le opportunità che si aprono con il crescente protagonismo delle comunità locali nella salvaguardia del territorio e sappiano riconoscerne il ruolo di presidio sociale per le grandi sfide ambientali che abbiamo davanti.



RACCOMANDAZIONI

Per migliorare le funzioni ecosistemiche della foresta urbana di Aguzzano e il suo ruolo di infrastruttura verde, sono state individuate due tipologie fondamentali di intervento: la riconversione ecologica del bacino del fosso di San Basilio e l'incremento della copertura arborea attraverso la ricostruzione di lembi di foresta autoctona (Fig. 19).

RICONVERSIONE ECOLOGICA DEL FOSSO DI SAN BASILIO

Uno dei principali fattori di degrado urbano deriva da una errata gestione della risorsa acqua e dallo stravolgimento del naturale ciclo idrologico. Il fosso di

San Basilio fa parte della rete dei fossi affluenti del fiume Aniene, primo anello di una lunga catena essenziale nella globalità del ciclo idrologico. Attualmente gran parte del fosso di San Basilio è coperto dal cemento e solo le zone di agro romano vincolato ne hanno salvaguardato lo scorrimento naturale. Nel parco di Aguzzano il fosso scorre liberamente per brevi tratti e risulta interrato e intubato in più punti. All'estremità occidentale del parco il fosso si immette nella rete fognaria che confluisce al depuratore di Roma Nord.

Un intervento di sistema per il risanamento ecologico dell'intera area di bacino e il ripristino della circolazione superficiale e sotterranea delle acque, assume un'importanza assolutamente centrale

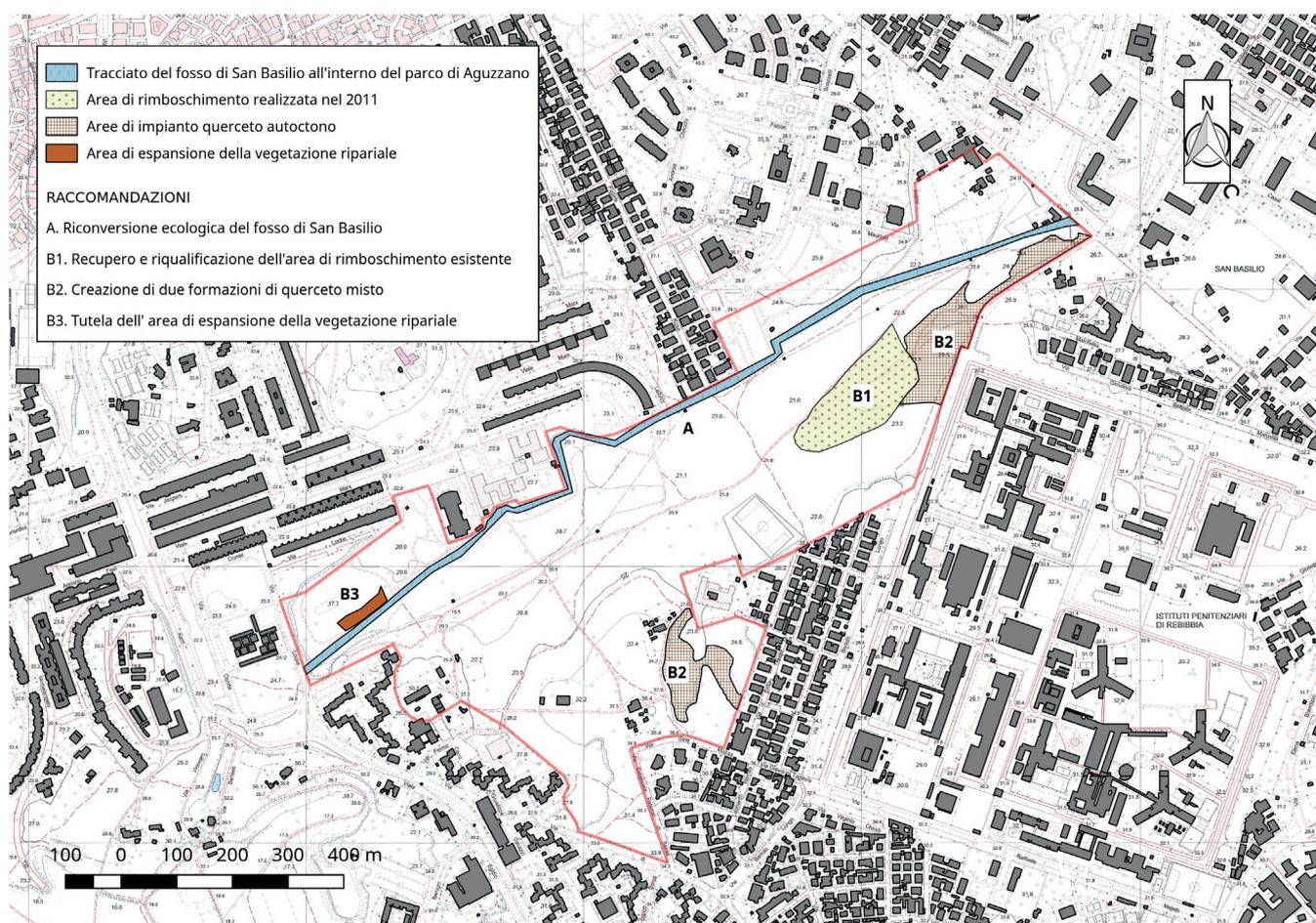


Fig. 19. Localizzazione degli interventi per il miglioramento delle funzioni ecosistemiche della foresta urbana di Aguzzano.

per la riqualificazione ambientale del territorio e per il miglioramento degli habitat ripariali, essenziali a loro volta per la tutela della biodiversità urbana (Fig. 20).



Fig. 20. Girini di rospo comune (*Bufo bufo*) nel fosso di San Basilio (30 aprile 2018).

Numerosi sono gli esempi di corsi d'acqua in ambiente urbano sottratti al degrado e all'abbandono e trasformati in importanti infrastrutture verdi con grande beneficio per l'intera comunità. Una delle esperienze più note e di maggior successo è il parco Martin Luther King realizzato a Parigi nell'area di Clichy-Batignolles. Qui i fossi e le zone umide sono gli elementi intorno ai quali ha preso forma un modello di quartiere sostenibile a basso impatto energetico, resiliente verso le anomalie termiche urbane e rispettoso della biodiversità (Fig. 21).



Fig. 21. Parc Clichy-Batignolles - Martin-Luther-King @ Paris (29847691836).jpg.

La riqualificazione ecologica del fosso di San Basilio è stata trattata approfonditamente da Zanca (1998), Munafò (1999) e Macchi (2001).

INCREMENTO DELLA COPERTURA ARBOREA

Questa tipologia di intervento ha come obiettivo l'aumento della copertura arborea e la riduzione della frammentazione degli habitat forestali. L'intervento si articola in tre azioni distinte:

1. recupero e riqualificazione di un'area di rimboschimento preesistente;
2. creazione di due formazioni di quer-ceto misto;
3. tutela di una piccola area di espansione spontanea della vegetazione ripariale.

1. Recupero e riqualificazione di un'area di rimboschimento preesistente.

Nel 2011 diversi operatori privati in accordo con l'Ente gestore realizzarono un'area di rimboschimento di 2,5 ha nel settore centro-orientale del parco, con la messa a dimora di circa 400 esemplari di leccio, orniello, farnetto, pioppo bianco. Tuttavia, in assenza di una adeguata gestione e cura soprattutto nei primi anni dall'impianto, molti alberi non riuscirono a sopravvivere ed oggi circa il 20% risulta morto o in stato di grave deperimento (Fig. 22).

L'azione prevede la sostituzione degli alberi morti con individui delle medesime specie, il recupero degli alberi depe-



Fig. 22. Area di rimboscimento.

rienti e interventi periodici di manutenzione e monitoraggio. Una opportuna tabellazione dell'area di rimboscimento che indichi la perimetrazione del sito, le specie messe a dimora e le finalità dell'intervento, potrà contribuire alla informazione e responsabilizzazione della cittadinanza e a ridurre gli episodi di vandalismo.

Allo stesso tempo, gruppi di cittadini attivi nel territorio adeguatamente formati e tutorati potranno esercitare una funzione di controllo e cura dell'area e coinvolgere le scolaresche in campagne di sensibilizzazione.

2. Creazione di due formazioni di querceto misto.

Nel corso dei censimenti sono stati individuati due siti idonei a ricreare formazioni di querceto misto autoctono.

Il primo sito (Fig. 23) è costituito da un'area di 1,18 ha nel settore meridionale del parco caratterizzata da scarpate e affioramenti di tufo litoide lionato. Qui in passato era segnalata la presenza di

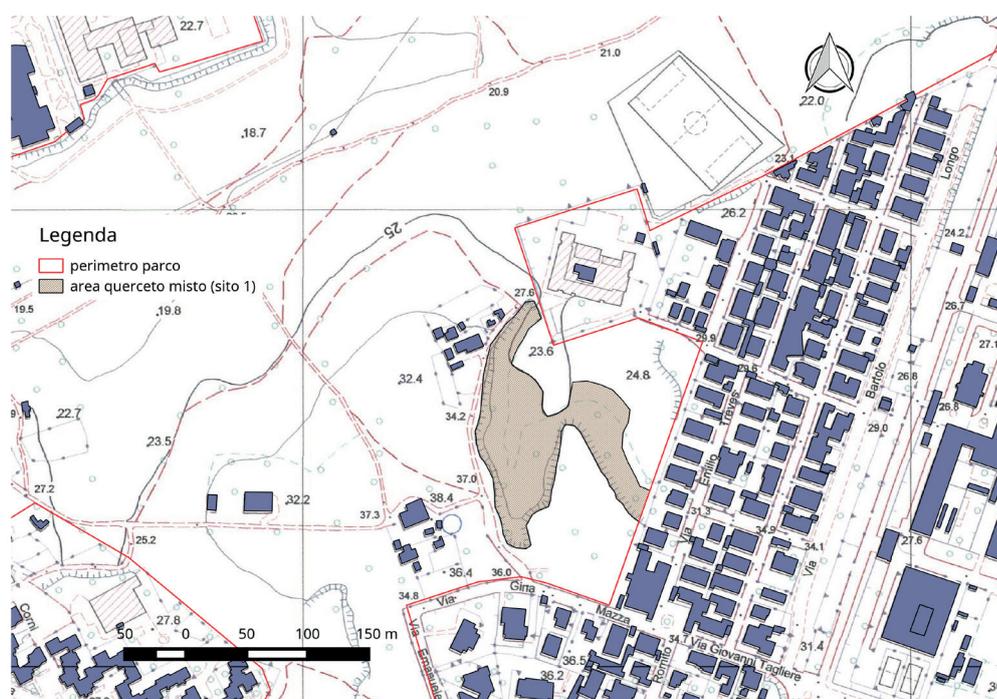


Fig. 23. Area per l'impianto del querceto misto (sito 1).

un piccolo bosco di querce caducifoglie (“3.1.1.2.1b. Querceti dei fondovalle a *Quercus cerris* e *Q. frainetto* con presenza di *Q. robur*”) (Comune di Roma, 2007c). Oggi questa formazione è scomparsa, probabilmente a seguito degli sbancamenti effettuati per la bonifica di una discarica abusiva di rifiuti, ed è stata sostituita da vegetazione alloctona infestante ad ailanto e robinia, con presenze di *Laurus nobilis*, *Ficus carica*, *Prunus* sp e *Rubus ulmifolius*.

Il secondo sito è un’area di 2,16 ha che si estende dal confine sud-orientale del parco fino al margine orientale dell’area di rimboscimento (Fig. 24). Si tratta di uno dei settori meno frequentati del parco, compreso tra il penitenziario di Rebibbia e via del Casale San Basilio, posto in posizione leggermente rialzata su substrato di depositi vulcanici (“pozzolane grigie superiori”).

L’azione prevede l’eradicazione della vegetazione alloctona infestante e l’impianto di lembi di bosco a prevalenza di querce caducifoglie (farnetto e farnia) in entrambi i siti. In questo modo si ricreeranno due piccole formazioni di bosco autoctono coerenti con la vegetazione potenziale dell’area e inoltre si otterrà

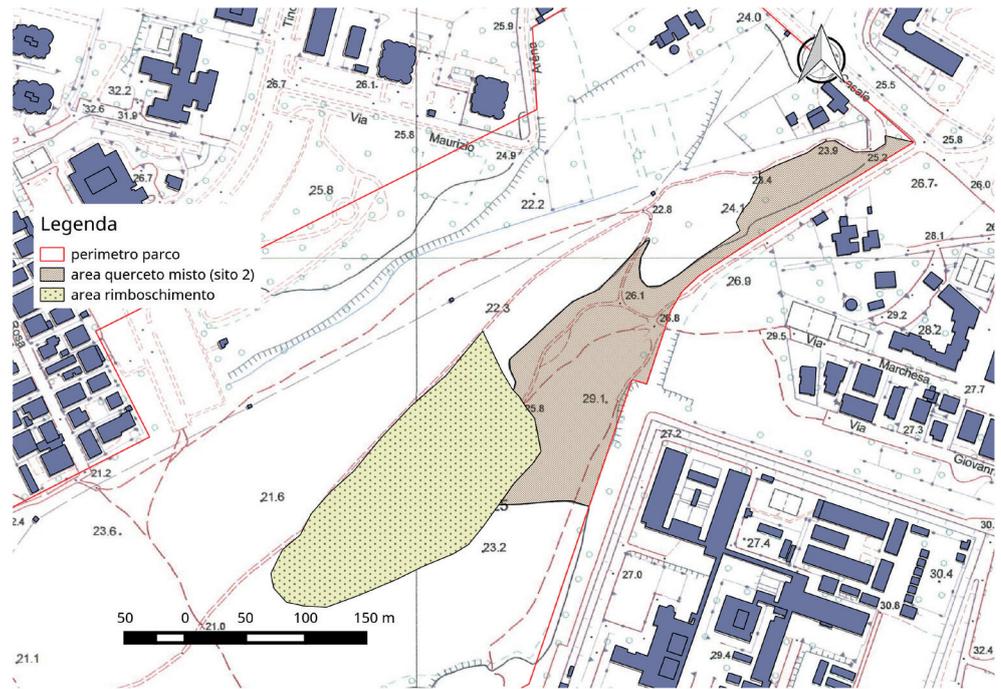


Fig. 24. Area di rimboscimento preesistente e area di impianto del querceto misto (sito 2).

l’effetto di espansione del nucleo di riforestazione esistente.

3. Tutela di un’area di espansione spontanea della vegetazione ripariale.

Nel settore occidentale del parco ai margini del fosso di San Basilio, si è sviluppata una fitta formazione spontanea di plantule di pioppo bianco con esemplari di 1-2 anni, con presenza nello strato erbaceo di *Equisetum arvense* (Fig. 25).



Fig. 25. Area di espansione della vegetazione ripariale.

L'intervento proposto si limita alla protezione dell'area attraverso la predisposizione di una semplice staccionata in materiale naturale (Fig. 26) munita di adeguata tabellazione. In questo modo verrà ridotto il calpestio e si consentirà alle giovani piante di svilupparsi e selezionare gli individui più vigorosi.



Fig. 26. Staccionata realizzata con materiale di potatura (Parc départemental de Chanteraines, Département Haut-de-Seine).

L'ultima raccomandazione - forse la più importante - riguarda il rapporto che si deve stabilire tra le istanze provenienti dalla società civile, il mondo delle associazioni e in senso lato i cittadini, e i gestori, le amministrazioni e in senso lato il mondo della politica.

Il parco di Aguzzano nasce trent'anni fa dalla ferma determinazione della comunità locale di tutelare il cuore verde del quartiere e da allora ha visto avvicinarsi generazioni di giovani e meno giovani che hanno occupato con innumerevoli attività sociali, culturali, didattiche, scientifiche, ambientali, artistiche, solidali, partecipative spazi colpevolmente dimenticati dalle istituzioni.

Queste generazioni hanno ben chiaro il concetto di "parco bene comune", hanno idee, hanno competenze e hanno proposte concrete. E fino ad ora non hanno avuto un interlocutore disposto ad ascoltarle.

Questa situazione, largamente sovrapponibile a quella di altri parchi e aree protette della nostra città è ormai anacronistica e richiede un superamento. Non si aumenta la resilienza delle città senza aumentare la partecipazione e il coinvolgimento attivo della società civile, questo elementare principio deve informare la cultura e la visione dei moderni gestori e amministratori e deve trovare concretezza in atti formali.



GLOSSARIO

Antropico. Prodotto dall'attività umana.

Area di insidenza. Superficie della proiezione al suolo della chioma dell'albero.

Areale. Area geografica di distribuzione naturale di una specie.

Bottom-up (e *top-down*). Procedure logiche che consistono nell'affrontare un problema raccogliendo informazioni di base per poi analizzarle ("*bottom-up*") o al contrario applicando un modello interpretativo generale a una situazione specifica ("*top-down*"). In generale un processo è definito "*bottom-up*" se è condizionato dal comportamento delle sue componenti di base e "*top-down*" se è condizionato dalle componenti di vertice.

Campionamento stratificato. In Statistica, procedura attraverso la quale la popolazione che si intende indagare viene suddivisa in raggruppamenti ("*strati*") più omogenei al loro interno e da questi vengono estratti i campioni.

Carbon sink. Qualsiasi attività, processo o sistema fisico atto a sottrarre CO₂ dall'atmosfera.

Cenosi. Insieme di individui di specie diverse che occupano contemporaneamente uno spazio e interagiscono tra loro (= Comunità biologica).

Ciclo dell'acqua. Scambio e circolazione dell'acqua nei suoi stati fisici (liquido, solido, aeriforme), tra l'atmosfera e la Terra. Le trasformazioni attraverso le quali si realizza il ciclo delle acque sono: evaporazione, condensazione, precipitazione. Le acque meteoriche possono scorrere superficialmente su suoli impermeabilizzati o infiltrarsi e dare vita allo scorrimento sotterraneo.

Corridoi ecologici. Porzioni di territorio nelle quali permangono le condizioni ambientali idonee alla dispersione di organismi vegetali ed animali.

Ecologia. Scienza che studia le relazioni tra gli organismi viventi e il loro ambiente

Economia ecologica. Ramo dell'economia che studia il valore economico della biodiversità a tutti i livelli, compresi i processi ecosistemici e i costi/vantaggi derivanti dalla sua conservazione rispetto a quelli derivanti dalla sua perdita.

Ecosistema. Sistema complesso costituito da una comunità biologica (componente biotica), dal suo habitat (componente abiotica) e dall'insieme delle relazioni che intercorrono tra queste componenti.

Ecotono. Zona di contatto e transizione tra due ecosistemi diversi, ove è presente una biodiversità maggiore di quella delle aree confinanti.

Edafico. Riferito alle condizioni e caratteristiche del terreno.

Effetto serra. Fenomeno dovuto alla proprietà di alcuni gas di consentire il passaggio della radiazione solare verso la superficie della Terra ma ostacolare la radiazione elettromagnetica emessa dalla Terra. Ciò in condizioni normali comporta una certa stabilizzazione del clima e un generale aumento delle temperature. Tuttavia l'aumento costante della concentrazione atmosferica dei gas ad effetto serra comporta un surriscaldamento eccessivo della superficie terrestre.

Esternalità. In Economia, costi sostenuti o beni goduti da soggetti terzi non direttamente coinvolti in una transazione.

Evapotraspirazione. Somma della quantità di acqua ceduta all'atmosfera per evaporazione dal suolo e traspirazione dalle piante.

Evapotraspirazione potenziale. Quantitativo teorico massimo di acqua ceduto all'atmosfera nell'unità di tempo per evaporazione dal suolo e traspirazione dalle piante, se non vi fossero limiti alla quantità di acqua disponibile nel terreno.

Fenologia (degli alberi). Fasi di sviluppo delle piante.

Fitosociologia. In Botanica, individuazione delle comunità vegetali attraverso il loro grado di somiglianza floristica ed ecologica e suddivisione in classi gerarchiche.

Genere. Entità tassonomica che racchiude specie diverse con caratteristiche comuni e sistematicamente vicine. Es. il leccio (*Quercus ilex*) e la farnia (*Quercus robur*) sono due querce appartenenti a due specie diverse ma allo stesso genere *Quercus*.

GIS (*Geographical Information Systems*). Sistema basato su appositi software che consentono di gestire e analizzare banche dati georiferite, nelle quali ogni singola informazione ha una precisa posizione geografica.

Habitat. Complesso dei fattori fisici e chimici propri del sito in cui una popolazione, una specie, una comunità vive.

Immagine multispettrale. Immagine che associa ad ogni pixel il valore dell'energia riflessa di oggetti della superficie terrestre nelle diverse lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico.

In situ. In Ecologia, la conservazione di una popolazione o di una comunità all'interno del proprio habitat naturale.

Open source. In Informatica, sistema operativo a "codice aperto", che può essere modificato e implementato da programmatori indipendenti.

Ortofotocarta. Foto aerea di una porzione di territorio che ha subito un processo di correzione geometrica delle distorsioni ("ortorettifica") e di georeferenziazione tale da renderla utilizzabile come una carta geografica.

Ozono troposferico. Molecola composta da tre atomi di ossigeno, O_3 , presente nella troposfera cioè nei bassi strati dell'atmosfera, dalla superficie terrestre fino a 10-12 Km di altezza. Partecipa a reazioni chimiche catalizzate dall'irraggiamento solare ed è pertanto uno dei componenti dello "smog fotochimico".

PES (*Payments for Environmental Services*). Meccanismi economici che incentivano i gestori di una risorsa ambientale a mantenerla integra nel tempo affinché questa generi servizi ambientali a vantaggio di una comunità.

Popolazione. Insieme di individui della stessa specie, che occupano una stessa area e che si riproducono. In senso estensivo: tutti gli oggetti di un insieme (es.: la popolazione arborea).

Praterie termofile. Formazioni erbose caratterizzate da vegetazione adattata a condizioni climatiche calde aride o semiaride.

Random. Casuale.

Resilienza. In Ecologia, la capacità di un ecosistema di recuperare gli equilibri iniziali dopo aver subito una perturbazione. Maggiore è la complessità dell'ecosistema e la sua capacità di adattamento alle variazioni ambientali, maggiore è la sua resilienza.

Saproxilico. Riferito ad un organismo che si alimenta di legno morto.

Servizi ecosistemici. Benefici di varia natura forniti direttamente o indirettamente dagli ecosistemi alle società umane (es. produzione di ossigeno, rimozione degli inquinanti atmosferici, cattura del carbonio e regolazione del clima, regolazione del ciclo delle acque, fornitura di cibo, ecc).

Sigmatum. Insieme di comunità vegetali o stadi evolutivi delle stesse che si possono sviluppare in uno spazio ecologicamente omogeneo.

Specie. In prima approssimazione, gruppo naturale di individui (organismi unicellulari, batteri, funghi, piante, animali) realmente o potenzialmente interfecondi, isolati riproduttivamente da altri gruppi.

Specie alloctona. Specie introdotta artificialmente al di fuori del proprio areale naturale di distribuzione (= specie esotica).

Stakeholders. Soggetti (individui, organizzazioni, associazioni, enti, ecc.) potenzialmente interessati alla realizzazione di un progetto e che quindi possono influenzarne la realizzazione.

Stoma fogliare. Piccola apertura nei tessuti delle foglie e dei fusti. Attraverso il controllo dell'apertura e chiusura degli stomi fogliari avvengono gli scambi gassosi tra la pianta e l'ambiente esterno.

Tipo corologico (= corotipo). Distribuzione geografica di gruppi di specie vegetali con areale simile.

Traspirazione. La quantità di acqua persa da un organismo e ceduta all'ambiente esterno sotto forma di vapore. Nelle piante la traspirazione avviene attraverso gli stomi fogliari.

Uso del suolo. Utilizzazione di tipo socio-economico del territorio.

Vegetazione ripariale. Vegetazione caratteristica delle aree umide lungo i margini dei corsi d'acqua.

Vegetazione ruderale e nitrofila. Vegetazione adattata a vivere negli anfratti dei muri, lungo i bordi delle strade, su substrati ricchi di nitrati.

Bibliografia

Annuario Statistico Italiano. ISTAT, 2017.

Armson D., Stringer P., Ennos A.R., 2012. *The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area*. Urban Forestry and Urban Greening, 11 (3): 245-255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>.

Aronson M.F., Handel S.N., La Puma I.P., Clemants S.E., 2015. *Urbanization promotes non-native woody species and diverse plant assemblages in the New York metropolitan region*. Urban Ecosyst. 2015, 18, 31-45.

Attorre F., Valenti R., Bruno F., 1999. *Carta della vegetazione naturale e antropica di Roma (entro il G.R.A.) [1:10.000]*. Regione Lazio, Assessorato Ambiente.

Barbati A., Ferrari B., Alivernini A., Quatrini A., Merlini P., Puletti N., Corona P., 2014. *Sistemi forestali e sequestro del carbonio in Italia*. L'Italia Forestale e Montana, 69 (4): 205-212. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2014.4.01>

Battisti C., 2004. *Frammentazione ambientale, connettività, reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica*. Provincia di Roma, Assessorato alle politiche ambientali, Agricoltura e Protezione civile pp.

Baldocchi D.D., Hicks B.B., Camara P., 1987. *A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces*. Atmospheric Environment. 21: 91-101.

Baldocchi D., 1988. *A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy*. Atmospheric Environment. 22: 869-884.

Beadle C. L., 1993. *Growth analysis*. In: Photosynthesis and production in a changing environment. A field and laboratory manual, Hall D.O. ed., Chapman & Hall, London, 36-46.

Bealey W.J., McDonald A.G., Nemitz E., Donovan R., Dragosits U., Duffy T.R., Fowler D., 2007. *Estimating the reduction of urban PM 10 concentrations by trees within an environmental information system for planners*. Journal of Environmental Management 85, 44-58.

Benedict M.A., McMahon E.T., 2006. *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Washington, D.C.: Island Press.

Blasi C., Michetti L., 2001. *Carta del Fitoclima dell'area romana*. Inform. Bot. It. Maggio 2001.

Blasi C., 2007. *Relazione vegetazionale (Documentazione ai sensi della D.G.R. 18/5/99 n° 2649)*. VI Dipartimento - Comune di Roma - Politiche per la programmazione e pianificazione del territorio.

Blasi, C., Capotorti G., Marta M., Marchese M., 2008. *An integrated approach to better define the concept and functions of Urban Biosphere Reserves*. Plant Biosyst. 2008, 142, 324-330.

- Capotorti, G., Del Vico E., Anzellotti I., Celesti-Grappo L., 2017. *Combining the Conservation of Biodiversity with the Provision of Ecosystem Services in Urban Green Infrastructure Planning: Critical Features Arising from a Case Study in the Metropolitan Area of Rome*. *Sustainability* 2017, 9(1), 10; doi:10.3390/su9010010.
- CE, 2003. *Direttiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio*. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea. 25.10.2003.
- CE, 2009. *Regolamento (CE) n. 443/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio*. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea. 5.6.2009.
- Chaparro L., Terradas J., 2009. *Ecological Services of Urban Forest in Barcelona*. CRE-AF-UAB. (https://www.researchgate.net/publication/286449350_Ecosystem_services_of_urban_forest)
- Comitato Capitale Naturale, 2017. *Primo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia*, Roma.
- Comune di Roma, 2007a. *Piano Regolatore Generale- G9.7 - Carta dell'uso del suolo e delle fisionomie vegetazionali del territorio comunale*. Dip. Politiche Programmazione e Pianificazione del Territorio – Roma Capitale Uff. Pianificazione e Progettazione Generale. (<http://www.urbanistica.comune.roma.it/prg-vigente-g97.html>)
- Comune di Roma, 2007b. *Piano Regolatore Generale- G9.1 - Carta geolitologica del territorio comunale*. Dip. Politiche Programmazione e Pianificazione del Territorio – Roma Capitale Uff. Pianificazione e Progettazione Generale. (<http://www.urbanistica.comune.roma.it/prg-vigente-g91.html>).
- Comune di Roma, 2007c. *Piano Regolatore Generale- G9.B - Relazione vegetazionale - Allegato 2: Carta fitosociologica della vegetazione reale del territorio comunale* - Roma Capitale Uff. Pianificazione e Progettazione Generale. (<http://www.urbanistica.comune.roma.it/prg-vigente-g9b.html>)
- Corona P., Agrimi M., Baffetta F., Barbati A., Chiriaco M.V., Fattorini L., Pompei E., Mattioli W., 2011 - *Extending large-scale forest inventories to assess urban forests*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184 (3): 1409-1422. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-011-2050-6>
- Costanza, R., 2008. *Ecosystem services: multiple classification systems are needed*. In *Biological Conservation* 141(2):350-352. February 2008.
- Escobedo F.J., Nowak D.J., 2009. *Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest*. *Landscape and Urban Planning* 90, 102-110.
- EU, EC, 2013; *“Infrastrutture verdi – Rafforzare il capitale naturale in EU”*; Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al CESE e al Comitato delle Regioni; COM(2013) 249 final.
- Farley, J., Costanza, R., 2010. *Payments for ecosystem services: from local to global*. *Ecological Economics* 69.11: 2060-2068 *Biol. Conserv.* 41, 350-352.
- Fowler J., Cohen L., 2003. *Statistica per ornitologi e naturalisti*. Muzzio Ed.
- Franc N., 2007. *Standing or downed dead trees – does it matter for saproxylic beetles in temperate oak-rich forest?* *Canadian Journal of Forest Research*, 2007, 37 (12), 2494-2507, 10.1139/X07-096

- Funciello R., Praturlon A., Giordano G., 2008. *La Geologia di Roma dal centro storico alla periferia*. Mem. Descr. Carta Geol. It. LXXX.
- Gaglioppa P., Marino, D. (a cura di). *Manuale per la valutazione dei servizi ecosistemici e l'implementazione dei PES nelle aree agroforestali*. CURSA, Roma, 2016, pp. 178.
- Geron C.D., Guenther A.B., Pierce T.E., 1994. *An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forests in the eastern United States*. Journal of Geophysical Research. 99(D6): 12,773-12,791.
- Haines-Young, R., Potschin, M.B., 2018. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. European Environment Agency, Web site. [online] URL: <https://cices.eu/resources/>.
- Hirabayashi S., 2012. *i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions*. http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf
- ISPRA, 2010. *La realizzazione in Italia del Progetto CORINE Land Cover 2006*. ISPRA, RAPPORTI 131/2010.
- Leone, A.M., Patriarca, R., 1992. *Il Parco Regionale di Aguzzano*. Quaderni dell'ambiente n. 2. Comune di Roma - Ufficio Tutela Ambiente.
- Lockie S., 2013. *Market instruments, ecosystem services, and property rights: assumptions and conditions for sustained social and ecological benefits*. Land Use Policy, 31: 90-98.
- Macchi S., 2001. *Verso una riqualificazione "non moderna" delle marane romane*. In E. Scandurra, C. Cellamare e P. Bottaro (a cura di): *Labirinti della città contemporanea*. Meltemi, Roma, 2001. pp. 105-126.
- Manes F., Salvatori E., La Torre G., Villari P., Vitale M., Biscontini D., Incerti G., 2008. *Urban green and its relation with air pollution: ecological studies in the Metropolitan area of Rome*. JPH - Year 6, Volume 5, Number 4, 2008.
- McDonald A.G., Bealey W.J., Fowler D., Dragosits U., Skiba U., Smith R.I., Donovan R.G., Brett H.E., Hewitt C.N., Nemitz E., 2007. *Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations*. Atmospheric Environment 41, 8455-8467.
- McKinney, M.L., 2006. *Urbanization as a major cause of biotic homogenization*. Biol. Conserv. 2006, 127, 247-260.
- McPherson, E.G., 2010. *Selecting Reference Cities for i-Tree Streets*. Arboriculture & Urban Forestry 2010. 36(5): 230-240
- Miyawaki A., 2004. *Restoration of living environment based on vegetation ecology: Theory and practice*. Ecol. Res. 2004, 19, 83-90.
- Munafò M., 1999. *Tecniche di monitoraggio dei bacini idrografici in area urbana e loro implicazioni per la pianificazione urbanistica: il caso del fosso di San Basilio*. Tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Università "La Sapienza", Roma

- Nowak D.J., 1994. *Air pollution removal by Chicago's urban forest*. In: McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (Eds.), *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. USDA Forest Service General Technical Report NE-186, Radnor, PA, pp. 63-81.
- Nowak D.J., 1996. *Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees*. *Forest Science*. 42(4): 504-507.
- Nowak D.J., 2000. *The interactions between urban forests and global climate change*. In: Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. *Global Climate Change and the Urban Forest*. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press: 31-44.
- Nowak D.J., Civerolo K.L., Rao S.T., Sistla S., Luley C.J., Crane D.E., 2000. *A modeling study of the impact of urban trees on ozone*. *Atmospheric Environment*. 34: 1601-1613.
- Nowak D.J., Crane, D.E., 2000. *The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions*. In: Hansen, M., Burk, T. (Eds.), *Integrated Tools for Natural Resources Inventories in the 21st Century: Proceedings of the IUFRO Conference*. General Technical Report NC-212, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station, St. Paul, MN, 714-720.
- Nowak D. J., Crane D. E., 2002. *Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA*. *Environmental Pollution*, 116(3), 381-389.
- Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C., Ibarra M., 2002a. *Brooklyn's Urban Forest*. General Technical Report NE-290, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North-eastern Research Station, Newtown Square, PA. 107 pp.
- Nowak, D.J., Stevens, J.C., Sisinni, S.M., Luley, C.J. 2002b. *Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide*. *J. Arboric.* 28(3): 113-122.
- Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C., 2006. *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States*. *Urban Forestry & Urban Greening* 4, 115-23.
- Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C., Hoehn R.E., Walton J.T., Bond J., 2008. *A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services*. *Arboriculture & Urban Forestry* 2008. 34(6):347-358.
- Nowak D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E., 2014. *Tree and forest effects on air quality and human health in the United States*. *Environmental Pollution*. 193:119-129.
- Pennisi L. - *Una stima delle percorrenze medie annue delle autovetture*. <http://groupware.sinanet.isprambiente.it/>
- Pilli R., Anfodillo A., Della Valle E., (eds), 2006. *Stima del carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi*. Pubblicazione del Corso di Cultura in ecologia. Atti del 42° Corso, Università di Padova: 161-183 2006
- Pirard R., 2012. *Market-based instruments for biodiversity and ecosystem services: a lexicon*. *Environmental Science and Policy*, 19-20: 59-68.
- Roma Open Data, 2016. *Bilancio Arboreo per Specie e per Municipio. Giugno 2016*. (http://dati.comune.roma.it/cms/it/dettaglio_ambiente.page?contentId=DTS4805).

- Roma Capitale - Roma Statistica. Popolazione iscritta in anagrafe al 31 dicembre 2016 per zone urbanistiche.
- Salisbury, F.B., Ross C.W., 1978. *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA. 422 pp.
- Schirone B., Salis A., Vessella F., 2011. *Effectiveness of the Miyawaki method in Mediterranean forest restoration programs*. *Landsc. Ecol. Eng.* 2011, 7, 81-92.
- Selmi W., 2016. *Évaluation des services écosystémiques rendus par les arbres urbains. Etude de l'effet des arbres sur l'environnement urbain. Résultats de l'application du modèle i-Tree Eco à la ville de Strasbourg*. Institut de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricoles de la Tunisie et l'Eurométropole de Strasbourg. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01282978>).
- Semenzato P., Cattaneo D., Dainese M., 2011. *Growth prediction for five tree species in an Italian urban forest*. *Urban Forestry & Urban Greening* 10 (2011) 169- 176.
- Spash C.L., 2015. *Bulldozing Biodiversity: The Economics of Optimal Extinction*. Università di Vienna SRE-Discussion, <http://epub.wu.ac.at/4450/>.
- Steeneveld G.J., Koopmans S., Heusinkveld B.G., van Hove L.W.A., Holtslag A.A.M., 2011. *Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands*. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116. <http://dx.doi.org/10.1029/2011JD015988>.
- Tortorella W., Chiodini L., 2010. Rapporto Cittalia - cittadini sostenibili. 2010. Cittalia-Fondazione ANCI Ricerche. Roma, 2010.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2017. *The Sustainable Development Goals Report*.
- van Essen, H.; Schroten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C., 2011. *External Costs of Transport in Europe*. Netherlands: CE Delft. p.161.
- Yang J., McBride J., Zhou J., Sun Z., 2005. *The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction*. *Urban Forestry and Urban Greening* 3, 65-78.
- Zanca A., 1998. *Piano di riconversione ecologica del bacino del fosso di San Basilio*. Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Università "La Sapienza", Roma.
- Zinke P.J., 1967. *Forest interception studies in the United States*. In: W. E. Sopper and H. W. Lull, Eds., *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergamon Press, New York, 1967, pp. 137-161.

L'Associazione Casale Podere Rosa è iscritta dal 2009 al Registro Regionale delle Organizzazioni di Promozione Sociale. Collabora con diverse istituzioni nella realizzazione di servizi e progetti socio-culturali, sviluppa attività didattiche con scuole e istituti universitari, collabora con associazioni nazionali e locali in difesa dei diritti della persona e dell'ambiente, promuove e sostiene piccole imprese agricole e zootecniche a carattere familiare basate sul metodo biologico e biodinamico e fortemente legate alla tutela del territorio.

La complessa e variegata attività dell'Associazione si esprime in gran parte attraverso apporti volontari di lavoro collettivo finalizzato a consolidare una comunità aperta di uomini e donne che si impegnano direttamente per migliorare la qualità della vita e hanno modo di donare il proprio tempo a servizio del bene comune.

Casale Podere Rosa

Associazione di Promozione Sociale
Via Diego Fabbri, 00137 Roma

info@casalepodererosa.org

<https://casalepodererosa.org/>

<https://www.facebook.com/casalepodererosa/>

