

STABILIMENTO DI PEDRIGNANO - IMPIANTO DI TRIGENERAZIONE



Studio preliminare ambientale

Quadro Ambientale

Allegato Capitolo 6 – Esame del Verde



IMPIANTO DI TRIGENERAZIONE

STABILIMENTO DI PEDRIGNANO – VIA MANTOVA 166 – PARMA

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

Quadro Ambientale

Allegato Capitolo 6 – Esame del Verde

“Stima dell’assorbimento della CO2 e di inquinanti atmosferici dell’attuale copertura vegetale dello stabilimento Barilla di Parma” – Istituto di Biometeorologia del CNR sede di Bologna

01	28/05/2019	STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE			
Rev.	Date	Quadro Ambientale – Esame del Verde – ALLEGATO CAPITOLO 6			
Allegato Doc. N:					
PR	3GE	HSE	D	TR	006A_1

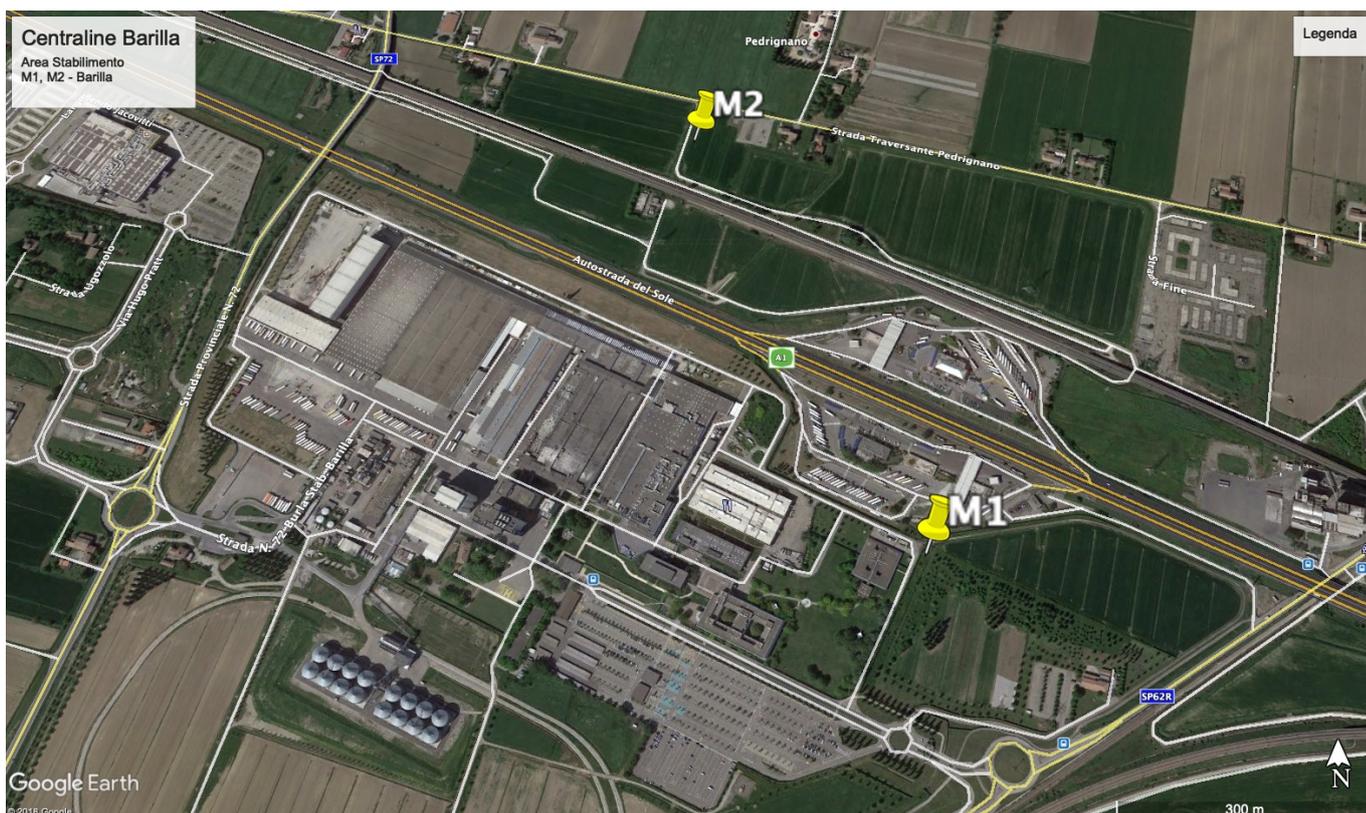
01	09/04/2019	STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE			
Rev.	Date	Quadro Ambientale – Ambiente Naturale			
ALLEGATO					
PR	3GE	HSE	D	TR	006A_1



STIMA DEL SEQUESTRO DELLA CO₂ E DELLA RIMOZIONE DI INQUINANTI ATMOSFERICI DELL'ATTUALE COPERTURA VEGETALE DELLO STABILIMENTO BARILLA DI PARMA

A cura di

Luisa Neri, Osvaldo Facini e Rita Baraldi



SEDE Bologna
Via Piero Gobetti, 101 - 40129 Bologna
Tel. +39 0516399014 Fax. +39 0516399024

INDICE	pag. 2
Riassunto	pag. 3
1. INTRODUZIONE	pag. 4
1.1. Area di studio e piante esaminate	pag. 5
2. METODOLOGIA	pag. 10
3. RISULTATI	pag. 10
3.1. CO ₂ sequestrata e immagazzinata come biomassa nelle piante	pag. 10
3.2. Rimozione di inquinanti atmosferici	pag. 13
3.3. Emissione di VOC e potenziale di formazione dell'ozono troposferico	pag. 14
3.4. Allergenicità delle piante	pag. 15
4. CONCLUSIONI	pag. 15
5. BIBLIOGRAFIA	pag. 47

RIASSUNTO

Il gruppo di ricerca “Fitorimedio e mitigazione ambientale” dell’IBIMET-CNR di Bologna si occupa, attraverso l’utilizzo di misure ecofisiologiche, modelli previsionali e algoritmi, della caratterizzazione di specie arboree, arbustive ed erbacee sulla base dei servizi e disservizi che esse forniscono nella mitigazione ambientale (sequestro di CO₂, rimozione potenziale di inquinanti gassosi e cattura del particolato, emissione di Composti Organici Volatili -VOC-, determinazione del potenziale di formazione dell’ozono) in ambienti antropizzati (urbani, suburbani e industriali) e naturali. Sulla base dell’esperienza maturata in tanti anni di attività e dei risultati ottenuti dalle proprie ricerche pubblicati su riviste scientifiche di prestigio internazionale (tra i più recenti: Baraldi et al., 2019a; Baraldi et al., 2019b), il gruppo di ricerca collabora con enti pubblici e privati per una corretta selezione di specie vegetali per ambienti antropizzati e alla stima della mitigazione ambientale della vegetazione, contribuendo alle scelte ecosostenibili per rendere le città più resilienti ai cambiamenti climatici in atto. Sulla base di queste competenze, in questo studio il gruppo di ricerca ha effettuato la stima dal punto di vista ambientale dei benefici prodotti dalle piante arboree, arbustive ed erbacee presenti nella copertura verde dello stabilimento Barilla di Parma. Attraverso l’applicazione del modello i-Tree Eco e la collaborazione con il Servizio Forestale del Dipartimento dell’Agricoltura degli Stati Uniti (USDA), il gruppo di ricerca ha stimato il sequestro annuale di anidride carbonica (CO₂) dall’atmosfera, la quantità di CO₂ immagazzinata nei tessuti vegetali sotto forma di biomassa e la produzione di ossigeno da parte delle specie vegetali presenti nell’area oggetto di studio. Il gruppo di ricerca ha inoltre esaminato l’abilità delle specie vegetali di migliorare la qualità dell’aria, stimando la capacità di filtrare dall’atmosfera sia inquinanti atmosferici di tipo gassoso, come l’ozono (O₃), sia particolato come le PM₁₀ e PM_{2,5}, così dannose per la salute umana.

Glossario

RIMOZIONE di inquinanti= la rimozione di inquinanti fa riferimento all’ammontare ANNUALE di inquinanti (O₃, SO₂, NO₂ e PM) rimossi dall’atmosfera attraverso l’assorbimento tramite gli stomi o la deposizione sulla superficie fogliare

SEQUESTRO di CO₂= Il sequestro di anidride carbonica fa riferimento all’ammontare ANNUALE di CO₂ assorbita dall’atmosfera durante il processo fotosintetico e accumulata nella massa epigea ed ipogea della pianta

IMMAGAZZINAMENTO di CO₂= ammontare di CO₂ accumulata nella massa epigea ed ipogea della pianta DURANTE L’ARCO DELLA VITA BIOLOGICA DELLE PIANTE

1. INTRODUZIONE

I drammatici cambiamenti climatici che stanno investendo il nostro pianeta sono conseguenza del progressivo riscaldamento globale causato dalle attività antropiche, in particolare dall'aumento delle emissioni di gas serra come l'anidride carbonica (CO₂) e dalla presenza nell'aria di polveri e di inquinanti gassosi. I processi di industrializzazione, di urbanizzazione e del rapido aumento della popolazione del pianeta hanno causato negli ultimi due secoli un aumento dell'inquinamento. Le emissioni di inquinanti derivati dal traffico veicolare, dalle industrie e dal riscaldamento domestico hanno portato all'accumulo in atmosfera di inquinanti gassosi, come ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO) e idrocarburi, tra cui il benzene e gli Idrocarburi Policiclici aromatici (IPA), e particolato. Tutti questi inquinanti alterano la normale composizione chimica dell'atmosfera e sono estremamente pericolosi per la salute umana. Per esempio, il particolato atmosferico (PM) è assai eterogeneo come composizione, proviene sia da fonti naturali (spore, erosioni di rocce o eruzioni vulcaniche e aerosol marino) che antropiche (prodotti della combustione, emissioni da autoveicoli, ecc.), e viene suddiviso in base al diametro delle particelle. Il PM₁₀ è formato da particelle con un diametro uguale o inferiore a 10 µm mentre il PM_{2.5} da particelle con un diametro uguale o inferiore a 2.5 µm. Le PM_{2.5} penetrano nei polmoni, le polveri ultra fini (PM_{0.1}) addirittura negli alveoli polmonari, da dove possono passare nel flusso sanguigno e da lì raggiungere tutti gli organi. Il PM può causare patologie respiratorie come asma, malattie allergiche e bronco pneumopatia, e malattie cardiovascolari. Inoltre, il particolato emesso da combustione contiene la quantità più elevata di composti organici cancerogeni e mutageni. Un altro inquinante pericoloso per la salute è l'ozono troposferico (O₃), che provoca danni all'apparato respiratorio e circolatorio. L'ozono è un inquinante secondario, formato in seguito a reazioni fotochimiche che avvengono in atmosfera a carico di precursori (NO_x e composti organici volatili). Una ricerca recente ha dimostrato che le morti dovute all'inquinamento, principalmente da PM e ozono, raggiungono le 500.000 all'anno in Europa, numeri maggiori rispetto alle stime precedenti (Lelieveld et al., 2019), e l'Italia veste la maglia nera con 90.000 decessi all'anno. I problemi di inquinamento dell'aria nelle grandi città vengono generalmente fronteggiati attraverso la riduzione o il blocco del traffico veicolare per cercare di ridurre le emissioni di gas nocivi e polveri, e per mantenerle sotto ai limiti stabiliti dalla legge (D.Lgs.155/2010). Molto spesso viene data scarsa attenzione alla vegetazione che invece, pur non potendo risolvere tutti i problemi, ha una grande rilevanza nella mitigazione climatica e nel miglioramento della qualità dell'aria, in quanto funge da filtro nella riduzione dell'inquinamento urbano ed extraurbano. Le piante, infatti, attraverso il processo fotosintetico, sequestrano la CO₂ dall'atmosfera e producono ossigeno. Inoltre, sono in grado di rimuovere dall'atmosfera alcune sostanze nocive attraverso l'assorbimento tramite gli stomi e la deposizione di inquinanti sulla superficie fogliare (Beckett et al., 2000; Nowak et al., 2000, 2006). Un altro aspetto molto importante riguarda la capacità delle piante di sintetizzare e rilasciare nell'aria composti organici volatili (VOC). I VOC svolgono importanti ruoli ecofisiologici (e.g. attrazione per gli insetti impollinatori, protezione contro stress biotici, come attacchi di funghi o insetti, o contro stress abiotici causati

da condizioni ambientali sfavorevoli come siccità e stress salino (Kesselmeier e Staudt, 1999) ma possono influenzare la chimica dell'atmosfera (Chameides et al., 1988). Infatti, in prossimità di sorgenti di NO_x i VOC giocano un ruolo nel bilancio di formazione/distruzione dell'O₃ (Calfapietra et al., 2013). I VOC comprendono diverse famiglie chimiche tra le quali le più abbondanti e reattive sono i terpeni (isoprene e monoterpeni). È dunque importante progettare gli spazi verdi selezionando le specie vegetali più idonee, cioè con un elevato potenziale di sequestro della CO₂ e di rimozione degli inquinanti, e con una bassa emissione di VOC, e quindi un basso potenziale di formazione di O₃, sempre nel rispetto della biodiversità e considerando la possibile allergenicità di alcune specie, specialmente in aree fortemente inquinate.

Il presente studio si propone di stimare il sequestro e l'immagazzinamento di CO₂ dall'atmosfera da parte delle specie vegetali presenti nella copertura verde dello stabilimento Barilla di Parma e di stimare la capacità delle stesse di rimuovere alcuni importanti inquinanti atmosferici (O₃, PM_{2.5}, NO₂, SO₂) attraverso l'utilizzo di una suite di strumenti web e desktop che utilizza un modello ambientale (i-Tree Eco). Inoltre in questo studio viene stimato il bilancio dell'ozono sottratto o formato dalla vegetazione calcolando il potenziale di formazione dell'ozono troposferico (Benjamin e Winer, 1998). Per completezza di informazioni, vengono anche segnalate le specie con possibili effetti allergenici.

1.1 Area di studio e piante esaminate

L'area di studio si trova negli spazi dello stabilimento Barilla situato a Parma in Via Mantova 166 (latitudine 44.79725, longitudine 10.32951), e costeggia l'autostrada A1.

Per questo studio sono state analizzate sia piante arboree che arbustive. Si è tenuto conto anche del contributo alla mitigazione ambientale dovuto alle superfici a prato. Le piante che compongono la copertura vegetale oggetto di studio sono 7.286 alberi (tra i quali 4.867 allevati a siepe) e 10.861 siepi/arbusti, appartenenti a specie vegetali differenti e quindi con specifiche caratteristiche morfologiche e fisiologiche (età, dimensioni, diametro del fusto, efficienza fotosintetica, emissione di VOC). Inoltre sono presenti 290.895,50 m² di aree a prato. Data la quantità e la distribuzione delle piante è stata effettuata una suddivisione in tre gruppi principali:

1. Alberi:

- 4886 carpini (*Carpinus betulus*), di cui 4793 allevati a siepe;
- 689 querce (684 *Quercus robur*, 3 *Quercus cerris* e 2 *Quercus rubra*);
- 587 frassini (516 *Fraxinus excelsior* e 71 *Fraxinus excelsior* "Westhof's glorie");
- 578 pioppi (419 *Populus nigra* "italica", 158 *Populus alba* e 1 di *Populus hybrida*);
- 133 aceri (99 *Acer campestre*, 1 *Acer platanoides* "Crimson sentry", 6 *Acer rubrum* e 27 *Acer saccharinum*);
- 59 peri (*Pyrus calleryana* "Chanticleer");

- 58 platani (*Platanus hybrida*);
- 74 cipressi (*Cupressocyparis leylandii*), **tutti allevati a siepe**;
- 222 alberi appartenenti ad altre specie (per dettagli vedi Tab. 1).

2. Siepi/Arbusti:

- 4258 Olivagno (*Elaeagnus ebbingei*);
- 2044 Lonicera (*Lonicera reticulata*);
- 1905 Agazzino (*Pyracantha coccinea*);
- 1204 Alloro (*Laurus nobilis*);
- 1084 Pruno (*Prunus laurocerasus*);
- 252 Crespino (*Berberis julianiae*);
- 80 Iperico (*Hypericum hidcote*);
- 34 Arbusti totali appartenenti ad altre specie (per dettagli vedi Tab. 2).

3. Prati:

- 234.691,50 m² di prati stabili;
- 56.024,00 m² di prati irrigui, prati polifiti di graminacee.

Mentre nel primo e nel secondo gruppo è stato possibile conteggiare le piante analizzate, per quanto riguarda i prati è stata ovviamente eseguita una stima della biomassa totale.

Categoria **1. Alberi**: la specie più rappresentata come numero di piante è il ***Carpinus betulus* (67.06 %)**, di cui molte piante di medie dimensioni sono allevate a siepe, seguita dal ***Quercus robur* (9.39 %)**, dal ***Fraxinus excelsior* (8.06 %)**, dal ***Populus nigra* "italica" (5.75 %)**, dal ***Populus alba* (2.18 %)**, dall'***Acer campestre* (1.36 %)**, dalla ***Gleditsia triacanthos* 'Sunburst' (1.11 %)** e dal ***Cupressocyparis leylandii* (1.02%)**. Tutte le altre specie compongono il circa 4% (Tab. 1 e Fig. 1).

Categoria **2. Siepi/Arbusti**: il **39.2 %** è costituito da ***Elaeagnus ebbingei***, il **18.8 %** da ***Lonicera reticulata***, il **17.5 %** da ***Pyracantha coccinea***, l'**11.1 %** da ***Laurus nobilis***, il **10 %** da ***Prunus laurocerasus***, il **2.3 %** da ***Berberis julianiae***, e il restante 1% da altre specie (Tab. 2 e Fig. 2).

Tabella 1. Specie arboree censite nello Stabilimento Barilla. c = conifere; d = latifoglie decidue. Le specie allevate a siepe e gli arbusti sono contrassegnati da un asterisco, mentre l'allergenicità è indicata con a: media; aa: alta.

	Specie	Famiglia	n. piante	%
c	<i>Abies nordmanniana</i>	<i>Pinaceae</i>	1	0.01
d	<i>Acer campestre</i>	<i>Sapindaceae</i>	99	1.36
d	<i>Acer platanoides</i> "Crimson sentry"	<i>Sapindaceae</i>	1	0.01
d	<i>Acer rubrum</i>	<i>Sapindaceae</i>	6	0.08
d	<i>Acer saccharinum</i>	<i>Sapindaceae</i>	27	0.37
d	<i>Aesculus hippocastanum</i>	<i>Sapindaceae</i>	3	0.04
d	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Betulaceae</i>	28	0.38
d	<i>Carpinus betulus</i>*^a	<i>Betulaceae</i>	4886	67.06
d	<i>Catalpa bignonioides</i>	<i>Bignoniaceae</i>	49	0.67
d	<i>Celtis australis</i>	<i>Ulmaceae</i>	12	0.16
c	<i>Cupressocyparis leylandii</i>*^{aa}	<i>Cupressaceae</i>	74	1.02
d	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Oleaceae</i>	587	8.06
d	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	<i>Fagaceae</i>	81	1.11
d	<i>Nyssa sylvatica</i>	<i>Nyssaceae</i>	5	0.07
d	<i>Platanus hybrida</i>	<i>Salicaceae</i>	58	0.80
d	<i>Populus alba</i>	<i>Salicaceae</i>	159	2.18
d	<i>Populus nigra</i> 'Italica'	<i>Salicaceae</i>	419	5.75
d	<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	<i>Juglandaceae</i>	4	0.05
d	<i>Pyrus calleryana</i> 'Chanticleer'	<i>Rosaceae</i>	59	0.81
d	<i>Quercus cerris</i>	<i>Fagaceae</i>	3	0.04
d	<i>Quercus robur</i>	<i>Fagaceae</i>	684	9.39
d	<i>Quercus rubra</i>	<i>Fagaceae</i>	2	0.03
d	<i>Robinia pseudoacacia</i> Frisia	<i>Fabaceae</i>	6	0.08
d	<i>Salix babylonica</i>	<i>Salicaceae</i>	12	0.16
c	<i>Taxodium distichum</i>	<i>Cupressaceae</i>	3	0.04
d	<i>Tilia cordata</i>	<i>Malvaceae</i>	8	0.11
d	<i>Ulmus pumila</i>	<i>Ulmaceae</i>	10	0.14
	Totale		7286	100

Tabella 2. Specie arbustive/siepi censite nello Stabilimento Barilla (c = conifere; d = latifoglie decidue; sv = latifoglie sempreverdi).

	Siepi/Arbusti		n. piante	%
sv	<i>Laurus nobilis</i>	<i>Lauraceae</i>	1204	11.1
d	<i>Forsythia viridissima e phyladelphus</i>	<i>Oleaceae</i>	15	0.1
d	<i>Elaeagnus ebbingei</i>	<i>Elaeagnaceae</i>	4258	39.2
d	<i>Berberis julianiae e B. thumbergii atr</i>	<i>Berberidaceae</i>	252	2.3
sv	<i>Prunus laurocerasus "rotundifolia"</i>	<i>Rosaceae</i>	1084	10.0
d	<i>Lonicera nitida</i>	<i>Caprifoliaceae</i>	2044	18.8
d	<i>Stranvaesia davidiana</i>	<i>Rosaceae</i>	6	0.1
d	<i>Photinia "red robin"</i>	<i>Rosaceae</i>	5	0.0
d	<i>Amelanchier canadensis</i>	<i>Rosaceae</i>	1	0.0
d	<i>Hypericum hidcote</i>	<i>Clusiaceae</i>	80	0.7
c	<i>Taxus baccata</i>	<i>Taxaceae</i>	7	0.1
d	<i>Pyracantha coccinea</i>	<i>Rosaceae</i>	1905	17.5
	Totale		10861	100

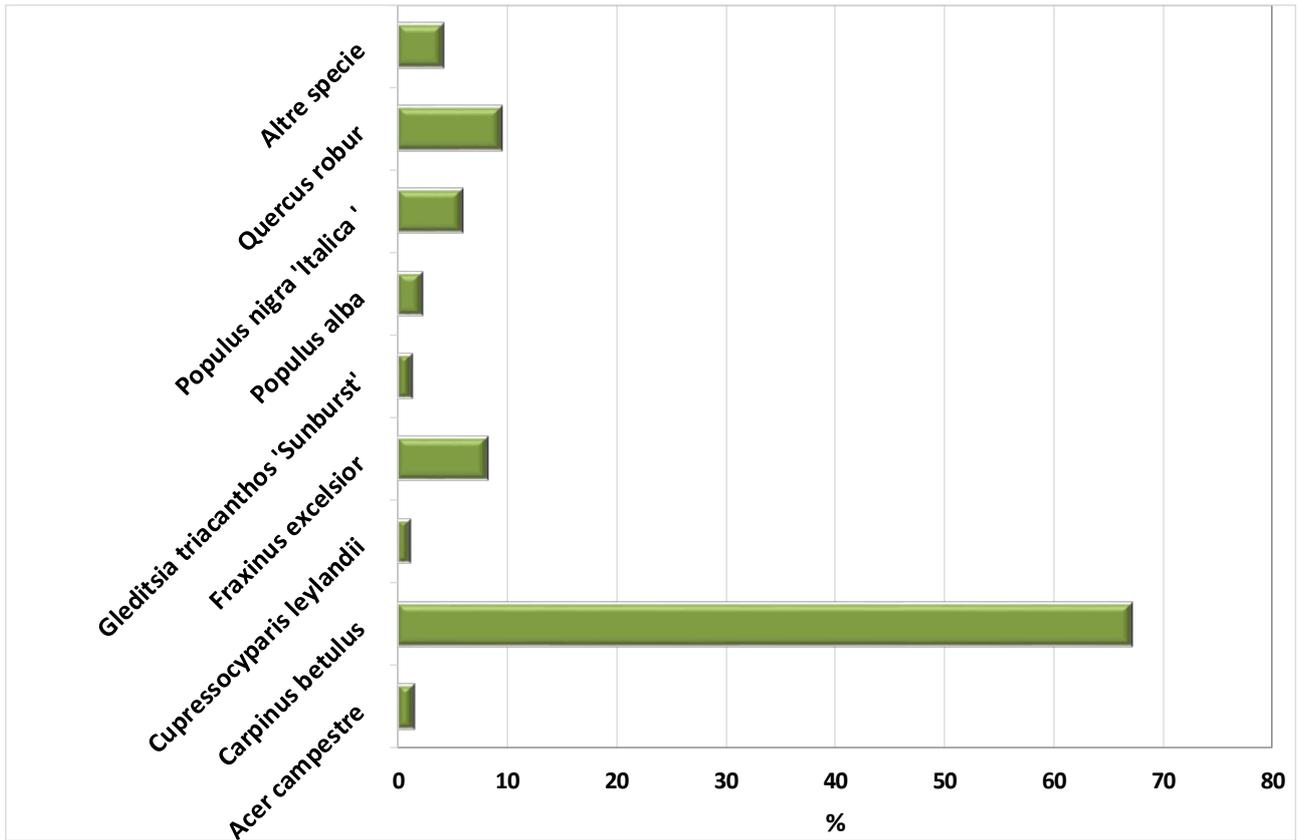


Figura 1. Percentuale di distribuzione delle specie (Categoria 1. Alberi).

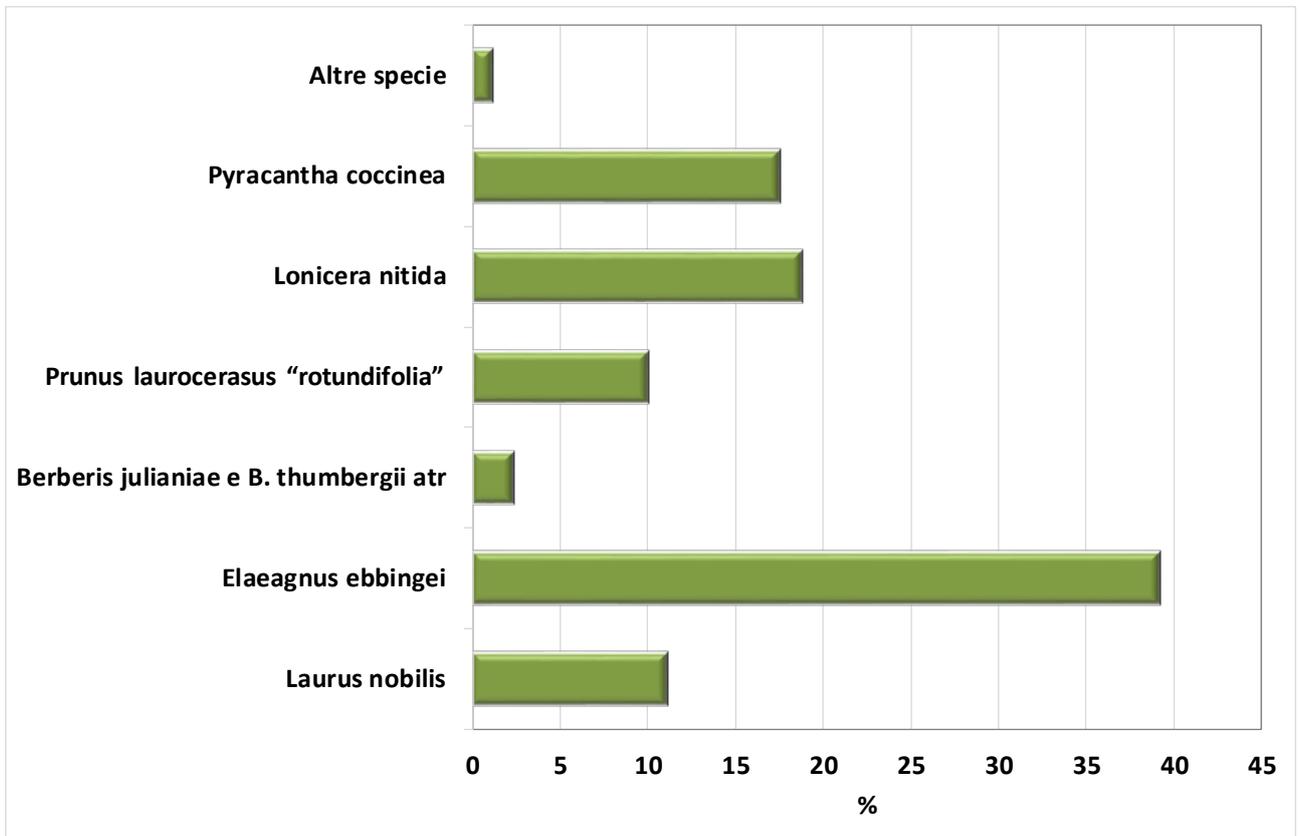


Figura 2. Percentuale di distribuzione delle specie (Categoria 2. Siepi/arbusti)

2. METODOLOGIA

L'analisi relativa alla stima del sequestro e immagazzinamento di CO₂ e la rimozione di inquinanti (O₃, SO₂, NO₂ e PM_{2.5}) da parte di alberi ed arbusti è stata effettuata col modello i-Tree Eco che ha quantificato i benefici prodotti dal verde dal punto di vista ambientale. i-Tree Eco è un'applicazione software flessibile statunitense per quantificare la struttura forestale, gli effetti ambientali e i valori ecosistemici della vegetazione, combinando i dati raccolti sul campo da singoli alberi o da inventari completi di un'area di studio, con l'inquinamento atmosferico locale orario e i dati meteorologici. Il calcolo relativo alla vegetazione presente nello stabilimento, è stato quindi eseguito combinando i dati strutturali della vegetazione (altezza totale del fusto, diametro del tronco a circa 1.3 metri di altezza, copertura della chioma, area fogliare, biomassa fogliare) con quelli relativi alle condizioni meteorologiche della zona di studio (Hirabayashi et al., 2015), inserendo nel modello le concentrazioni orarie di inquinanti e i dati meteorologici forniti dalle centraline dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) disponibili sulla piattaforma e relativi all'anno 2015. I dati di questi parametri rilevati per l'anno 2017/2018 sono stati sottoposti ad i-Tree per l'implementazione del software e saranno disponibili non appena sarà rilasciato l'accesso alla nuova versione del software. Il modello i-Tree Eco è stato anche utilizzato per la stima della produzione di VOC, isoprene e monoterpeni, aggiornandolo sulla base di nostre misure dirette di laboratorio e di campo. Il potenziale di formazione dell'ozono è stato calcolato per le piante arboree ed arbustive mediante l'uso di equazioni (Benjamin e Winer, 1998). La stima del sequestro di CO₂ dai prati stabili ed irrigui è stata effettuata utilizzando valori ricavati da diversi metodi di calcolo riportati in letteratura.

3. RISULTATI

3.1. CO₂ sequestrata e immagazzinata come biomassa dalle piante

In seguito ai dati inseriti sulla base dei valori di diametro del tronco e altezza della pianta pervenuti dai responsabili di Barilla, il software ha elaborato parametri biometrici da cui si sono ottenute le stime delle caratteristiche eco-fisiologiche delle singole piante (Tab. 3) e poi con l'upscaling, dell'intera vegetazione dell'area oggetto di studio. La biomassa fogliare, ovvero la superficie delle piante attiva nei processi di fotosintesi e di mitigazione degli inquinanti gassosi e particolato, degli alberi ed arbusti della copertura vegetale è di circa **69 tonnellate**. Come si vede dalla Tabella 3, le piante che contribuiscono in maniera rilevante alla biomassa fogliare del parco appartengono alle specie *Abies nordmanniana*, *Aesculus hippocastanum*, *Fraxinus excelsior*, *Platanus hybrida*, *Populus alba e nigra*, *Quercus spp* e *Taxodium distichum*, In particolare le conifere come per esempio il *Taxodium distichum* sono caratterizzate da foglie aghiformi, con una superficie fogliare molto elevata proprio grazie alla particolare conformazione delle foglie stesse; **queste specie sono quindi molto adatte alla rimozione di inquinanti** (Baraldi et al., 2019b). La specie *Carpinus betulus*, costituita da piante di dimensioni e biomassa limitata poiché allevate come siepe barriera,

contribuisce comunque in maniera importante alla biomassa totale a causa del grande numero di piante presenti.

La capacità di mitigazione ambientale dipende principalmente dalla biomassa fogliare, e quindi dalle dimensioni della pianta come dimostrato nelle Fig. 3 dove, a titolo esemplificativo, si riportano gli andamenti crescenti di immagazzinamento di CO₂ e rimozione di ozono stimati per piante di *Quercus robur*. Il plateau indica l'arresto dell'aumento della capacità di fitorimedio coincidente con la maturità della pianta.

Le piante che contribuiscono di più all'immagazzinamento di CO₂ nella loro biomassa appartengono alle specie *Platanus hybrida* (fino a 25.10 tonnellate per pianta), *Aesculus hippocastanum* (fino a 13.65 tonnellate per pianta), *Quercus cerris* (fino a 7.36 tonnellate per pianta), *Quercus robur* (fino a circa 6.91 tonnellate per pianta) e *Gleditsia triacanthos* "Sunburst" (Tabella 4). Tutte queste specie sono risultate più efficienti anche nel sequestro annuale di CO₂ (circa 0.2 tonnellate all'anno), mentre *Aesculus hippocastanum* è risultato il più alto produttore di ossigeno (fino a circa 200 kg all'anno), seguito da *Platanus hybrida*, *Quercus cerris* e *Quercus robur* (fino a circa 200 kg all'anno).

Fra le siepi (Tab. 4 e 5), le piante di *Carpinus betulus* sono le più efficaci nel sequestrare e immagazzinare CO₂ (rispettivamente circa 20 kg all'anno e 1.30 t per pianta), e nell'emettere O₂ (circa 13.6 kg all'anno).

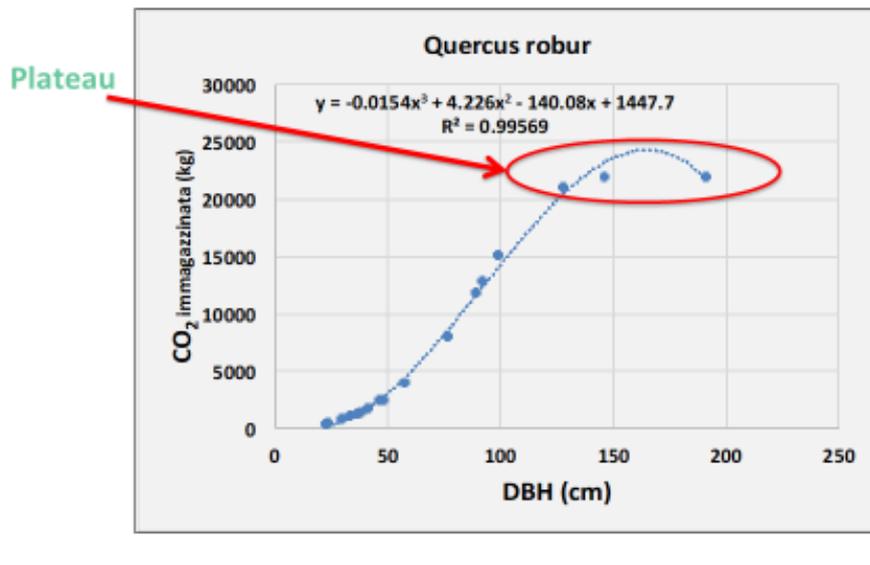
1. Alberi. Tutti gli alberi dell'area verde hanno una capacità di sequestro annuale della CO₂ atmosferica attraverso la fotosintesi pari a circa 170 t all'anno ed hanno immagazzinato fino ad oggi, sotto forma di biomassa vegetale, circa 2.035 t di CO₂ (Tab. 6). A questi valori hanno concorso le diverse specie in funzione delle proprie caratteristiche fisiologiche e del numero di piante presenti. Il 55.16 % del sequestro annuale e il 33.8 % dell'immagazzinamento totale di CO₂ (Tab. 6. e Fig. 4) è determinato dal *Carpinus betulus*, ed è dovuto all'elevato numero di esemplari presenti per questa specie allevati principalmente a siepe; tre specie, *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra* 'Italica' e *Quercus robur*, anche esse presenti con un elevato numero di piante, contribuiscono per circa l'8% al sequestro annuale di CO₂ e il 6-10% all'immagazzinamento totale di CO₂ (Tab. 6. e Fig. 4 e 5). Tutte le altre specie, anche se presenti in quantità minore rispetto alle quattro sopracitate, contribuiscono a sequestrare dall'atmosfera circa 36 t di CO₂ all'anno e ad immagazzinare come biomassa circa 800 t nel corso della loro vita. La produzione di ossigeno totale è di circa 123 t/anno e il contributo delle specie segue lo stesso ordine di quello riscontrato per la CO₂ (Tab. 6 e Fig. 6).

2. Siepi/Arbusti. Le piante di questa categoria sequestrano circa 127 t all'anno di CO₂ e hanno immagazzinato fino ad oggi circa 665 t di CO₂. L'ossigeno prodotto è di circa 90 tonnellate all'anno. Il 39% e il 37% del sequestro e dell'immagazzinamento di CO₂ è rappresentato da *Eleagnus ebbingei*, seguita poi da *Pyracantha coccinea*, con il 24% e il 30% rispettivamente (Tab. 7; Fig. 7 e 8). La produzione di ossigeno di queste due specie è del 36% e 24% circa (Tab. 7 e Fig. 9).

3. Prati. La quantità di CO₂ sequestrata dai prati dipende molto dal tipo di gestione dei prati stessi, se irrigui, se concimati e se gli sfalci vengono lasciati sul terreno o eliminati. Si è quindi considerato che i prati fossero

ben mantenuti e che gli sfalci venissero eliminati. Utilizzando un valore medio di sequestro di CO₂ pari a 3.19 t/ha/anno (Qian and Follet, 2002; Qian et al., 2010; Qian and Follet, 2012; Qian et al., 2010), e considerando l'estensione totale dei prati nell'area dello stabilimento (290.895,5 m²), il **sequestro annuale totale di CO₂ risulta di 92,8 tonnellate.**

Correlazione tra diametro del tronco e CO₂ immagazzinata (alberi).



Correlazione tra diametro del tronco e O₃ rimosso (alberi).

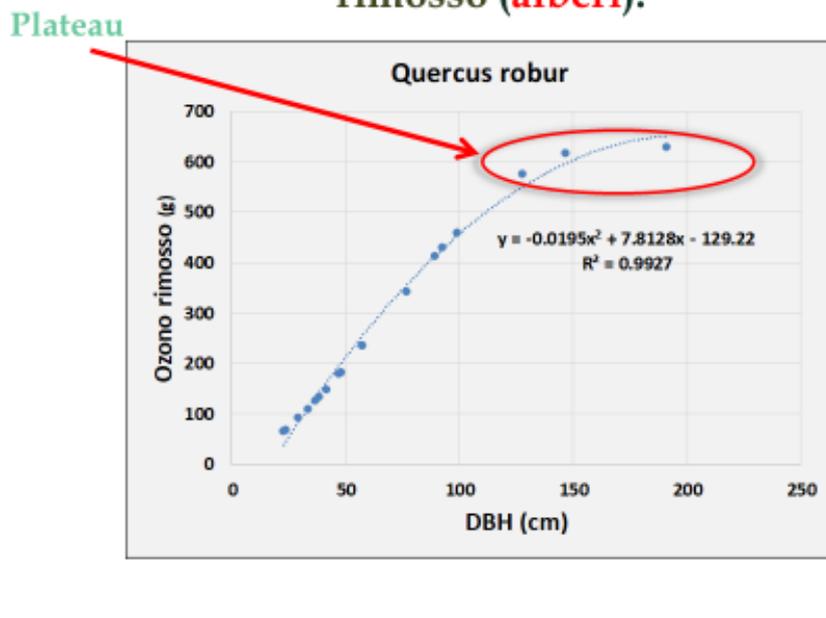


Figura 3. Andamenti di immagazzinamento di CO₂ e rimozione di ozono in *Quercus robur*

3.2. Rimozione di inquinanti atmosferici

In tabella 8 e 9 sono riportati i valori delle PM e degli inquinanti gassosi rimossi dalle singole piante per specie. Tutte le specie sono efficienti nella rimozione di ozono troposferico, in maniera proporzionale alle proprie caratteristiche biometriche, morfologiche, fisiologiche e di impianto.

1.Alberi. Per esempio, mentre il *Platanus hybrida* può rimuovere fino a circa 1 Kg all'anno di O₃, piante come l'*Acer saccharinum*, l'*Aesculus hippocastanum*, il *Populus nigra "italica"*, il *Quercus cerris*, il *Quercus robur*, il *Taxodium distichum* e il *Celtis australis* rimuovono fino a circa 500 g all'anno di O₃.

Le stime della rimozione di inquinanti atmosferici dalla vegetazione hanno evidenziato che le **piante arboree nel loro complesso rimuovono 34.7 kg all'anno di PM_{2.5} e 741.1 kg all'anno di ozono, 182.5 kg all'anno di NO₂, e 15.7 kg all'anno di SO₂** (Tab. 10). Le piante di *Carpinus betulus*, presenti in gran numero come siepi, sono quelle che contribuiscono maggiormente alla riduzione degli inquinanti, **rimuovendo circa il 60% di ciascun inquinante rispetto al totale** (Tab. 10 e Fig. 10).

2.Siepi/arbusti. Per quanto riguarda le piante allevate a siepe (Tab. 9), pur avendo una biomassa fogliare più ridotta rispetto agli alberi, anche esse contribuiscono alla rimozione di inquinanti, rimuovendo **fino a circa 50 g (*Photinia red robin* e *Pyracanta coccinea*), e 60 g (*Amelanchier canadensis*) di ozono all'anno, o fino a circa 90 g all'anno come nel caso del *Carpinus betulus*, la specie più rappresentata. Solitamente le specie più portate alla rimozione di ozono sono risultate anche le più efficaci nella rimozione degli altri inquinanti gassosi stimati (biossido di azoto e biossido di zolfo) e nell'adsorbimento di particolato atmosferico (PM_{2.5}). **Le piante rimuovono un totale di 334.6 kg all'anno di ozono, 82.4 kg all'anno di NO₂, 7.2 kg all'anno di SO₂ e 15.6 kg all'anno di PM_{2.5}. *Eleagnus ebbingei* e *Pyracanta coccinea* sono le specie con il più alto tasso di rimozione degli inquinanti, rimuovendo rispettivamente circa il 35 % e il 26 % di ciascun inquinante rispetto al totale** (Tab. 11 e Fig. 11).**

3.Prati. La stima della rimozione degli inquinanti dovuta ai prati è difficile, e sarebbe possibile attraverso misure in situ con strumentazione specifica molto sofisticata (Qian and Follet, 2002; Qian and Follet, 2012; Qian et al., 2010). Come nel caso del sequestro di CO₂, si è considerato un valore medio di 33kg/ha/anno di PM₁₀ rimosse derivante da misure fatte su comunità erbacee. **La superficie coltivata a prato risulterebbe così rimuovere circa 1t all'anno di PM₁₀**

3.3. Emissione di VOC e potenziale di formazione dell'ozono troposferico (OFP)

1. Alberi. Alcune delle specie arboree presenti in questa categoria possono essere emettitrici di VOC reattivi (Tab. 12); tra gli emettitori di **monoterpeni c'è l'*Abies nordmanniana* (593 g all'anno)**, che quindi è caratterizzata anche da un medio potenziale di formazione di ozono. Essendo presente in un singolo esemplare, il suo contributo alla formazione di ozono troposferico rimane comunque insignificante. Le specie ***Platanus hybrida*, *Populus alba e nigra*, *Quercus robur e rubra*, *Robinia pseudoacacia* e *Salix babylonica*** sono invece **elevate emettitrici di isoprene** e possono quindi contribuire alla produzione di ozono per cui la loro presenza all'interno di un'area verde andrebbe limitata. **Nessun problema invece per il *Quercus cerris* che non emette VOC e quindi risulta un'ottima pianta.** Il ***Carpinus betulus* è una bassa emettitrice di isoprene e una media emettitrice di monoterpeni**, soprattutto in esemplari di dimensioni ridotte come quelli allevati a siepe, ma contribuisce all'emissione di VOC principalmente a causa dell'elevato numero di piante presenti. **La stima dell'emissione totale dei VOC ha evidenziato che le piante arboree analizzate in questo studio possono emettere rispettivamente 197.5 kg all'anno di isoprene e 108.9 kg all'anno di monoterpeni totali** (Tab. 13). Il ***Populus nigra "italica"* e il *Quercus robur* sono i principali emettitori di isoprene**, contribuendo rispettivamente al **38.29 % e al 36.07 % dell'emissione totale**, mentre il ***Carpinus betulus* è il principale emettitore di monoterpeni**, probabilmente poiché presente nella copertura verde dello stabilimento in gran numero allevato a siepe, emettendo circa **l'87 % di monoterpeni** rispetto al totale (Tab. 13).

2. Siepi/arbusti. Per quanto riguarda invece le specie che compongono questa categoria, **l'emissione di VOC è decisamente limitata** (Tab. 12), **in quanto tutte le specie considerate non emettono**, ad eccezione di ***Laurus nobilis* e *Prunus laurocerasus rotundifolia*** che sono **basse emettitrici di isoprene e medie emettitrici di monoterpeni**, di ***Berberis julianiae thumberii* atr.** che è una **bassa emettitrice di isoprene**, e di ***Elaeagnus ebbingei*** che è un **basso emettitore di monoterpeni**.

L'emissione totale di VOC dovuta a queste specie è decisamente ridotta, ammontando rispettivamente a **4.4 kg all'anno di isoprene e 5.2 kg all'anno di monoterpeni totali** (Tab. 14). ***Berberis julianiae thumberii* atr.** è la principale emettitrice di **isoprene**, e contribuisce **all'85.14 % dell'emissione totale**, mentre ***Elaeagnus ebbingei*** è il principale **emettitore di monoterpeni** ed emette circa il **73 % di monoterpeni** rispetto al totale. Le specie ***Laurus nobilis* e *Prunus laurocerasus rotundifolia* sono basse emettitrici di VOC**, mentre le rimanenti specie non emettono composti terpenici (Tab. 14).

Dato che la quantità di ozono prodotta dipende fortemente dalla tipologia di VOC e dal rapporto tra i VOC e gli NOx, questo rapporto nella zona considerata risulta non incidere sulla formazione di ozono (Calfapietra et al., 2013) mentre, al contrario, **è grande il contributo che la copertura vegetale dello stabilimento fornisce alla rimozione annuale di ozono.**

3.4 Allergenicità delle piante

Aspetto fondamentale da considerare nella valutazione ambientale delle piante è la possibilità che alcune di esse possano determinare allergenicità. Infatti, in questi ultimi decenni si è osservato un incremento delle sensibilizzazioni ai pollini causate dai cambiamenti climatici insieme al peggioramento della qualità dell'aria. Infatti, i cambiamenti climatici possono indurre un prolungamento della stagione pollinica mentre l'inquinamento atmosferico, provocando danni all'apparato respiratorio, può rendere la popolazione più sensibile alle pollinosi. **Tra le specie presenti nell'area verde dello stabilimento, solo i cipressi sono riconosciuti ad alta allergenicità mentre i carpini a media allergenicità.**

Tra le piante erbacee, è consigliato evitare la presenza delle **graminacee** (*Cynodon dactylon*, *Lolium perenne*, *Phleum pratense*, *Holcus lanatus*, *Anthoxanthum odoratum*, *Ammofila arenaria*), le **urticacee** (*Parietaria officinalis*, *Urtica dioica*), e le **composite** (*Ambrosia artemisiifolia*, *Artemisia vulgaris*, *Taraxacum officinale*, *Chrysanthemum leucanthemum*) responsabili della maggior parte dei casi di allergia per la presenza di pollini ad alto potere allergenico.

4. CONCLUSIONI

Lo studio ha quantificato l'importanza della copertura verde presente presso lo stabilimento Barilla di Parma e del ruolo che le piante hanno nella mitigazione ambientale e nel miglioramento della qualità dell'aria.

1) Sequestro e immagazzinamento della CO₂.

La stima modellistica ha evidenziato che vegetazione complessivamente contribuisce a **sequestrare 297 t di CO₂ all'anno** attraverso i processi fotosintetici, ed è stata in grado di **immagazzinare 2.700 t di CO₂ nella biomassa**. Considerato che **la superficie a prato contribuisce a sequestrare 93 tonnellate di CO₂ all'anno**, il **sequestro totale di tutta l'area verde è stimabile in 390 tonnellate all'anno.**

Per quanto riguarda la categoria **1. Alberi**, il *Carpinus betulus* è risultata essere la specie con il più alto tasso di **sequestro annuale e di immagazzinamento di CO₂ grazie all'alto numero di esemplari allevati prevalentemente a siepe.**

Per quanto riguarda invece la categoria **2. Siepi/arbusti**, le due specie con le più alte percentuali di **sequestro e immagazzinamento di CO₂ sono risultate essere *Pyracantha coccinea* e *Elaeagnus ebbingei*.**

2) Rimozione degli inquinanti atmosferici

Per quanto riguarda la rimozione di inquinanti atmosferici, il modello applicato ha evidenziato che tutta la vegetazione presente presso lo stabilimento è in grado di rimuovere **annualmente 50 kg di PM_{2,5}, 1.076 kg di ozono troposferico, 265 kg di diossido di azoto e 23 kg di diossido di zolfo**. Inoltre, la superficie a prato **rimuove mediamente 1 tonnellata di PM₁₀ all'anno**.

I risultati per la categoria **1. Alberi** hanno mostrato che **l'alto numero di esemplari di *Carpinus betulus* presenti nel parco in siepi contribuisce per più del 60% alla riduzione di tali inquinanti**.

Per quanto riguarda invece la categoria **2. Siepi/Arbusti**, ***Elaeagnus ebbingei* e *Pyracantha coccinea* contribuiscono alla rimozione di inquinanti di circa il 35 % e di circa il 26 % rispettivamente, seguiti da *Lonicera nitida* (circa 14 %), *Laurus nobilis* (circa l'11 %) e *Prunus laurocerasus rotundifolia* (circa il 9 %)**.

3) Emissione di composti organici volatili e potenziale di formazione dell'ozono

L'emissione di composti organici volatili reattivi e il calcolo del potenziale di formazione dell'ozono sono risultati nel complesso bassi e trascurabili, vista la bassa percentuale di piante emettitrici presenti, se si considera il contributo che la copertura verde dello stabilimento fornisce ogni anno alla rimozione di tale inquinante.

In conclusione, allo stato attuale la vegetazione presente nelle aree verdi dello stabilimento, sequestrando 390 t di CO₂ in un anno, è in grado di compensare le emissioni di 243 auto di media cilindrata che percorrono mediamente 10.000 km all'anno e, avendo immagazzinato nella biomassa 2.700 t di CO₂, ha compensato le emissioni di 1.688 auto. Inoltre il parco produce 213.6 t di O₂ in un anno attraverso la sintesi della biomassa; stimando che un uomo consuma mediamente 0.84 kg di O₂ al giorno per la respirazione, si può affermare che la copertura verde può fornire ossigeno per quasi 700 persone al giorno.

Tabella 3. Parametri biometrici per le singole piante arboree analizzate stimati dal modello i-Tree Eco. Le specie allevate a siepe e gli arbusti sono contrassegnati da un asterisco.

Numero piante	Specie	Diametro tronco	Altezza pianta	Copertura vegetale	Area fogliare	Biomassa fogliare
		(cm)	(m)	(m ²)	(m ²)	(kg)
1	<i>Abies nordmanniana</i>	66.90	25.00	78.50	535.30	75.40
58	<i>Acer campestre</i>	10.50	5.00	15.90	64.40	3.60
12	<i>Acer campestre</i>	11.10	5.00	16.60	70.10	3.90
29	<i>Acer campestre</i>	15.90	5.00	24.60	102.80	5.80
1	<i>Acer platanoides</i>	31.80	6.00	60.80	299.30	16.20
6	<i>Acer rubrum</i>	38.20	6.00	75.40	279.10	18.80
1	<i>Acer saccharinum</i>	51.00	9.00	105.70	368.90	19.40
24	<i>Acer saccharinum</i>	71.70	9.00	156.10	493.90	26.00
2	<i>Acer saccharinum</i>	89.20	8.00	198.60	499.00	26.30
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	51.00	10.00	105.70	479.10	33.50
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	66.90	10.00	134.80	493.70	34.50
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	93.90	20.00	158.40	796.70	55.70
28	<i>Alnus glutinosa</i>	9.60	5.00	13.90	52.40	3.80
1	<i>Amelanchier canadensis</i> *	19.10	3.00	25.50	58.70	4.40
252	<i>Berberis julianiae</i> e <i>B. thumbergii</i> atr *	9.60	1.20	11.90	26.00	1.90
76	<i>Carpinus betulus</i>	19.10	4.00	39.60	135.90	8.20
17	<i>Carpinus betulus</i>	38.20	8.00	70.90	297.40	17.90
4793	<i>Carpinus betulus</i> *	14.30	2.70	31.20	85.20	5.10
7	<i>Catalpa bignonioides</i>	19.10	4.00	32.20	77.80	4.10
5	<i>Catalpa bignonioides</i>	30.30	6.00	49.00	137.70	7.30
37	<i>Catalpa bignonioides</i>	51.00	7.00	80.10	218.20	11.60
8	<i>Celtis australis</i>	33.40	9.00	59.40	440.90	26.00
4	<i>Celtis australis</i>	60.50	17.00	78.50	545.30	32.10

Numero piante	Specie	Diametro tronco (cm)	Altezza pianta (m)	Copertura vegetale (m ²)	Area fogliare (m ²)	Biomassa fogliare (kg)
74	<i>Cupressocyparis leylandii</i> *	22.30	4.00	8.60	47.70	7.50
4258	<i>Elaeagnus ebbingei</i> *	10.20	1.50	9.10	26.60	2.00
15	<i>Forsythia viridissima phyladelphus</i> *	12.70	2.00	15.90	40.80	3.10
26	<i>Fraxinus excelsior</i>	8.60	5.00	10.20	39.70	4.20
84	<i>Fraxinus excelsior</i>	9.60	6.00	11.90	47.10	5.00
254	<i>Fraxinus excelsior</i>	12.70	6.00	16.60	71.60	7.60
32	<i>Fraxinus excelsior</i>	13.40	9.00	18.10	79.40	8.40
23	<i>Fraxinus excelsior</i>	11.10	6.00	14.50	57.50	6.10
84	<i>Fraxinus excelsior</i>	19.10	9.00	28.30	142.70	15.20
1	<i>Fraxinus excelsior</i>	28.70	8.00	49.00	246.60	26.20
12	<i>Fraxinus excelsior</i>	44.60	8.00	84.90	360.20	38.30
59	<i>Fraxinus excelsior</i> "Westhof's glorie"	43.00	8.00	81.70	352.30	37.50
12	<i>Fraxinus excelsior</i> "Westhof's glorie"	57.30	10.00	107.50	414.10	44.10
50	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	9.60	5.00	19.60	31.80	3.30
27	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	52.50	7.00	91.60	160.60	16.80
4	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	71.70	7.00	111.20	181.10	19.00
80	<i>Hypericum hidcote</i> *	6.40	0.80	6.20	15.60	1.20
1204	<i>Laurus nobilis</i> *	10.20	1.70	12.60	30.90	2.30
2044	<i>Lonicera nitida</i> *	6.40	0.80	8.60	21.60	1.10
5	<i>Nyssa sylvatica</i>	22.30	6.00	37.40	151.30	5.20
5	<i>Photinia</i> "Red robin" *	14.30	2.30	18.10	49.70	5.10
12	<i>Platanus hybrida</i>	33.40	18.00	81.70	384.90	16.80
20	<i>Platanus hybrida</i>	43.00	22.00	115.00	443.20	19.40
13	<i>Platanus hybrida</i>	47.80	19.00	132.70	444.50	19.40
1	<i>Platanus hybrida</i>	73.20	25.00	211.20	963.80	42.10
11	<i>Platanus hybrida</i>	76.40	20.00	216.40	1 009.1	44.10
1	<i>Platanus hybrida</i>	133.80	20.00	243.30	1 158.6	50.60

Numero piante	Specie	Diametro tronco	Altezza pianta	Copertura vegetale	Area fogliare	Biomassa fogliare
		(cm)	(m)	(m ²)	(m ²)	(kg)
6	<i>Populus alba</i>	15.90	6.00	10.80	39.60	3.40
86	<i>Populus alba</i>	19.10	9.00	14.50	61.20	5.30
58	<i>Populus alba</i>	25.50	9.00	23.80	115.10	10.00
7	<i>Populus alba</i>	52.50	15.00	88.20	323.80	28.20
1	<i>Populus alba</i>	58.90	20.00	109.40	395.80	34.40
1	<i>Populus hybrida</i>	47.80	17.00	73.90	274.80	23.90
64	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	6.10	7.00	2.80	9.20	0.70
64	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	8.60	7.00	4.50	14.70	1.10
15	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	17.50	13.00	12.60	51.30	3.70
27	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	25.50	13.00	23.80	116.50	8.40
135	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	28.70	19.00	29.20	152.30	11.00
83	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	30.30	20.00	32.20	170.90	12.30
3	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	65.30	18.00	130.70	480.40	34.70
28	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	38.20	15.00	49.00	182.30	13.20
880	<i>Prunus laurocerasus "rotundifolia" *</i>	9.60	1.20	11.90	26.00	2.00
204	<i>Prunus laurocerasus "rotundifolia" *</i>	12.70	1.70	16.60	38.50	3.00
4	<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	51.00	9.00	105.70	375.30	30.00
600	<i>Pyracantha coccinea *</i>	12.70	1.50	15.90	35.20	2.60
1305	<i>Pyracantha coccinea *</i>	12.70	3.00	15.90	47.70	3.60
3	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	8.00	5.00	5.70	16.70	1.20
11	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	12.70	7.00	10.20	30.10	2.30
20	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	17.50	7.00	15.90	49.60	3.70
25	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	28.70	9.00	33.20	117.90	8.80
1	<i>Quercus cerris</i>	54.10	25.00	115.00	388.90	38.40
1	<i>Quercus cerris</i>	66.90	25.00	153.90	513.00	50.60
1	<i>Quercus cerris</i>	14.30	8.00	18.90	64.60	6.40
2	<i>Quercus robur</i>	6.40	4.00	7.50	24.60	1.60

Numero piante	Specie	Diametro tronco	Altezza pianta	Copertura vegetale	Area fogliare	Biomassa fogliare
		(cm)	(m)	(m ²)	(m ²)	(kg)
136	<i>Quercus robur</i>	8.00	7.00	9.60	31.20	2.10
86	<i>Quercus robur</i>	9.60	6.00	11.30	40.30	2.70
54	<i>Quercus robur</i>	11.10	6.00	13.90	48.50	3.20
91	<i>Quercus robur</i>	12.70	6.00	15.90	58.60	3.90
132	<i>Quercus robur</i>	15.90	9.00	21.20	86.20	5.70
97	<i>Quercus robur</i>	17.50	7.00	23.80	97.60	6.50
69	<i>Quercus robur</i>	15.90	7.00	21.20	86.20	5.70
1	<i>Quercus robur</i>	22.30	8.00	33.20	146.10	9.70
2	<i>Quercus robur</i>	38.20	12.00	70.90	271.30	18.10
12	<i>Quercus robur</i>	41.40	15.00	78.50	300.60	20.00
1	<i>Quercus robur</i>	54.10	11.00	115.00	349.70	23.30
1	<i>Quercus robur</i>	66.90	13.00	153.90	550.70	36.70
1	<i>Quercus rubra</i>	31.80	10.00	52.80	247.80	19.70
1	<i>Quercus rubra</i>	49.40	10.00	98.50	333.90	26.60
6	<i>Robinia pseudoacacia Frisia</i>	57.30	7.00	75.40	296.40	16.00
12	<i>Salix babylonica</i>	28.70	8.00	35.30	166.70	10.60
6	<i>Stranvaesia davidiana *</i>	11.10	1.30	13.20	28.90	2.90
3	<i>Taxodium distichum</i>	52.50	15.00	58.10	529.90	83.00
7	<i>Taxus baccata *</i>	5.70	2.20	2.30	12.90	2.00
8	<i>Tilia cordata</i>	63.70	6.00	95.00	422.20	31.60
10	<i>Ulmus pumila</i>	8.60	7.00	5.30	21.00	1.40

Tabella 4. CO₂ sequestrata dall' atmosfera e immagazzinata nella biomassa e ossigeno prodotto dalle singole piante delle diverse specie (1. Alberi). Le specie allevate a siepe sono contrassegnate da un asterisco.

Numero di piante	Nome della specie	Diametro (cm)	Altezza (m)	CO ₂ immagazzinata (t pianta ⁻¹)	CO ₂ sequestrata (t anno ⁻¹)	O ₂ prodotto (kg anno ⁻¹)
1	<i>Abies nordmanniana</i>	67	25	2.91	0.07	49.10
58	<i>Acer campestre</i>	11	5	0.08	0.01	10.20
12	<i>Acer campestre</i>	11	5	0.09	0.02	10.90
29	<i>Acer campestre</i>	16	5	0.20	0.02	16.70
1	<i>Acer crimson centry</i>	32	6	0.94	0.06	39.70
6	<i>Acer rubrum</i>	38	6	1.63	0.08	58.80
1	<i>Acer saccharinum</i>	51	9	1.65	0.06	40.90
24	<i>Acer saccharinum</i>	72	9	2.93	0.08	56.40
2	<i>Acer saccharinum</i>	89	8	3.84	0.09	66.10
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	51	10	3.02	0.12	83.90
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	67	10	5.81	0.17	123.20
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	94	20	13.65	0.28	204.90
28	<i>Alnus glutinosa</i>	10	5	0.05	0.01	8.10
76	<i>Carpinus betulus</i>	19	4	0.27	0.03	20.50
17	<i>Carpinus betulus</i>	38	8	1.49	0.08	55.40
4793	<i>Carpinus betulus</i> *	14	3	0.13	0.02	13.60
7	<i>Catalpa bignonioides</i>	19	4	0.27	0.03	20.50
5	<i>Catalpa bignonioides</i>	30	6	0.84	0.05	39.60
37	<i>Catalpa bignonioides</i>	51	7	2.97	0.12	82.90
8	<i>Celtis australis</i>	33	9	1.09	0.06	46.10
4	<i>Celtis australis</i>	61	17	4.71	0.15	109.40
74	<i>Cupressocyparis leylandii</i> *	22	4	0.21	0.02	11.40
26	<i>Fraxinus excelsior</i>	9	5	0.04	0.01	6.40

Numero di piante	Nome della specie	Diametro (cm)	Altezza (m)	CO ₂ immagazzinata (t pianta ⁻¹)	CO ₂ sequestrata (t anno ⁻¹)	O ₂ prodotto (kg anno ⁻¹)
84	<i>Fraxinus excelsior</i>	10	6	0.05	0.01	7.50
254	<i>Fraxinus excelsior</i>	13	6	0.10	0.01	10.40
32	<i>Fraxinus excelsior</i>	13	9	0.12	0.02	11.80
23	<i>Fraxinus excelsior</i>	11	6	0.07	0.01	8.80
84	<i>Fraxinus excelsior</i>	19	9	0.26	0.02	18.00
1	<i>Fraxinus excelsior</i>	29	8	0.63	0.04	29.10
12	<i>Fraxinus excelsior</i>	45	8	1.67	0.07	50.60
59	<i>Fraxinus excelsior westhof's glory</i>	43	8	1.54	0.07	48.30
12	<i>Fraxinus excelsior westhof's glory</i>	57	10	3.02	0.10	71.00
50	<i>Gleditsia triacanthos 'Sunburst'</i>	10	5	0.05	0.01	8.10
27	<i>Gleditsia triacanthos 'Sunburst'</i>	53	7	3.19	0.12	86.40
4	<i>Gleditsia triacanthos 'Sunburst'</i>	72	7	6.77	0.19	134.70
5	<i>Nyssa sylvatica</i>	22	6	0.38	0.03	24.00
12	<i>Platanus hybrida</i>	33	18	1.15	0.07	48.20
20	<i>Platanus hybrida</i>	43	22	2.14	0.10	69.30
13	<i>Platanus hybrida</i>	48	19	2.71	0.11	79.30
1	<i>Platanus hybrida</i>	73	25	7.66	0.20	146.20
11	<i>Platanus hybrida</i>	76	20	8.33	0.21	153.10
1	<i>Platanus hybrida</i>	134	20	25.10	0.14	101.90
6	<i>Populus alba</i>	16	6	0.14	0.02	13.00
86	<i>Populus alba</i>	19	9	0.22	0.02	17.00
58	<i>Populus alba</i>	26	9	0.45	0.04	25.80
7	<i>Populus alba</i>	53	15	2.70	0.10	74.10
1	<i>Populus alba</i>	59	20	3.59	0.12	87.70
1	<i>Populus hybrida</i>	48	17	2.14	0.09	64.60

Numero di piante	Nome della specie	Diametro (cm)	Altezza (m)	CO ₂ immagazzinata (t pianta ⁻¹)	CO ₂ sequestrata (t anno ⁻¹)	O ₂ prodotto (kg anno ⁻¹)
64	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	6	7	0.01	0.00	3.40
64	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	9	7	0.03	0.01	5.40
15	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	18	13	0.18	0.02	15.00
27	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	26	13	0.45	0.04	25.80
135	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	29	19	0.60	0.04	30.70
83	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	30	20	0.69	0.05	33.20
3	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	65	18	4.63	0.14	102.10
28	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	38	15	1.23	0.06	46.50
3	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	8	5	0.03	0.01	6.40
11	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	13	7	0.11	0.02	12.10
20	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	18	7	0.23	0.03	18.60
25	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	29	9	0.76	0.05	37.30
4	<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	51	9	3.00	0.12	83.60
1	<i>Quercus cerris</i>	54	25	4.39	0.16	116.20
1	Quercus cerris	67	25	7.36	0.22	157.90
1	<i>Quercus cerris</i>	14	8	0.15	0.02	15.40
2	<i>Quercus robur</i>	6	4	0.02	0.01	4.70
136	<i>Quercus robur</i>	8	7	0.04	0.01	6.70
86	<i>Quercus robur</i>	10	6	0.05	0.01	8.60
54	<i>Quercus robur</i>	11	6	0.08	0.01	10.50
91	<i>Quercus robur</i>	13	6	0.11	0.02	12.70
132	<i>Quercus robur</i>	16	9	0.20	0.03	18.10
97	<i>Quercus robur</i>	18	7	0.24	0.03	20.40
69	<i>Quercus robur</i>	16	7	0.19	0.02	17.80
1	<i>Quercus robur</i>	22	8	0.44	0.04	29.20

Numero di piante	Nome della specie	Diametro (cm)	Altezza (m)	CO ₂ immagazzinata (t pianta ⁻¹)	CO ₂ sequestrata (t anno ⁻¹)	O ₂ prodotto (kg anno ⁻¹)
2	<i>Quercus robur</i>	38	12	1.73	0.09	65.70
12	<i>Quercus robur</i>	41	15	2.15	0.10	75.10
1	<i>Quercus robur</i>	54	11	4.04	0.15	108.90
1	<i>Quercus robur</i>	67	13	6.91	0.21	150.40
1	<i>Quercus rubra</i>	32	10	1.08	0.07	48.30
1	<i>Quercus rubra</i>	49	10	3.15	0.13	90.10
6	<i>Robinia pseudoacacia</i> Frisia	57	7	3.94	0.14	97.80
12	<i>Salix babylonica</i>	29	8	0.75	0.05	37.10
3	<i>Taxodium distichum</i>	53	15	1.57	0.05	39.00
8	<i>Tilia cordata</i>	64	6	3.33	0.10	71.60
10	<i>Ulmus resista</i>	9	7	0.04	0.01	6.10

Tabella 5. CO₂ sequestrata dall' atmosfera e immagazzinata nella biomassa e ossigeno prodotto dalle singole piante delle diverse specie (2. Siepi/Arbusti).

Numero di piante	Specie	Diametro (cm)	Altezza (m)	CO ₂ immagazzinata (t pianta ⁻¹)	CO ₂ sequestrata (t anno ⁻¹)	O ₂ prodotto (kg anno ⁻¹)
1	<i>Amelanchier canadensis</i>	19	3	0.27	0.03	20.40
252	<i>Berberis julianiae thumbergii atr.</i>	10	1	0.05	0.01	7.70
4258	<i>Elaeagnus ebbingei</i>	10	2	0.06	0.01	8.40
15	<i>Forsythia viridissima phyladelphus</i>	13	2	0.10	0.02	11.50
80	<i>Hypericum hidcote</i>	6	1	0.02	0.01	4.40
1204	<i>Laurus nobilis</i>	10	2	0.06	0.01	8.40
2044	<i>Lonicera nitida</i>	6	1	0.02	0.01	4.40
5	<i>Photinia red robin</i>	14	2	0.14	0.02	13.50
600	<i>Pyracantha coccinea</i>	13	2	0.10	0.02	11.40
1305	<i>Pyracantha coccinea</i>	13	3	0.11	0.02	11.60
880	<i>Prunus laurocerasus rotundifolia</i>	10	1	0.07	0.01	9.60
204	<i>Prunus laurocerasus rotundifolia</i>	13	2	0.13	0.02	14.20
6	<i>Stranvaesia davidiana</i>	11	1	0.08	0.01	9.40
7	<i>Taxus baccata</i>	6	2	0.01	0.00	2.20

Tabella 6. CO₂ sequestrata dall' atmosfera e immagazzinata nella biomassa e ossigeno prodotto da tutti gli alberi delle diverse specie (1. Alberi). Le specie allevate a siepe sono contrassegnate da un asterisco.

Specie	CO ₂ immagazzinata (t)	%	CO ₂ sequestrata (t anno ⁻¹)	%	Produzione di O ₂ (t anno ⁻¹)	%
<i>Abies nordmandiana</i>	2.9	0.14	0.1	0.04	0.0	0.04
<i>Acer campestre</i>	11.5	0.57	1.7	0.98	1.2	0.98
<i>Acer platanoides</i>	0.9	0.05	0.1	0.03	0.0	0.03
<i>Acer rubrum</i>	9.8	0.48	0.5	0.29	0.4	0.29
<i>Acer saccharinum</i>	79.7	3.92	2.1	1.24	1.5	1.24
<i>Aesculus hippocastanum</i>	22.5	1.10	0.6	0.34	0.4	0.34
<i>Alnus glutinosa</i>	1.5	0.07	0.3	0.18	0.2	0.18
<i>Carpinus betulus*</i>	688.0	33.80	93.9	55.16	67.7	55.14
<i>Catalpa bignonioides</i>	116.0	5.70	4.7	2.78	3.4	2.78
<i>Celtis australis</i>	27.5	1.35	1.1	0.66	0.8	0.66
<i>Cupressocyparis leylandii*</i>	15.2	0.75	1.2	0.69	0.8	0.69
<i>Fraxinus excelsior</i>	206.2	10.13	13.7	8.03	9.9	8.04
<i>Gleditsia triacanthos 'Sunburst'</i>	115.8	5.69	4.5	2.67	3.3	2.67
<i>Nyssa sylvatica</i>	1.9	0.09	0.2	0.10	0.1	0.10
<i>Platanus hybrida</i>	216.3	10.63	6.8	4.02	4.9	4.01
<i>Populus alba</i>	70.6	3.47	5.2	3.03	3.7	3.02
<i>Populus nigra 'Italica'</i>	205.0	10.07	13.8	8.13	10.0	8.14
<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	12.0	0.59	0.5	0.27	0.3	0.27
<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	24.8	1.22	2.0	1.19	1.5	1.19
<i>Quercus cerris</i>	11.9	0.58	0.4	0.24	0.3	0.24
<i>Quercus robur</i>	126.6	6.22	14.3	8.39	10.3	8.39
<i>Quercus rubra</i>	4.2	0.21	0.2	0.11	0.1	0.11
<i>Robinia pseudoacacia Frisia</i>	23.6	1.16	0.8	0.48	0.6	0.48
<i>Salix babylonica</i>	9.0	0.44	0.6	0.36	0.4	0.36
<i>Taxodium distichum</i>	4.7	0.23	0.2	0.10	0.1	0.10

Specie	CO ₂ immagazzinata (t)	%	CO ₂ sequestrata (t anno ⁻¹)	%	Produzione di O ₂ (t anno ⁻¹)	%
<i>Tilia cordata</i>	26.6	1.31	0.8	0.47	0.6	0.47
<i>Ulmus pumila</i>	0.4	0.02	0.1	0.05	0.1	0.05
Totale	2035.4	100.0	170.3	100.0	122.8	100.0

Tabella 7. CO₂ sequestrata dall' atmosfera e immagazzinata nella biomassa e ossigeno prodotto da tutte le piante delle diverse specie 2. *Siepi/Arbusti*.

Specie	CO ₂ immagazzinata (t)	%	CO ₂ sequestrata (t anno ⁻¹)	%	Produzione di ossigeno (t anno ⁻¹)	%
<i>Laurus nobilis</i>	75.3	11.32	14.3	11.20	10.1	11.14
<i>Forsythia viridissima</i>	1.5	0.22	0.2	0.19	0.2	0.19
<i>Elaeagnus ebbingei</i>	247.3	37.18	50.4	39.63	35.8	39.38
<i>Berberis julianiae</i>	13.5	2.03	2.7	2.13	1.9	2.14
<i>Prunus laurocerasus</i>	84.1	12.65	15.7	12.36	11.3	12.49
<i>Lonicera reticulata</i>	37.8	5.68	12.9	10.11	9.0	9.90
<i>Photinia davidiana</i>	0.5	0.07	0.1	0.06	0.1	0.06
<i>Photinia x fraseri</i>	0.7	0.11	0.1	0.07	0.1	0.07
<i>Amelanchier canadensis</i>	0.3	0.04	0.0	0.02	0.0	0.02
<i>Hypericum</i>	1.5	0.22	0.5	0.40	0.4	0.39
<i>Taxus baccata</i>	0.1	0.01	0.0	0.02	0.0	0.02
<i>Pyracantha coccinea</i>	202.7	30.46	30.3	23.82	22.0	24.20
Totale	665.3	100.0	127.2	100.0	90.8	100.0

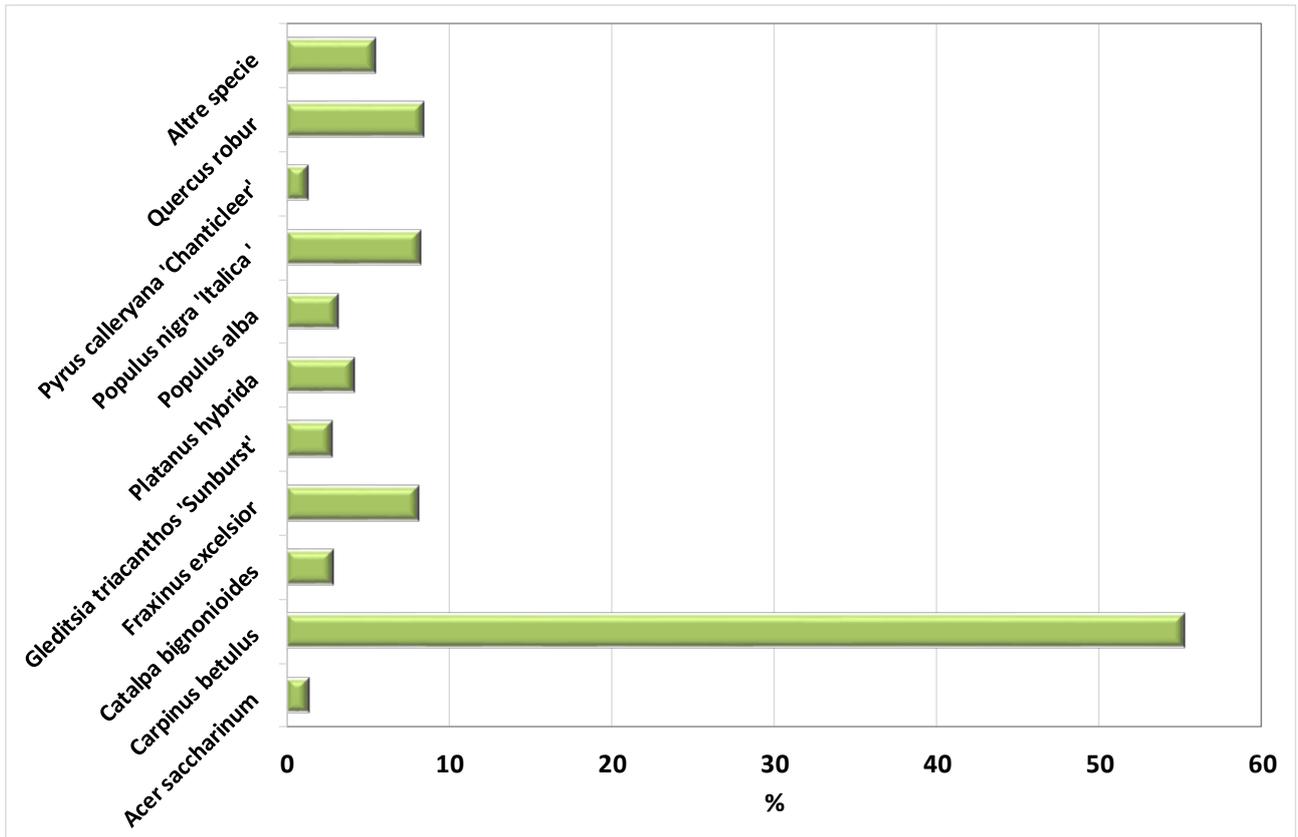


Figura 4. Percentuale di CO₂ sequestrata (solo valori >1%) dalle piante (1. Alberi).

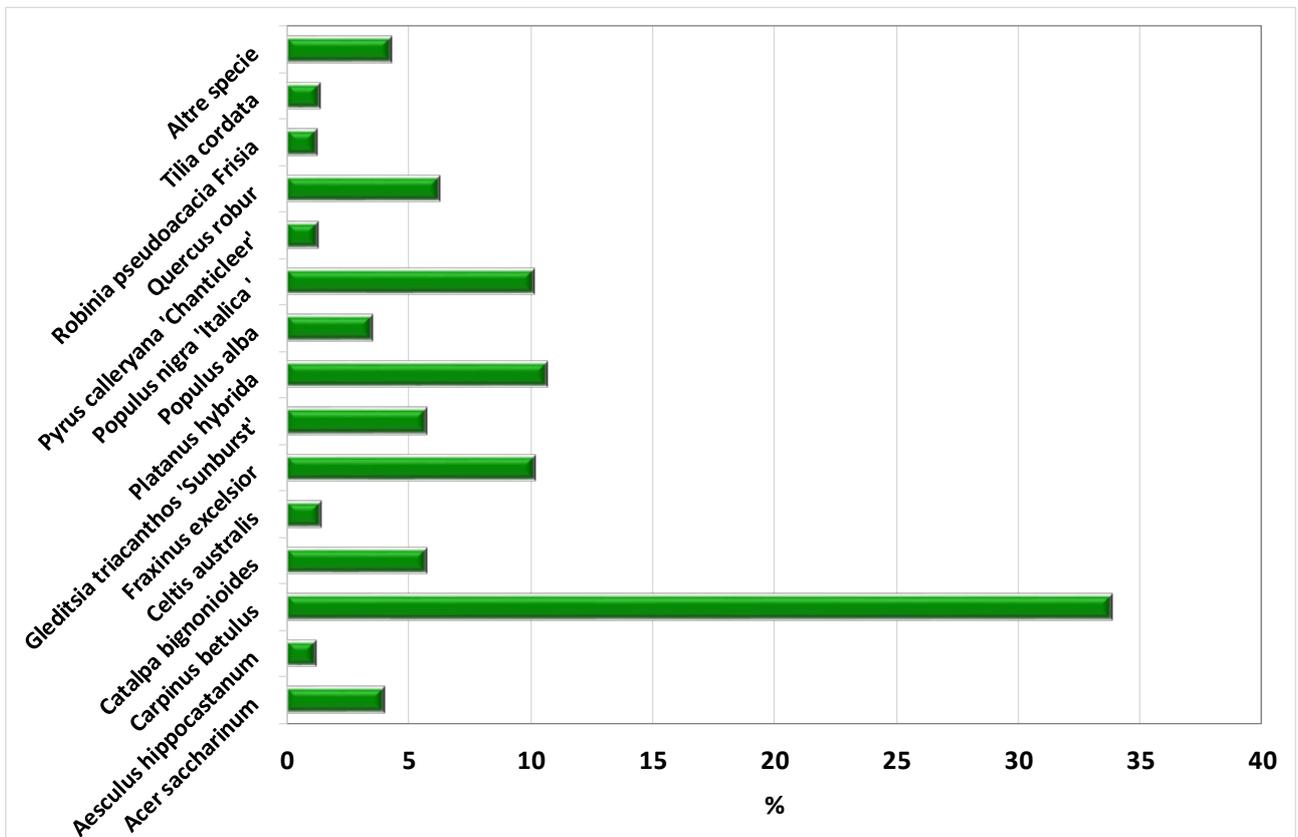


Figura 5. Percentuale di CO₂ immagazzinata (solo valori >1%) dalle piante (1. Alberi).

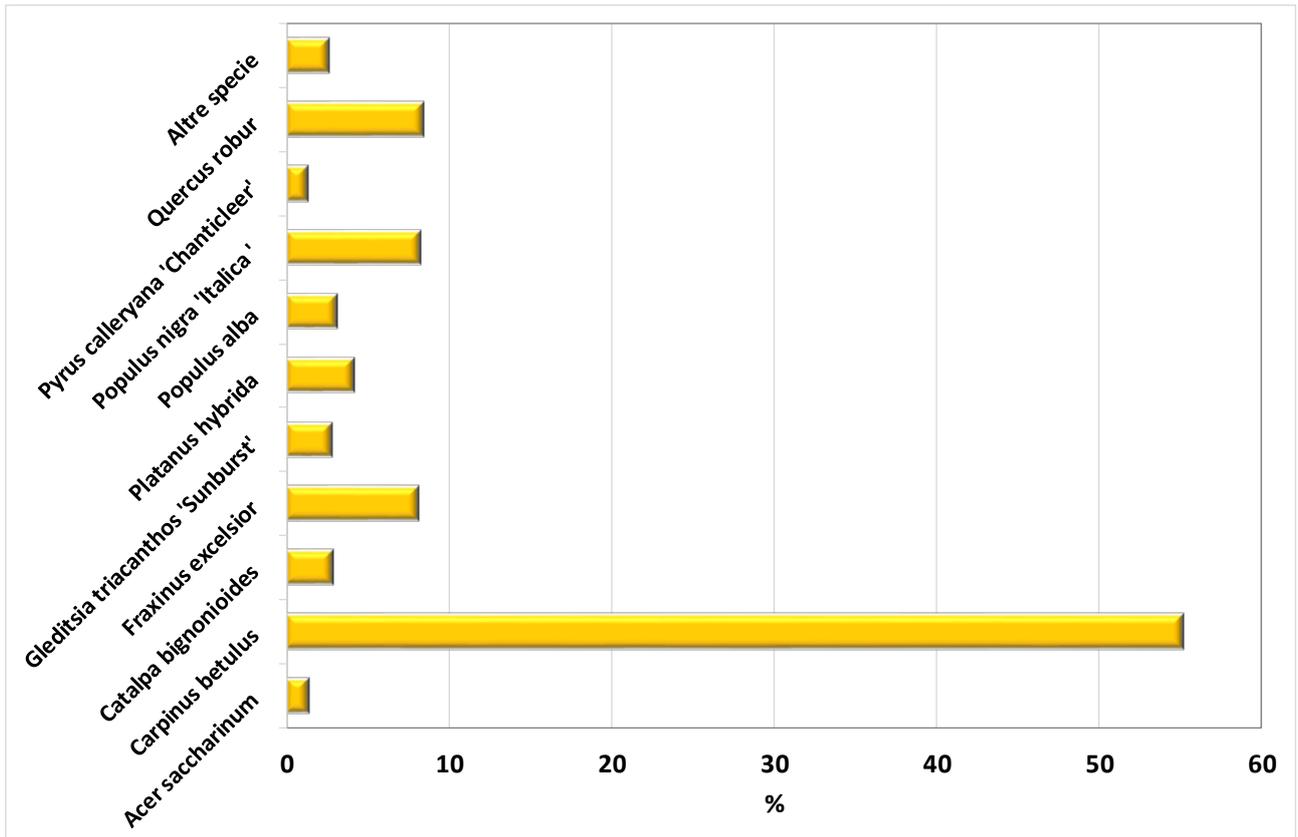


Figura 6. Percentuale di ossigeno prodotto (solo valori >1%) dalle piante (1. Alberi).

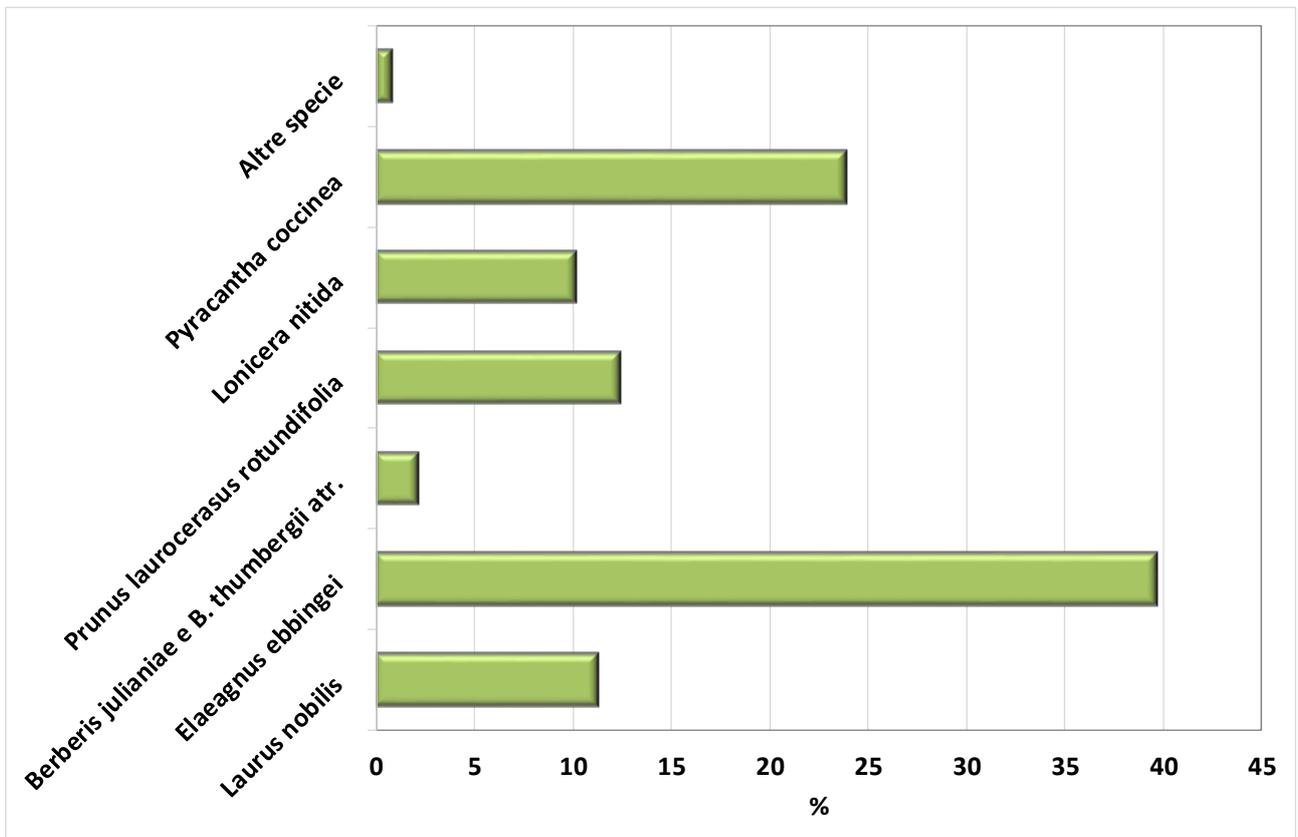


Figura 7. Percentuale di CO₂ sequestrata (solo valori >1%) dalle piante (2. Siepi/arbusti).

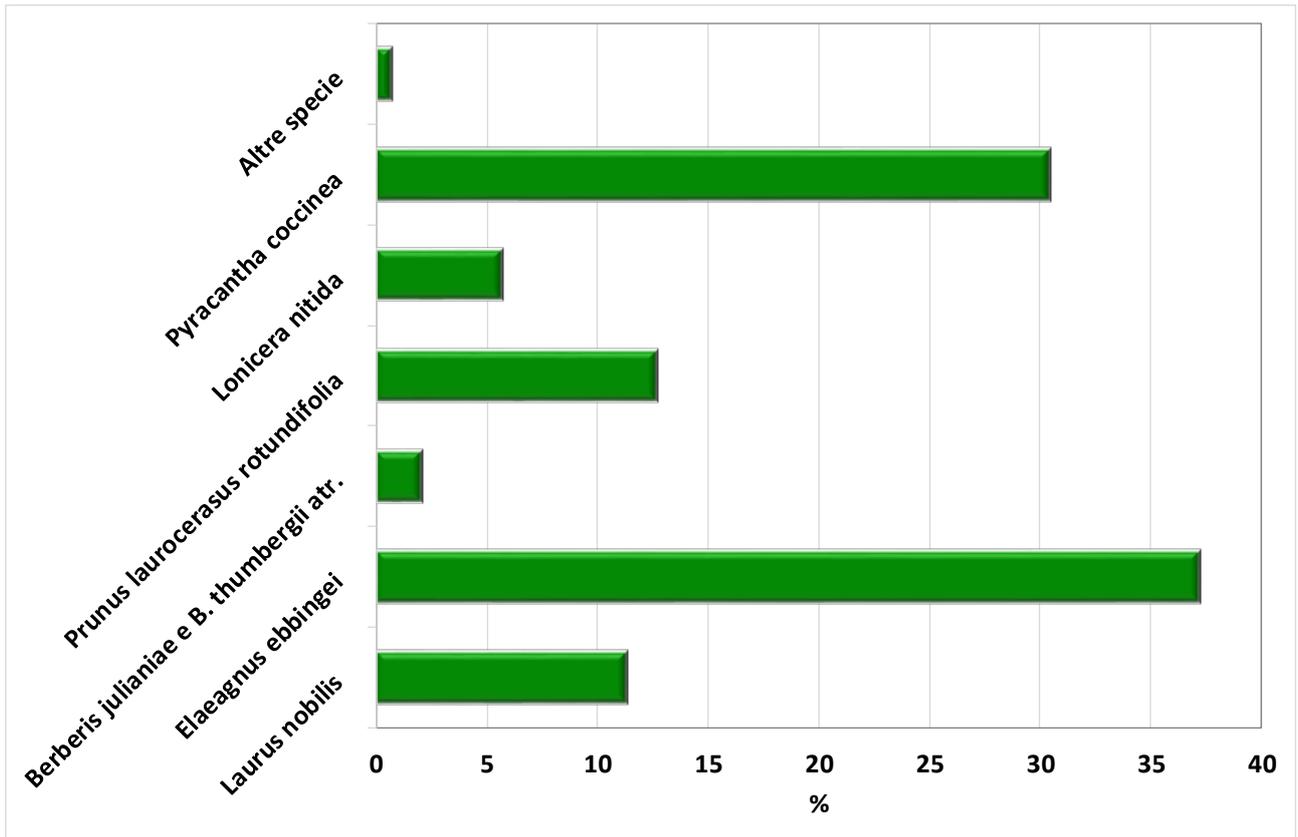


Figura 8. Percentuale di CO₂ immagazzinata (solo valori >1%) dalle piante (2. Siepi/arbusti).

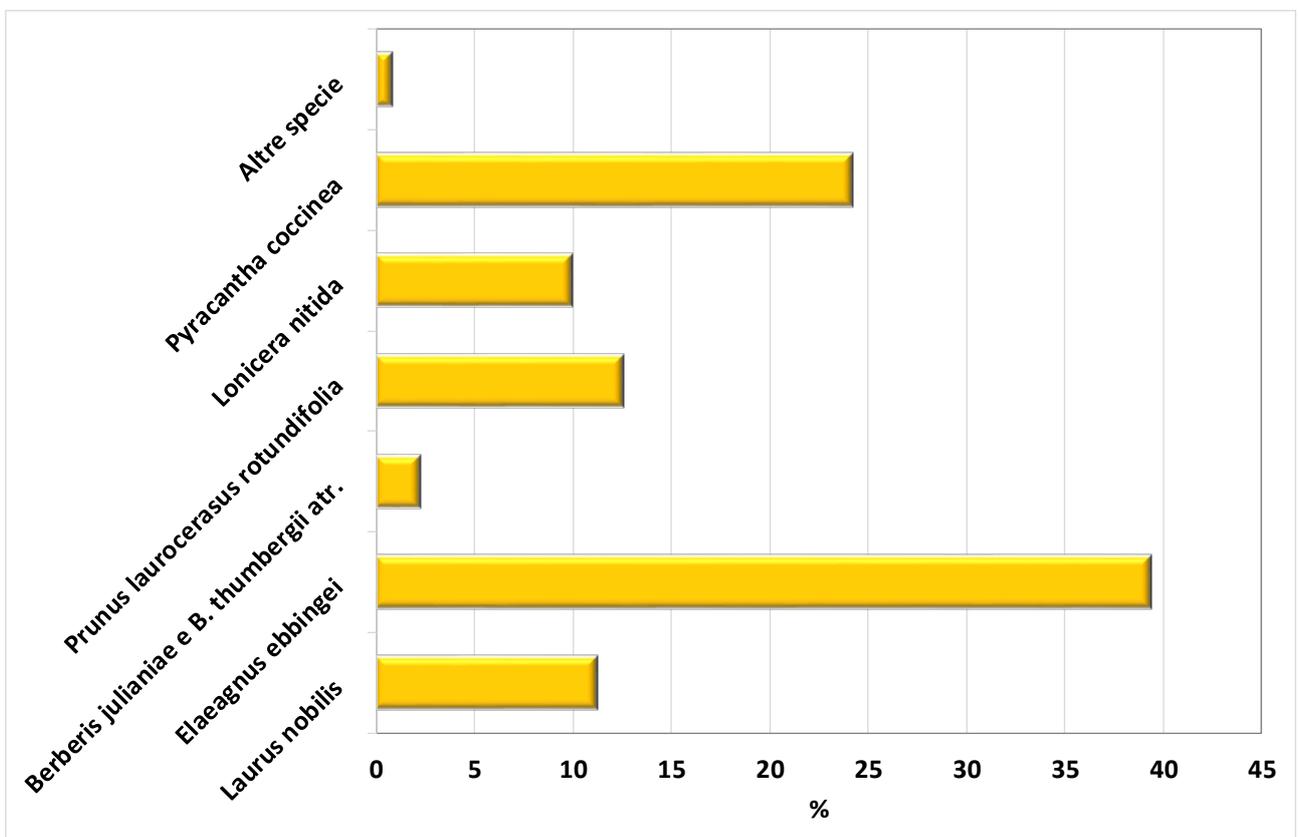


Figura 9. Percentuale di ossigeno prodotto (solo valori >1%) dalle piante (2. Siepi/arbusti).

Tabella 8. PM_{2.5} e inquinanti (O₃, NO₂, SO₂) rimossi annualmente dalle singole piante per ciascuna specie (1. Alberi). Le specie allevate a siepe sono contrassegnate da un asterisco.

Numero di piante	Nome della specie	Inquinanti rimossi (g anno ⁻¹)			
		O ₃	NO ₂	SO ₂	PM _{2.5}
1	<i>Abies nordmanniana</i>	563.50	138.60	12.00	26.30
58	<i>Acer campestre</i>	67.80	16.70	1.40	3.20
12	<i>Acer campestre</i>	73.70	18.10	1.60	3.40
29	<i>Acer campestre</i>	108.20	26.60	2.30	5.10
1	<i>Acer platanoides crimson sentry</i>	315.10	77.50	6.70	14.70
6	<i>Acer rubrum</i>	293.80	72.30	6.30	13.70
1	<i>Acer saccharinum</i>	388.30	95.50	8.30	18.10
24	<i>Acer saccharinum</i>	519.90	127.90	11.10	24.30
2	<i>Acer saccharinum</i>	525.20	129.20	11.20	24.60
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	504.30	124.10	10.70	23.60
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	519.70	127.90	11.10	24.30
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	838.7	206.30	17.80	39.20
28	<i>Alnus glutinosa</i>	55.20	13.60	1.20	2.60
76	<i>Carpinus betulus</i>	143.00	35.20	3.00	6.70
17	<i>Carpinus betulus</i>	313.10	77.00	6.70	14.60
4793	<i>Carpinus betulus</i> *	89.70	22.10	1.90	4.20
7	<i>Catalpa bignonioides</i>	81.90	20.20	1.70	3.80
5	<i>Catalpa bignonioides</i>	144.90	35.70	3.10	6.80
37	<i>Catalpa bignonioides</i>	229.70	56.50	4.90	10.70
8	<i>Celtis australis</i>	464.10	114.20	9.90	21.70
4	<i>Celtis australis</i>	574.00	141.20	12.20	26.80
74	<i>Cupressocyparis leylandii</i> *	50.20	12.40	1.10	2.30
26	<i>Fraxinus excelsior</i>	41.80	10.30	0.90	2.00

Numero di piante	Nome della specie	Inquinanti rimossi (g anno ⁻¹)			
		O ₃	NO ₂	SO ₂	PM _{2.5}
84	<i>Fraxinus excelsior</i>	49.60	12.20	1.10	2.30
254	<i>Fraxinus excelsior</i>	75.30	18.50	1.60	3.50
32	<i>Fraxinus excelsior</i>	83.60	20.60	1.80	3.90
23	<i>Fraxinus excelsior</i>	60.50	14.90	1.30	2.80
84	<i>Fraxinus excelsior</i>	150.20	37.00	3.20	7.00
1	<i>Fraxinus excelsior</i>	259.60	63.90	5.50	12.10
12	<i>Fraxinus excelsior</i>	379.10	93.30	8.10	17.70
59	<i>Fraxinus excelsior westhof's glory</i>	370.90	91.20	7.90	17.30
12	<i>Fraxinus excelsior westhof's glory</i>	435.90	107.20	9.30	20.40
50	<i>Gleditsia triacanthos 'Sunburst'</i>	33.50	8.20	0.70	1.60
27	<i>Gleditsia triacanthos 'Sunburst'</i>	169.10	41.60	3.60	7.90
4	<i>Gleditsia triacanthos 'Sunburst'</i>	190.60	46.90	4.10	8.90
5	<i>Nyssa sylvatica</i>	159.30	39.20	3.40	7.40
12	<i>Platanus hybrida</i>	405.10	99.70	8.60	18.90
20	<i>Platanus hybrida</i>	466.50	114.80	9.90	21.80
13	<i>Platanus hybrida</i>	467.90	115.10	10.00	21.90
1	<i>Platanus hybrida</i>	1 014.5	249.60	21.60	47.40
11	<i>Platanus hybrida</i>	1 062.2	261.30	22.60	49.60
1	<i>Platanus hybrida</i>	1 219.6	300.10	26.00	57.00
6	<i>Populus alba</i>	41.70	10.30	0.90	1.90
86	<i>Populus alba</i>	64.40	15.90	1.40	3.00
58	<i>Populus alba</i>	121.20	29.80	2.60	5.70
7	<i>Populus alba</i>	340.80	83.90	7.30	15.90
1	<i>Populus alba</i>	416.60	102.50	8.90	19.50
1	<i>Populus hybrida</i>	289.30	71.20	6.20	13.50
64	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	9.70	2.40	0.20	0.50

Numero di piante	Nome della specie	Inquinanti rimossi (g anno ⁻¹)			
		O ₃	NO ₂	SO ₂	PM _{2.5}
64	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	15.50	3.80	0.30	0.70
15	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	54.00	13.30	1.10	2.50
27	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	122.70	30.20	2.60	5.70
135	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	160.40	39.50	3.40	7.50
83	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	179.90	44.30	3.80	8.40
3	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	505.70	124.40	10.80	23.60
28	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	191.90	47.20	4.10	9.00
3	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	17.60	4.30	0.40	0.80
11	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	31.70	7.80	0.70	1.50
20	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	52.20	12.90	1.10	2.40
25	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	124.10	30.50	2.60	5.80
4	<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	395.10	97.20	8.40	18.50
1	<i>Quercus cerris</i>	409.40	100.70	8.70	19.10
1	<i>Quercus cerris</i>	540.00	132.90	11.50	25.20
1	<i>Quercus cerris</i>	68.00	16.70	1.40	3.20
2	<i>Quercus robur</i>	25.90	6.40	0.60	1.20
136	<i>Quercus robur</i>	32.80	8.10	0.70	1.50
86	<i>Quercus robur</i>	42.50	10.40	0.90	2.00
54	<i>Quercus robur</i>	51.10	12.60	1.10	2.40
91	<i>Quercus robur</i>	61.70	15.20	1.30	2.90
132	<i>Quercus robur</i>	90.70	22.30	1.90	4.20
97	<i>Quercus robur</i>	102.80	25.30	2.20	4.80
69	<i>Quercus robur</i>	90.70	22.30	1.90	4.20
1	<i>Quercus robur</i>	153.80	37.80	3.30	7.20
2	<i>Quercus robur</i>	285.60	70.30	6.10	13.30
12	<i>Quercus robur</i>	316.40	77.90	6.70	14.80

Numero di piante	Nome della specie	Inquinanti rimossi (g anno ⁻¹)			
		O ₃	NO ₂	SO ₂	PM _{2.5}
1	<i>Quercus robur</i>	368.10	90.60	7.80	17.20
1	<i>Quercus robur</i>	579.70	142.60	12.30	27.10
1	<i>Quercus rubra</i>	260.80	64.20	5.50	12.20
1	<i>Quercus rubra</i>	351.50	86.50	7.50	16.40
6	<i>Robinia pseudoacacia</i> Frisia	312.00	76.80	6.60	14.60
12	<i>Salix babylonica</i>	175.50	43.20	3.70	8.20
3	<i>Taxodium distichum</i>	557.80	137.20	11.90	26.10
8	<i>Tilia cordata</i>	444.40	109.30	9.50	20.80
10	<i>Ulmus resista</i>	22.20	5.50	0.50	1.00

Tabella 9. PM_{2.5} e inquinanti (O₃, NO₂, SO₂) rimossi annualmente dalle singole piante per ciascuna specie (2. Siepi/Arbusti)

Numero di piante	Nome della specie	Inquinanti rimossi (g anno ⁻¹)			
		O ₃	NO ₂	SO ₂	PM _{2.5}
1	<i>Amelanchier canadensis</i>	61.80	15.20	1.30	2.90
252	<i>Berberis julianiae thumbergii atr.</i>	27.40	6.70	0.60	1.30
4258	<i>Elaeagnus ebbingei</i>	28.00	6.90	0.60	1.30
15	<i>Forsythia viridissima phyladelphus</i>	42.90	10.60	0.90	2.00
80	<i>Hypericum hidcote</i>	16.40	4.00	0.30	0.80
1204	<i>Laurus nobilis</i>	32.50	8.00	0.70	1.50
2044	<i>Lonicera nitida</i>	22.80	5.60	0.50	1.10
5	<i>Photinia red robin</i>	52.30	12.90	1.10	2.40
600	<i>Pyracantha coccinea</i>	37.10	9.10	0.80	1.70
1305	<i>Pyracantha coccinea</i>	50.20	12.40	1.10	2.30
880	<i>Prunus laurocerasus rotundifolia</i>	27.40	6.70	0.60	1.30
204	<i>Prunus laurocerasus rotundifolia</i>	40.50	10.00	0.90	1.90
6	<i>Stranvaesia davidiana</i>	30.40	7.50	0.60	1.40
7	<i>Taxus baccata</i>	13.60	3.30	0.30	0.60

Tabella 10. PM_{2.5} e inquinanti (O₃, NO₂, SO₂) rimossi annualmente dalle piante (1. Alberi). Le specie allevate a siepe sono contrassegnate da un asterisco.

Specie	O ₃ (kg/anno)	%	NO ₂ (kg/anno)	%	SO ₂ (kg/anno)	%	PM _{2.5} (kg/anno)	%
<i>Abies nordmandiana</i>	0.6	0.08	0.1	0.08	0.0	0.08	0.0	0.08
<i>Acer campestre</i>	8.0	1.07	2.0	1.07	0.2	1.06	0.4	1.08
<i>Acer platanoides</i>	0.3	0.04	0.1	0.04	0.0	0.04	0.0	0.04
<i>Acer rubrum</i>	1.8	0.24	0.4	0.24	0.0	0.24	0.1	0.24
<i>Acer saccharinum</i>	13.9	1.88	3.4	1.88	0.3	1.89	0.7	1.88
<i>Aesculus hippocastanum</i>	1.9	0.25	0.5	0.25	0.0	0.25	0.1	0.25
<i>Alnus glutinosa</i>	1.5	0.21	0.4	0.21	0.0	0.21	0.1	0.21
<i>Carpinus betulus</i> *	446.1	60.20	109.9	60.23	9.4	60.11	20.9	60.28
<i>Catalpa bignonioides</i>	9.8	1.32	2.4	1.32	0.2	1.33	0.5	1.32
<i>Celtis australis</i>	6.0	0.81	1.5	0.81	0.1	0.81	0.3	0.81
<i>Cupressocyparis leylandii</i> *	3.7	0.50	0.9	0.50	0.1	0.52	0.2	0.49
<i>Fraxinus excelsior</i>	73.0	9.85	18.0	9.84	1.6	9.92	3.4	9.82
<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	7.0	0.95	1.7	0.94	0.1	0.95	0.3	0.95
<i>Nyssa sylvatica</i>	0.8	0.11	0.2	0.11	0.0	0.11	0.0	0.11
<i>Platanus hybrida</i>	34.2	4.61	8.4	4.61	0.7	4.63	1.6	4.61
<i>Populus alba</i>	15.9	2.15	3.9	2.15	0.3	2.18	0.7	2.15
<i>Populus nigra</i> 'Italica'	49.2	6.64	12.1	6.64	1.0	6.62	2.3	6.64
<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	1.6	0.21	0.4	0.21	0.0	0.21	0.1	0.21
<i>Pyrus calleryana</i> 'Chanticleer'	4.5	0.61	1.1	0.61	0.1	0.61	0.2	0.61
<i>Quercus cerris</i>	1.0	0.14	0.3	0.14	0.0	0.14	0.0	0.14
<i>Quercus robur</i>	50.2	6.78	12.4	6.77	1.1	6.76	2.3	6.75
<i>Quercus rubra</i>	0.6	0.08	0.2	0.08	0.0	0.08	0.0	0.08
<i>Robinia pseudoacacia</i> Frisia	1.9	0.25	0.5	0.25	0.0	0.25	0.1	0.25
<i>Salix babylonica</i>	2.1	0.28	0.5	0.28	0.0	0.28	0.1	0.28
<i>Taxodium distichum</i>	1.7	0.23	0.4	0.23	0.0	0.23	0.1	0.23
<i>Tilia cordata</i>	3.6	0.48	0.9	0.48	0.1	0.48	0.2	0.48
<i>Ulmus pumila</i>	0.2	0.03	0.1	0.03	0.0	0.00	0.0	0.03
Totale	741.1	100.0	182.5	100.0	15.7	100.0	34.7	100.0

Tabella 11. PM_{2.5} e inquinanti (O₃, NO₂, SO₂) rimossi annualmente da parte delle piante arboree (2. Siepi/Arbusti)

Specie	O ₃ (kg/anno)	%	NO ₂ (kg/anno)	%	SO ₂ (kg/anno)	%	PM _{2.5} (kg/anno)	%
<i>Laurus nobilis</i>	39.1	11.70	9.6	11.70	0.8	11.63	1.8	11.58
<i>Forsythia viridissima e phyladelphus</i>	0.6	0.19	0.2	0.19	0.0	0.19	0.0	0.19
<i>Elaeagnus ebbingei</i>	119.2	35.64	29.4	35.68	2.6	35.25	5.5	35.50
<i>Berberis julianiae thumbergii atr.</i>	6.9	2.06	1.7	2.05	0.2	2.09	0.3	2.10
<i>Prunus laurocerasus rotundifolia</i>	32.4	9.68	7.9	9.64	0.7	9.82	1.5	9.82
<i>Lonicera nitida</i>	46.6	13.93	11.4	13.90	1.0	14.10	2.2	14.42
<i>Stanvaesia davidiana</i>	0.2	0.05	0.0	0.05	0.0	0.05	0.0	0.05
<i>Photinia red robin</i>	0.3	0.08	0.1	0.08	0.0	0.08	0.0	0.08
<i>Amelanchier canadensis</i>	0.1	0.02	0.0	0.02	0.0	0.02	0.0	0.02
<i>Hypericum hidcote</i>	1.3	0.39	0.3	0.39	0.0	0.33	0.1	0.41
<i>Taxus baccata</i>	0.1	0.03	0.0	0.03	0.0	0.03	0.0	0.03
<i>Pyracantha coccinea</i>	87.8	26.23	21.6	26.28	1.9	26.43	4.0	25.79
Totale	334.6	100.0	82.4	100.0	7.2	100.0	15.6	100.0

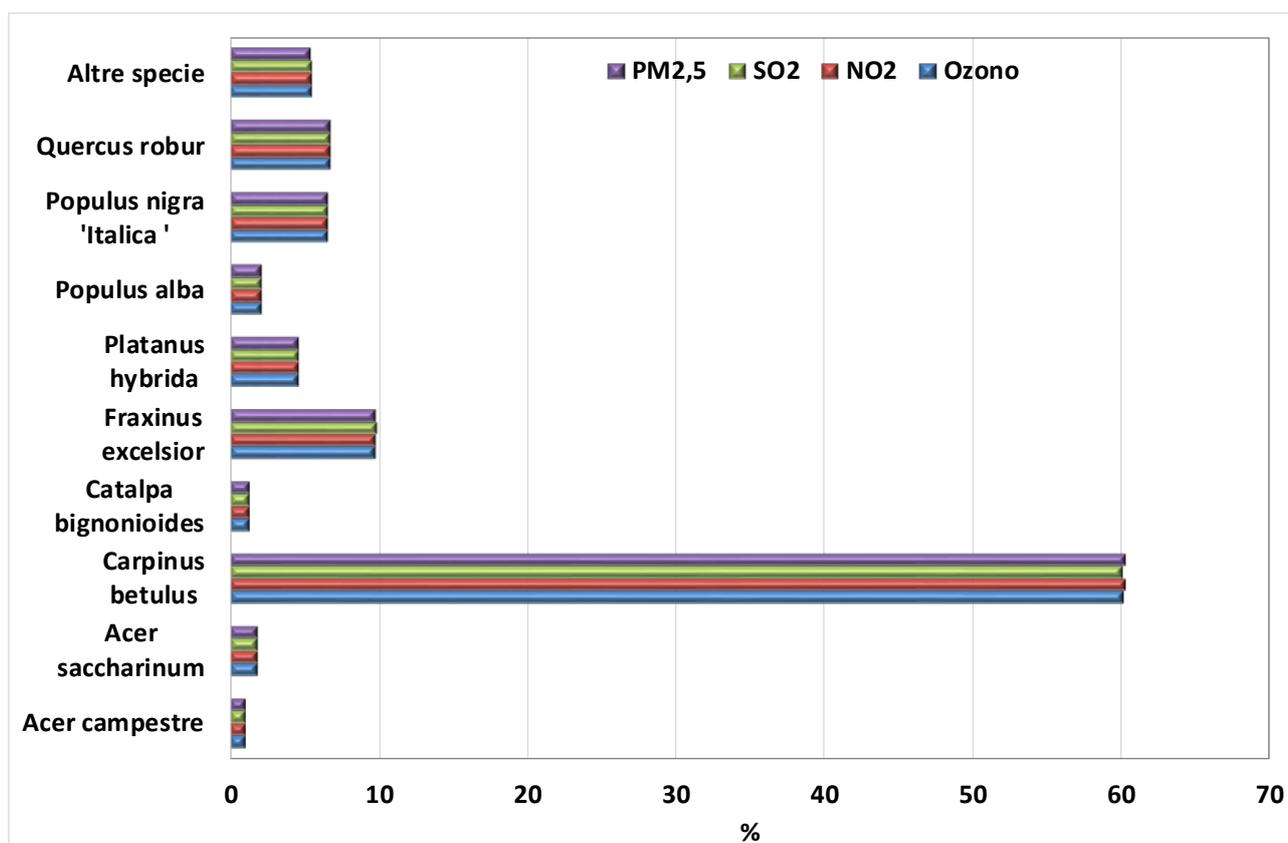


Figura 10. Rimozione dei principali inquinanti (%>1) dalle piante (1. Alberi).

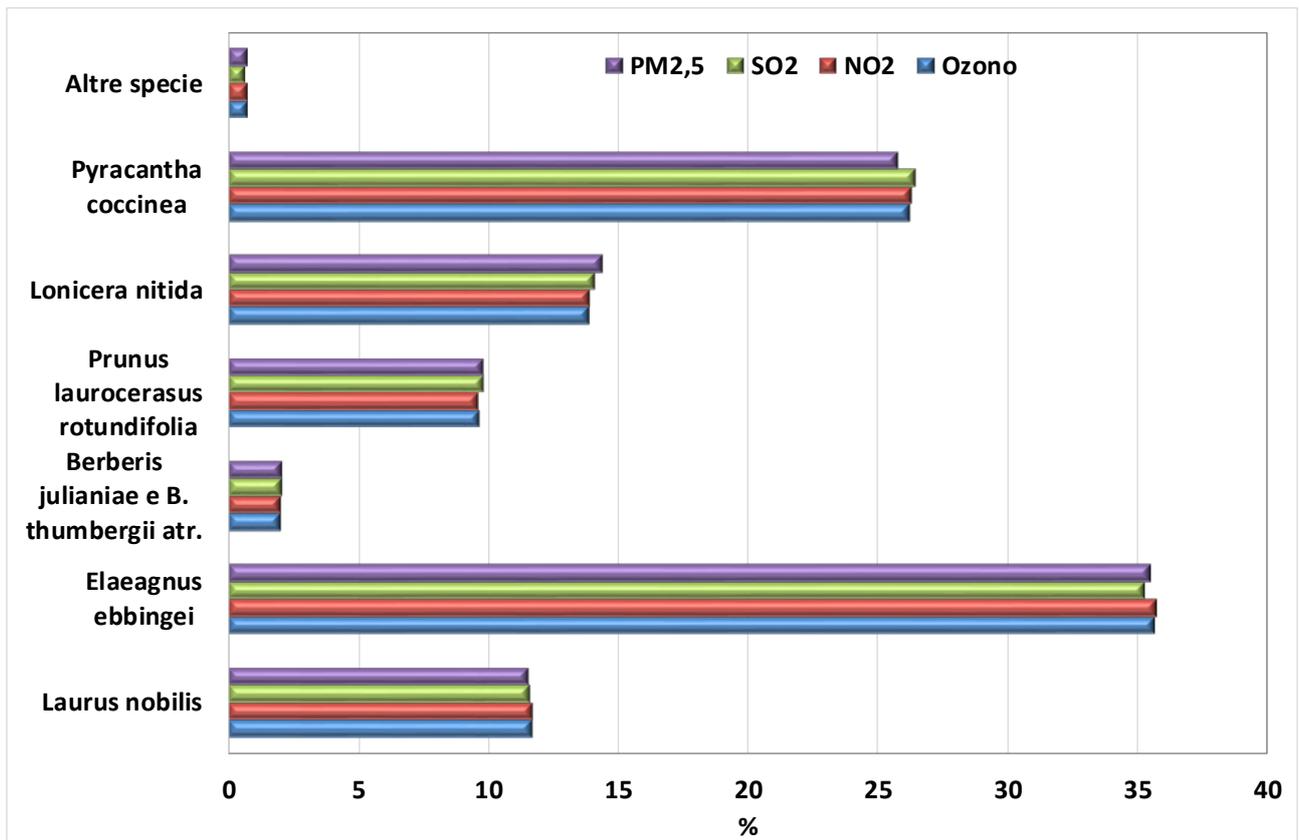


Figura 11. Rimozione dei principali inquinanti (%>1) dalle piante (2. Siepi/arbusti).

Tabella 12. VOC (isoprene e monoterpeni) emessi annualmente, e potenziale di formazione dell'ozono (OFP) per singola pianta di ciascuna specie arborea ed arbustiva. Le specie allevate a siepe e gli arbusti sono contrassegnati da un asterisco.

Numero di piante	Specie	Diametro tronco (cm)	Altezza pianta (m)	Isoprene (g anno⁻¹)	Monoterpeni (g anno⁻¹)
1	<i>Abies nordmanniana</i>	66.90	25.00	2.60	593.50
58	<i>Acer campestre</i>	10.50	5.00	0.10	13.50
12	<i>Acer campestre</i>	11.10	5.00	0.10	14.70
29	<i>Acer campestre</i>	15.90	5.00	0.20	21.60
1	<i>Acer platanoides</i>	31.80	6.00	0.50	60.20
6	<i>Acer rubrum</i>	38.20	6.00	0.60	70.10
1	<i>Acer saccharinum</i>	51.00	9.00	0.60	72.40
24	<i>Acer saccharinum</i>	71.70	9.00	0.80	96.90
2	<i>Acer saccharinum</i>	89.20	8.00	0.80	97.90
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	51.00	10.00	0.00	0.00
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	66.90	10.00	0.00	0.00
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	93.90	20.00	0.00	0.00
28	<i>Alnus glutinosa</i>	9.60	5.00	0.10	0.00
1	<i>Amelanchier canadensis</i> *	19.10	3.00	0.00	0.00
252	<i>Berberis julianiae thumbergii</i> atr. *	9.60	1.20	14.90	0.00
76	<i>Carpinus betulus</i>	19.10	4.00	0.30	30.50
17	<i>Carpinus betulus</i>	38.20	8.00	0.60	66.80

Numero di piante	Specie	Diametro tronco (cm)	Altezza pianta (m)	Isoprene (g anno ⁻¹)	Monoterpeni (g anno ⁻¹)
4793	<i>Carpinus betulus</i> *	14.30	2.70	0.20	19.10
7	<i>Catalpa bignonioides</i>	19.10	4.00	1.30	1.90
5	<i>Catalpa bignonioides</i>	30.30	6.00	2.40	3.40
37	<i>Catalpa bignonioides</i>	51.00	7.00	3.70	5.40
8	<i>Celtis australis</i>	33.40	9.00	0.80	12.10
4	<i>Celtis australis</i>	60.50	17.00	1.00	15.00
74	<i>Cupressocyparis leylandii</i> *	22.30	4.00	0.30	11.80
4258	<i>Elaeagnus ebbingei</i> *	10.20	1.50	0.10	0.90
15	<i>Forsythia viridissima phyladelphus</i> *	12.70	2.00	0.00	0.70
26	<i>Fraxinus excelsior</i>	8.60	5.00	0.10	1.00
84	<i>Fraxinus excelsior</i>	9.60	6.00	0.20	1.20
254	<i>Fraxinus excelsior</i>	12.70	6.00	0.20	1.80
32	<i>Fraxinus excelsior</i>	13.40	9.00	0.30	2.00
23	<i>Fraxinus excelsior</i>	11.10	6.00	0.20	1.40
84	<i>Fraxinus excelsior</i>	19.10	9.00	0.50	3.50
1	<i>Fraxinus excelsior</i>	28.70	8.00	0.80	6.10
12	<i>Fraxinus excelsior</i>	44.60	8.00	1.20	8.90
59	<i>Fraxinus excelsior westhof's glorie</i>	43.00	8.00	1.20	8.70
12	<i>Fraxinus excelsior westhof's glorie</i>	57.30	10.00	1.40	10.30

Numero di piante	Specie	Diametro tronco (cm)	Altezza pianta (m)	Isoprene (g anno ⁻¹)	Monoterpeni (g anno ⁻¹)
50	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	9.60	5.00	0.00	0.00
27	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	52.50	7.00	0.00	0.00
4	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	71.70	7.00	0.00	0.00
80	<i>Hypericum hidcote</i> *	6.40	0.80	0.00	0.00
1204	<i>Laurus nobilis</i> *	10.20	1.70	0.10	0.60
2044	<i>Lonicera nitida</i> *a	6.40	0.80	0.00	0.00
5	<i>Nyssa sylvatica</i>	22.30	6.00	23.50	7.30
5	<i>Photinia red robin</i> *	14.30	2.30	0.00	0.00
12	<i>Platanus hybrida</i>	33.40	18.00	188.40	3.90
20	<i>Platanus hybrida</i>	43.00	22.00	216.90	4.50
13	<i>Platanus hybrida</i>	47.80	19.00	217.60	4.50
1	<i>Platanus hybrida</i>	73.20	25.00	471.80	9.80
11	<i>Platanus hybrida</i>	76.40	20.00	494.00	10.30
1	<i>Platanus hybrida</i>	133.80	20.00	567.2	11.80
6	<i>Populus alba</i>	15.90	6.00	77.20	0.80
86	<i>Populus alba</i>	19.10	9.00	119.30	1.20
58	<i>Populus alba</i>	25.50	9.00	224.40	2.30
7	<i>Populus alba</i>	52.50	15.00	631.3	6.60
1	<i>Populus alba</i>	58.90	20.00	771.6	8.00

Numero di piante	Specie	Diametro tronco (cm)	Altezza pianta (m)	Isoprene (g anno ⁻¹)	Monoterpeni (g anno ⁻¹)
1	<i>Populus hybrida</i>	47.80	17.00	535.8	5.60
64	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	6.10	7.00	14.90	0.20
64	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	8.60	7.00	23.70	0.20
15	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	17.50	13.00	82.90	0.90
27	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	25.50	13.00	188.50	2.00
135	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	28.70	19.00	246.40	2.60
83	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	30.30	20.00	276.50	2.90
3	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	65.30	18.00	777.1	8.10
28	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	38.20	15.00	294.90	3.10
880	<i>Prunus laurocerasus rotundifolia</i> *	9.60	1.20	0.10	0.50
204	<i>Prunus laurocerasus rotundifolia</i> *	12.70	1.70	0.10	0.80
4	<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	51.00	9.00	1.00	160.90
600	<i>Pyracantha coccinea</i> *	12.70	1.50	0.00	0.00
1305	<i>Pyracantha coccinea</i> *	12.70	3.00	0.00	0.00
3	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	8.00	5.00	0.00	0.00
11	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	12.70	7.00	0.00	0.00
20	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	17.50	7.00	0.00	0.00
25	<i>Pyrus calleryana 'Chanticleer'</i>	28.70	9.00	0.00	0.00
1	<i>Quercus cerris</i>	54.10	25.00	0.00	0.00

Numero di piante	Specie	Diametro tronco (cm)	Altezza pianta (m)	Isoprene (g anno ⁻¹)	Monoterpeni (g anno ⁻¹)
1	<i>Quercus cerris</i>	66.90	25.00	0.00	0.00
1	<i>Quercus cerris</i>	14.30	8.00	0.00	0.00
2	<i>Quercus robur</i>	6.40	4.00	36.80	0.80
136	<i>Quercus robur</i>	8.00	7.00	46.50	1.00
86	<i>Quercus robur</i>	9.60	6.00	60.20	1.30
54	<i>Quercus robur</i>	11.10	6.00	72.50	1.50
91	<i>Quercus robur</i>	12.70	6.00	87.50	1.80
132	<i>Quercus robur</i>	15.90	9.00	128.70	2.70
97	<i>Quercus robur</i>	17.50	7.00	145.80	3.00
69	<i>Quercus robur</i>	15.90	7.00	128.70	2.70
1	<i>Quercus robur</i>	22.30	8.00	218.10	4.50
2	<i>Quercus robur</i>	38.20	12.00	405.00	8.40
12	<i>Quercus robur</i>	41.40	15.00	448.70	9.30
1	<i>Quercus robur</i>	54.10	11.00	522	10.80
1	<i>Quercus robur</i>	66.90	13.00	822.1	17.10
1	<i>Quercus rubra</i>	31.80	10.00	442.70	9.20
1	<i>Quercus rubra</i>	49.40	10.00	596.6	12.40
6	<i>Robinia pseudoacacia Frisia</i>	57.30	7.00	71.60	7.40
12	<i>Salix babylonica</i>	28.70	8.00	185.00	19.70

Numero di piante	Specie	Diametro tronco (cm)	Altezza pianta (m)	Isoprene (g anno⁻¹)	Monoterpeni (g anno⁻¹)
6	<i>Stranvaesia davidiana</i> *	11.10	1.30	0.00	0.00
3	<i>Taxodium distichum</i>	52.50	15.00	2.70	580.10
7	<i>Taxus baccata</i> *	5.70	2.20	0.10	8.00
8	<i>Tilia cordata</i>	63.70	6.00	0.00	0.00
10	<i>Ulmus pumila</i>	8.60	7.00	0.00	0.30

Tabella 13. Emissione di isoprene e monoterpeni da parte delle piante arboree (1. Alberi). Le specie allevate a siepe e gli arbusti sono contrassegnati da un asterisco

Specie	Isoprene (kg/anno)	%	Monoterpene (kg/anno)	%	VOCs (kg/anno)	%
<i>Abies nordmanniana</i>	0.0	0.00	0.6	0.54	0.6	0.19
<i>Acer campestre</i>	0.0	0.01	1.6	1.46	1.6	0.52
<i>Acer platanoides</i>	0.0	0.00	0.1	0.06	0.1	0.02
<i>Acer rubrum</i>	0.0	0.00	0.4	0.39	0.4	0.14
<i>Acer saccharinum</i>	0.0	0.01	2.6	2.38	2.6	0.85
<i>Aesculus hippocastanum</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Alnus glutinosa</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Carpinus betulus</i> *	1.0	0.50	95.0	87.22	96.0	31.33
<i>Catalpa bignonioides</i>	0.2	0.08	0.2	0.21	0.4	0.13
<i>Celtis australis</i>	0.0	0.01	0.2	0.14	0.2	0.05
<i>Cupressocyparis leylandii</i> *	0.0	0.01	0.9	0.80	0.9	0.29
<i>Fraxinus excelsior</i>	0.2	0.12	1.7	1.58	1.9	0.63
<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Nyssa sylvatica</i>	0.1	0.06	0.0	0.03	0.2	0.05
<i>Platanus hybrida</i>	15.9	8.05	0.3	0.30	16.2	5.30
<i>Populus alba</i>	29.5	14.92	0.3	0.28	29.8	9.72
<i>Populus nigra</i> 'Italica'	75.6	38.29	0.8	0.73	76.4	24.94
<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	0.0	0.00	0.6	0.59	0.6	0.21
<i>Pyrus calleryana</i> 'Chanticleer'	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Quercus cerris</i>	0.0	0.00	0.0	0.04	0.0	0.01
<i>Quercus robur</i>	71.2	36.07	1.5	1.37	72.7	23.73
<i>Quercus rubra</i>	1.0	0.53	0.0	0.02	1.1	0.35
<i>Robinia pseudoacacia</i> Frisia	0.4	0.22	0.0	0.04	0.5	0.15
<i>Salix babylonica</i>	2.2	1.12	0.2	0.22	2.5	0.80

<i>Taxodium distichum</i>	0.0	0.00	1.7	1.60	1.7	0.57
<i>Tilia cordata</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Ulmus pumila</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
Totale	197.5	100.0	108.9	100.0	306.4	100.0

Tabella 14. Emissione di isoprene e monoterpeni da parte delle piante arboree (2. Arbusti/Siepi).

Specie	Isoprene (kg/anno)	%	Monoterpene (kg/anno)	%	VOCs (kg/anno)	%
<i>Laurus nobilis</i>	0.1	2.73	0.7	13.83	0.8	8.75
<i>Forsythia viridissima e phyladelphus</i>	0.0	0.00	0.0	0.20	0.0	0.11
<i>Elaeagnus ebbingei</i>	0.4	9.66	3.8	73.35	4.3	44.20
<i>Berberis julianiae thumbergii atr</i>	3.8	85.14	0.0	0.00	3.8	38.98
<i>Prunus laurocerasus rotundifolia</i>	0.1	2.46	0.6	11.55	0.7	7.39
<i>Lonicera nitida</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Stavaesia davidiana</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Photinia Red robin</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Amelanchier canadensis</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Hypericum hidcote</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
<i>Taxus baccata</i>	0.0	0.02	0.1	1.07	0.1	0.58
<i>Pyracantha coccinea</i>	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
Totale	4.4	100.0	5.2	100.0	9.6	100.0

5. BIBLIOGRAFIA

- Baraldi R., Neri L., Costa F., Facini O., Rapparini F., Carriero G., 2019a. Ecophysiological and micromorphological characterization of green roof vegetation for urban mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening* 37, 24–32
- Baraldi R., Chieco C., Neri L., Facini O., Rapparini F., Morrone L., Rotondi A., Carriero G., 2019b. An integrated study on air mitigation potential of urban vegetation: from a multi-trait approach to modeling. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41:127-138. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.020>.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G., 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and wind speed. *Global Change Biology* 6, 995-1003.
- Benjamin, M.T, Winer, A. M., 1998. Estimating the ozone forming potential of urban trees and shrubs. *Atmospheric Environment* 32, 53-68.
- Calfapietra, C., Fares, S., Manes, F., Morani, A., Sgrigna, G., Loreto, F., 2013. Role of biogenic volatile organic compounds (BVOCs) emitted by urban trees on ozone concentration in cities: a review. *Environmental Pollution* 183, 71-80.
- Chameides, W. L., Lindsay, R. W., Richardson, J., and Kiang, C. S., 1988. The role of biogenic hydrocarbons in urban photochemical smog: Atlanta as a case study, *Science* 241, 1473–1475.
- Hirabayashi, S., Kroll, C.N., Nowak, D.J., 2015. I-Tree Eco dry deposition model descriptions, pg. 1-32.
- Kesselmeier, J., Staudt, M., 1999. Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC): an overview on emission, physiology and ecology. *Journal of Atmospheric Chemistry* 33, 23-88.
- Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Daiber, A. and Münzel, T., 2019. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European heart journal*.
- Manes, F., Marando, F., Capotorti, G., Blasi, C., Salvatori, E., Fusaro, L., Ciancarella, L., Mircea, M., Marchetti, M., Chirici, G., Munafò, M., 2016. *Ecological Indicators* 67, 425 – 440.
- Nowak, D.J., Civerolo, K.L., Rao, S.T., Sistla, G., 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., Stevens, J.E., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 4, 115 – 123.
- Qian, YL., Follett, RF. 2002. Assessing soil carbon sequestration in turfgrass system using long-term soil testing data. *Agronomy Journal*, 94(4): 930-935
- Qian, YL., Follett, RF., Kimble JM. 2010. Soil organic carbon input from urban turfgrasses. *Soil Science Society of American Journal*, 74(2): 366-371
- Qian, YL., Follett, RF. 2012. Carbon dynamics and sequestration in urban turfgrass ecosystems. *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*, Eds. Lal, Rattan, Augustin, Bruce, pp. 161-172