

ANALISI AMBIENTALE DEI VIVAI PIANTE MATE CONFRONTO CON ALTRI SETTORI PRODUTTIVI

STIMA DEL SEQUESTRO DI CO₂ DEL VIVAIO DI PRODUZIONE

A. VIVAIO PRODUTTIVO DI RAMINI

Per il calcolo della CO₂ sequestrata annualmente dagli alberi presenti in vivaio si è fatto riferimento alla formula (adattata da Nicese & Lazzerini 2013):

$$\text{CO}_2 \text{ (kg/anno/pianta)} = \text{peso secco totale} \times 0.5 \times 3.667$$

dove 0.5 rappresenta il contenuto in carbonio del peso secco della pianta e 3.667 permette di convertire il valore del carbonio in anidride carbonica.

Per il calcolo del peso secco di fusto, branche e radici si sono utilizzate formule allelometriche che si basano sul diametro della pianta a 1.30 m di altezza (Nicese & Lazzerini 2013):

$$\text{fusto} \longrightarrow \log_{10}(y) = 2.32\log_{10}(x) - 0.95$$

$$\text{branche} \longrightarrow \log_{10}(y) = 2.35\log_{10}(x) - 1.84$$

$$\text{radici} \longrightarrow \log_{10}(y) = 1.98\log_{10}(x) - 1.10$$

y rappresenta il peso secco in kg e x il diametro a 1.30 m in cm. Il peso secco totale deriva dalla somma dei tre valori ottenuti.

La dimensione delle piante inizialmente a disposizione era la classe di circonferenza o la classe di altezza. Nel primo caso, per ricavare il diametro si è calcolato il valore medio di circonferenza di ciascuna classe e si è poi diviso il valore per 3.14 (π). Nel secondo caso, si è ricondotta la classe di altezza ad una classe di circonferenza e poi si è proceduto allo stesso modo.

Il peso secco calcolato con le formule allelometriche deve essere diviso per gli anni di età dell'albero (per effettuare il calcolo finale di CO₂ sequestrata su base annua); pertanto è stato stimato anche questo dato.

Con queste formule si è calcolata la quantità di CO₂ annualmente sequestrata (kg) dalla singola pianta, che è stata quindi moltiplicata per il numero delle piante dello stesso tipo e specie presenti in vivaio. Sommando questi valori si ottiene la quantità totale di CO₂ sequestrata dal vivaio.

La letteratura fornisce, nel caso di alberi urbani, dei valori medi indicativi di assorbimento di CO₂, in particolare 12.46 – 21.60 kg CO₂/anno/pianta (Relazione agronomica abaco delle essenze, Comune di Carimate (CO); Zirkle *et al.* 2012). Per tenere conto del rapido accrescimento delle piante in ambito vivaistico si è deciso di considerare anche il valore medio ricavato dalla letteratura (17.03 kg CO₂/anno/pianta). Questo è stato moltiplicato per il numero di alberi in vivaio; con il risultato è stata poi fatta la media con il valore finale ottenuto dai calcoli. In questo modo si riesce ad avvicinarsi al più probabile valore di sequestro di CO₂.

Si divide il valore di sequestro di CO₂ per la superficie del vivaio per ottenere un valore unitario di riferimento (per il pieno campo).

Si è deciso di stimare anche la quantità di ossigeno liberata dalle piante. Dalla formula della fotosintesi si osserva come per ogni mole di CO₂ assorbita viene emessa una mole di O₂. Utilizzando

quindi le masse molari è possibile ricavare dai kg di CO₂ calcolati la quantità di O₂ emessa in atmosfera (Nowak *et al.* 2007). La formula usata è la seguente:

$$O_2 \text{ (kg/anno)} = CO_2 \text{ sequestrata (kg/anno)} \times (MM_{O_2}/MM_{CO_2})$$

MM O₂ = 31.998 g/mol; MM CO₂ = 44.009 g/mol.

Considerando che una persona, al giorno, consuma circa 0.80 kg di O₂ (Nowak *et al.* 2007), si è anche determinato quante persone in un anno vengono rifornite dall'ossigeno prodotto dai soli alberi dei vivai Mati.

B. VIVAIO PRODUTTIVO DI MASIANO

Nel caso degli arbusti, per calcolare il sequestro complessivo di CO₂, si è usato il valore medio dell'intervallo riportato in letteratura (0.27 – 0.84 kg/anno/cad), pari a 0.56 kg/anno/cad, moltiplicato per il numero delle piante.

Per gli alberi si sono usate le stesse formule riportate per il vivaio di Ramini. Anche in questo caso, per tenere conto dell'intenso accrescimento delle piante in vivaio, si è fatto la media fra questo valore calcolato e il valore medio trovato in letteratura (17.03 kg/anno/cad, moltiplicato per il numero degli alberi). Si sono sommati i valori di sequestro di CO₂ di alberi e arbusti per avere il valore complessivo per la porzione di vasetteria considerata; dividendo quindi per la superficie della vasetteria in questione si è trovato il valore medio di sequestro di CO₂ a metro quadrato della vasetteria dei vivai Mati, necessario per estendere l'analisi alla restante parte di vivaio per la quale manca l'inventario.

Con le stesse formule riportate sopra, si è calcolata la quantità di O₂ liberata in atmosfera e il numero di persone che in un anno respirano quello stesso volume.

	kg CO ₂ sequestrata	kg O ₂ liberati	O ₂ sufficiente per n persone
Masiano (18.85 ha)	179744,3121	130688,2342	448
Ramini (11.11 ha)	70735,0149	51429,9122	176
	250479,3 kg CO₂	182118 kg O₂	624
	250 t CO₂	182 t O₂	

CALCOLO BILANCIO DELLA CO₂ NEI VIVAI PIANTE MATI

Si è quindi proceduto con il calcolo del bilancio di CO₂ dei vivai Mati, ottenuto tramite la differenza fra la CO₂ sequestrata dalle piante e la CO₂eq emessa in atmosfera durante il processo produttivo da tutti i fattori impiegati. Per determinare l'entità delle emissioni si sono utilizzati dei valori medi unitari (specifici per la produzione in contenitore e in pieno campo) rilevati da varie fonti bibliografiche (Nicese & Lazzerini 2013; Lazzerini *et al.* 2014).

	kg CO ₂ sequestrata	kg CO ₂ eq emessa	differenza (kg)
Masiano pieno campo (12.29 ha)	92090,39544	50143,2	41947,20
Masiano vasetteria (3.71 ha)	87653,91662	113155	-25501,08
Ramini (9.44 ha)	70735,0149	38515,2	32219,81
Totale	250479,3 kg	201813,40 kg	48665,93 kg
	250 t	202 t	48 t

RIMOZIONE DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI

Gli alberi e gli arbusti sono capaci di rimuovere efficacemente i diversi inquinanti prodotti dalle attività antropiche, impedendone così la diffusione nell'ambiente circostante e purificando l'aria che respiriamo. Per questo si è deciso di stimare anche la quantità di inquinanti (PM10, O₃, NO₂, SO₂, CO) che complessivamente le piante del vivaio sono in grado di assorbire o trattenere.

La quantità di inquinanti rimossi dagli alberi cambia a seconda della dimensione. Dalla bibliografia (Nowak 1994; F. Ferrini) si sono ricavati dei valori di riferimento per le varie classi di diametro, fra i quali è stata fatta la media per ottenere un valore finale più rappresentativo possibile della situazione reale. (Nel caso della seconda serie di valori, non tutte le classi diametriche erano date. Per questo è stata fatta una analisi di regressione lineare per ricavare i dati mancanti sulla base di quelli a disposizione.)

Il dato a disposizione indica perciò i kg di inquinanti totali annualmente trattenuti dal singolo albero per ciascuna categoria di diametro. Moltiplicando per il numero delle piante presenti per ciascuna categoria si riesce a calcolare la rimozione complessiva da parte del vivaio.

Nel caso degli arbusti è stata fatta una media fra i diversi dati reperiti in letteratura, riferiti alla rimozione per singolo individuo (Comune di Forlì; Baraldi *et al.* 2018; Regione Toscana). Il valore medio così determinato è stato quindi moltiplicato direttamente per il numero di arbusti allevati.

Dai valori ottenuti tramite le operazioni, sono stati calcolati anche i valori medi di rimozione a ettaro per il pieno campo e per la vasetteria, necessari per la stima relativa al vivaio di Masiano.

	kg inquinanti rimossi
Masiano	1614,747285
Ramini	668,833
Totale	2284 kg

Dalla bibliografia (Nowak 1994) si è anche determinata la quantità di singoli inquinanti rimossi mediamente dalle piante in vivaio. In percentuale sul totale risulta: 32.8% PM10, 14.3% NO₂, 12.8% SO₂, 36.0% O₃, 4.2% CO.

	%	kg
PM10	32.8	750
O₃	36.0	822
NO₂	14.3	326
SO₂	12.8	292
CO	4.2	96
Totale	100	2284

VALORE ECONOMICO DELL'ATTIVITÀ DEGLI ALBERI

Per meglio comprendere e per quantificare la centralità del ruolo delle piante all'interno del contesto urbanizzato si è soliti tradurre in valore monetario l'entità della rimozione di CO₂ e di inquinanti.

Dalla letteratura (Nowak *et al.* 2013; Interagency Working Group 2016; Wang *et al.* 2018) si ricava che il costo sociale medio del carbonio è di 48.35 \$/t CO₂eq. Per costo sociale del carbonio si intende la monetizzazione dei danni dovuti al cambiamento climatico, conseguenza dell'incremento di gas serra in atmosfera. Fra i vari aspetti considerati si hanno, ad esempio: una minore produttività in agricoltura, maggiori spese sanitarie a causa di aumentati problemi di salute, danni alle proprietà in seguito a più frequenti inondazioni, l'aumento del livello dei mari e la perdita di terre fertili, mancati introiti (legati al turismo), un cambiamento nei servizi ecosistemici.

Per il calcolo, il costo del carbonio riportato sopra è stato moltiplicato per la quantità complessiva di CO₂ che le piante in vivaio sequestrano tramite la fotosintesi e fissano nei loro tessuti. Il risultato fornisce così una stima delle spese (e dei danni) evitati dalla società grazie alla rimozione di questa molecola da parte delle piante.

In modo del tutto analogo, dai vari dati riportati in letteratura si è determinato il valore della rimozione degli inquinanti (PM10, O₃, NO₂, SO₂, CO) prodotti dalle attività antropiche, pari a 11.04 \$/kg (Nowak *et al.* 2006; Ferrini 2009; Paoletti *et al.* 2011; Kim 2016). Moltiplicando questo valore per la quantità (kg) di inquinanti complessivamente rimossa dalle piante in vivaio si ottiene una ulteriore stima dei benefici che derivano dalla presenza di alberi.

	kg CO ₂ sequestrata	Valore economico CO ₂ sequestrata (€)	kg inquinanti rimossi	Valore economico rimozione inquinanti (€)
Masiano	179744,31	7821,39	1614,747285	9433,56
Ramini	70735,01	3078,03	668,833	3907,41
Totale	250 479 kg CO₂	10 899 €	2284 kg	13 341 €

VALORI STIMATI RIFERITI ALL'INTERO DISTRETTO VIVAISTICO PISTOIESE

Il ruolo positivo delle piante coltivate nei vivai nel mitigare alcune problematiche ambientali può essere esteso all'intero distretto vivaistico pistoiese, che è costituito da un totale di 5200 ha di cui 3700 ha coltivati a pieno campo e la restante parte (1500 ha) occupati dalla produzione in contenitore. Utilizzando come campione i valori per unità di superficie calcolati precedentemente per i vivai Mati si sono ottenuti i seguenti dati indicativi riferiti ad un anno:

- 63 150 t di CO₂ rimossa, pari ad un valore di € 2 756 498;
- il bilancio netto di CO₂ sequestrata dalle piante è pari a 2304 t;
- 45 780 t di ossigeno liberato in atmosfera, sufficienti per circa 157 000 persone;
- 563 t di inquinanti atmosferici potenzialmente rimossi o assorbiti, pari ad un valore di € 3 293 070.

Si stima pertanto che l'intero distretto vivaistico sequestra quindi mediamente 12 t/ha/anno di CO₂, assorbe 108 kg/ha/anno di inquinanti atmosferici, liberando 9 t/ha/anno di ossigeno.

CALCOLO ABBASSAMENTO DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA

Gli alberi, oltre a fornire ombra grazie alle loro chiome, sono capaci di convertire la radiazione solare in calore latente attraverso il processo della traspirazione, contribuendo così in modo fondamentale all'abbassamento delle temperature nel contesto urbano. In effetti, nelle nostre città, dove gran parte della superficie è coperta da materiali impermeabili, la traspirazione rappresenta la principale fonte di calore latente (Konarska *et al.* 2015).

Per effettuare una stima della riduzione di temperatura operata dalle piante in vivaio si è fatto riferimento alla formula del calore specifico $[Q(\text{kcal}) = m(\text{kg}) \cdot c(\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}) \cdot \Delta T(^{\circ}\text{C})]$. Dalla letteratura si è ricavato che 800 m² di terreno con una copertura arborea del 30% sono capaci di assorbire attraverso la traspirazione 1.2 milioni di kcal in un anno (Ferrini). Questo dato, pur essendo leggermente sottostimato, è stato applicato al vivaio. Attraverso la formula del calore latente, si è determinata la massa di aria che viene raffreddata di un grado dalla quantità di energia sopraindicata. Il valore, riferito a 800 m², è stato quindi espresso in funzione di un vivaio di 29 ha (la misura dei vivai Mati). Il valore di massa è stato quindi convertito in volume dividendolo per la densità dell'aria.

Per comprendere meglio il risultato ottenuto si sono scelti dei termini di paragone. Calcolando il volume di aria occupato da un appartamento di 100 m² (mediamente 300 m³), si è determinato il numero di appartamenti la cui temperatura viene teoricamente ridotta di 1°C grazie alla traspirazione operata dalle piante in un vivaio di 29 ha. Oppure, in modo analogo, considerando il volume di aria compreso entro la chioma delle piante in vivaio ipotetico di 29 ha, si determina il numero di vivai di pari superficie nei quali si ha un abbassamento di 1°C di temperatura. Il calcolo è stato ripetuto per entrambi i paragoni ipotizzando un abbassamento di 5°C.

29 ha di vivaio assorbono ogni anno 435 milioni di kcal.

Questa quantità di energia sottratta consente l'abbassamento di 1°C ad un volume di aria pari a 1479 milioni di metri cubi. Questo volume corrisponde a quello di circa 5 milioni di appartamenti di 100 m²; o a quello di 1020 vivai di 29 ha.

La stessa quantità di energia sottratta porta ad un abbassamento di 5°C di un volume di 296 milioni di metri cubi di aria, che corrispondono a 986 mila appartamenti di 100 m² o a 204 vivai di 29 ha.

IMPATTO DEL VIVAIO CONFRONTATO CON ALTRI SETTORI INDUSTRIALI

Si è confrontato l'impatto ambientale per unità di superficie (kg/m²/anno), in termini di emissioni di CO₂eq in atmosfera, di una azienda vivaistica con quello di altri settori industriali tipici delle provincie limitrofe a Pistoia (cartiere e settore tessile in particolare).

Nel caso del vivaio si sono usati i valori riportati in letteratura (Nicese & Lazzerini 2013; Lazzerini *et al.* 2014) ai quali si è già fatto riferimento per i calcoli precedentemente effettuati. Per la quantificazione delle emissioni vengono considerati tutti i vari fattori di produzione impiegati (come plastica dei vasi, concimi, prodotti fitosanitari, gasolio, elettricità). Inoltre, il valore di emissione così considerato non tiene conto della quota di CO₂ sequestrata dall'attività delle piante. Per questo si è poi ripetuto il calcolo sulla base delle effettive emissioni nette in atmosfera della produzione vivaistica.

Nel caso degli altri settori industriali si sono ricercate le dichiarazioni ambientali di aziende esistenti. Fra i vari dati riportati in questi documenti ufficiali si sono estrapolati quelli relativi alle emissioni di gas serra in atmosfera (ed espressi come t o kg di CO₂eq) e i consumi di energia elettrica (in MWh e che sono stati convertiti in CO₂eq tramite il fattore di conversione di 0.56 kg CO₂eq/kWh reperito in letteratura). I valori totali determinati sono stati divisi per la superficie produttiva delle aziende considerate per ottenere il valore finale unitario (kg/m²/anno).

Emissioni kg/mq/anno CO ₂ eq	
INDUSTRIA TESSILE	
emissioni gas serra	420
elettricità	130
TOTALE TESSILE	550
CARTIERA	
emissioni gas serra	1367
elettricità	1960
TOTALE CARTIERA	3327
VIVAIO	
Pieno campo	0,408
Vasetteria	4,529
Media VIVAIO	2,469

COMPENSAZIONE DELLA CO₂ EMESSA IN ATMOSFERA

Date le consistenti emissioni dei settori industriali considerati, le piante si presentano come l'unica, più semplice ed efficace soluzione per l'abbattimento delle emissioni di CO₂ e per il contenimento del fenomeno del cambiamento climatico. Piantare alberi intorno ai fabbricati industriali e lungo le vie di comunicazione garantisce un continuo e costante assorbimento di molecole inquinanti e aiuta le nostre attività economiche ad avviarsi sempre più verso i criteri di sostenibilità fortemente richiesti dalla politica e dalla società. Gli alberi rendono gli ambienti di lavoro più salubri e gradevoli migliorando anche la produttività e il benessere dei singoli lavoratori. Una maggiore presenza di piante (e una loro corretta gestione) produce solo effetti positivi a livello ambientale ed economico.

Per calcolare il numero di alberi necessario a compensare le emissioni di CO₂eq è necessario conoscere la quantità di CO₂ che mediamente viene sequestrata da un albero in buone condizioni in un anno.

Si sono utilizzati valori di assorbimento diversi da quelli precedentemente calcolati per il vivaio in quanto, in ambiente urbano, la concentrazione di CO₂ nell'aria risulta molto più elevata rispetto ad una zona rurale e quindi le piante svolgono fotosintesi con tassi molto più alti risultando così molto più efficienti nel sequestrare CO₂ nell'arco di un anno.

I dati medi di assorbimento ricavati da varie fonti bibliografiche (Progetto GAIA; IBIMET-CNR) sono specifici per le singole specie arboree più comunemente impiegate e più idonee all'ambiente urbano. Per avere un valore di assorbimento di CO₂ più generico di riferimento si è deciso di calcolare il valore medio fra quelli dati in letteratura, che è risultato pari a 86 kg CO₂/albero/anno. Tale dato rappresenta una media di sequestro riferita ad un periodo di circa 30 – 40 anni dalla messa a dimora (partendo da piante di circa 10 anni di età).

Andando a dividere per questo valore medio le emissioni di CO₂eq unitarie precedentemente calcolate per i due settori industriali si ricava il numero di alberi in grado di compensare tali emissioni, per ogni metro quadrato di superficie produttiva (il dato in questa forma risulta utile per effettuare un confronto tra i vari settori. Per uno studio reale di compensazione si andrebbero direttamente a dividere le emissioni totali per il valore di assorbimento del singolo albero).

Nel caso in cui si mettano a dimora le specie arboree con i più alti tassi di sequestro di anidride carbonica (ad esempio *Acer platanoides*, *Celtis australis*, *Betula pendula*, *Carpinus betulus*, *Quercus cerris*, *Fraxinus excelsior*, *Ginkgo biloba*, *Liriodendron tulipifera*, *Ulmus minor*, *Sophora japonica*, *Liquidambar styraciflua*, *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*), è ovviamente necessario un numero più ridotto di individui per il conseguimento dello stesso risultato. Per questo, il calcolo di compensazione è stato ripetuto considerando solo queste specie più performanti, per le quali si è stimato un valore medio di assorbimento netto di 144 kg/albero/anno.

	Emissioni (kg/m ² /anno)	N° alberi per ogni metro quadrato produttivo	N° alberi più performanti per ogni m ² produttivo
Tessile	500	6	4
Cartiera	3327	39	23

Il numero di piante necessario per la compensazione risulta molto alto, per cui è impossibile metterle tutte a dimora in prossimità dei siti industriali, dove però in effetti esse riuscirebbero a manifestare al meglio la loro capacità di sequestro di CO₂ (e di inquinanti). Comunque, l'incremento costante nel numero di alberi (e arbusti) nelle aree verdi urbane e suburbane incolte e la riqualificazione dei parchi già esistenti non può che contribuire in modo fondamentale alla compensazione delle emissioni delle nostre necessarie attività industriali e commerciali.

Un esempio di questo tipo di impegno è dato dal Progetto GAIA, nel Comune di Bologna; ma vi sono anche molte aziende che si stanno individualmente adoperando in questo senso.

Per completezza si riporta anche un elenco delle specie arboree meno efficienti nel sequestro di CO₂ (Progetto GAIA; Progetto Qualiviva; IBIMET–CNR). Questo, naturalmente, non significa che tali specie non debbano essere utilizzate in ambito urbano, in quanto molte di esse hanno un grandissimo valore ornamentale o sono dotate di particolare adattabilità, ma che devono essere opportunamente combinate con le altre più performanti qualora si abbia come obiettivo principale l'abbassamento della concentrazione di CO₂ nell'aria. Inoltre, le caratteristiche pedo-climatiche del sito di impianto sono determinanti: una pianta potenzialmente meno efficiente nel sequestro di CO₂ può dare risultati assai migliori di un'altra più performante ma non idonea a quel particolare sito di impianto.

Tra le specie potenzialmente meno efficienti nel sequestro di CO₂ si possono indicare: *Acacia dealbata*, *Albizia julibrissin*, *Cercis siliquastrum*, *Corylus avellana*, *Crataegus monogyna*, *Cupressus sempervirens*, *Fraxinus ornus*, *Ligustrum japonicum*, *Malus* spp., *Koelreuteria paniculata*, *Parrotia persica*, *Prunus cerasifera* 'Pissardii', *Prunus serrulata*, *Pyrus calleryana*, *Sambucus nigra*, *Sorbus aucuparia*.

COMPENSAZIONE DEGLI INQUINANTI EMESSI IN ATMOSFERA

In modo analogo a quanto si è detto per la compensazione della CO₂, è possibile stimare il numero di alberi necessario per assorbire o trattenere i vari inquinanti liberati in atmosfera dalle diverse attività antropiche. Dividendo quindi le emissioni complessive di inquinanti (di un'attività industriale, di una città, del traffico veicolare) per l'assorbimento medio di un albero si stima il numero di piante necessario per raggiungere la compensazione.

Mediamente, un albero maturo in buono stato di salute assorbe circa 0,42 kg di inquinanti ogni anno (considerando solo O₃, NO₂, SO₂ e PM10).

Nel caso delle specie più performanti si arriva a 1,14 kg di inquinanti rimossi ogni anno. Tra queste specie si possono indicare: *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Liriodendron tulipifera*, *Magnolia grandiflora*, *Corylus colurna*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus oxycarpa*, *Platanus x acerifolia*, *Quercus ilex*, *Quercus robur*, *Salix alba*, *Tilia platyphyllos*, *Tilia tomentosa*, *Ulmus parviflora*, *Ulmus procera*.

Tra le specie che invece risultano meno capaci di abbattere gli inquinanti atmosferici si hanno (ma non dimenticando mai le considerazioni fatte per la compensazione della CO₂): *Acer campestre*, *Acer negundo*, *Cercis siliquastrum*, *Koelreuteria paniculata*, *Ligustrum japonicum*, *Malus* spp., *Melia azedarach*, *Morus* spp., *Ostrya carpinifolia*, *Prunus cerasifera* 'Pissardii', *Pyrus calleryana*.

ANALISI DEL TRAFFICO DI VEICOLI

Si è deciso di analizzare anche il traffico veicolare che può interessare un'area industriale e le emissioni di CO₂eq ad esso associato.

I dati relativi al traffico nell'ora di punta (7:30 – 8:30) sull'intersezione Tangenziale Est – Via Fermi Est sono stati ricavati dal Piano Generale del Traffico Urbano del Comune di Pistoia. Per il calcolo delle emissioni si sono usati i consumi medi di carburante per ogni tipo di veicolo (l/km) e il fattore di conversione dei consumi di carburante in emissioni di CO₂eq (kg CO₂eq/l). Per questo secondo

dato si è considerata la diffusione dei vari tipi di alimentazione per ciascuna categoria di veicolo (ISPRA 2018; Caserini *et al.* 2019; MIT).

Dal prodotto fra i consumi di carburante per km e il fattore di conversione si ricavano le emissioni di CO₂eq per ogni km percorso. Moltiplicando ancora quest'ultimo dato per il numero di veicoli transitati si è ottenuta l'entità delle emissioni per i soli veicoli che nell'ora di punta, in un giorno, transitano sullo snodo suddetto nella zona industriale di Pistoia (il calcolo è stato fatto considerando le emissioni relative ad 1 km percorso). Da questo dato giornaliero si è quindi passati a quello annuale.

	km/l	l/km	fattore conversione kg CO ₂ /l (media)	kg CO ₂ / km	numero veicoli (7:30-8:30)	kg CO ₂ eq emessa ora di punta su 1 km
Auto	15	0,07	2,29	0,153	1508	230,22
Commerciali leggeri	12	0,08	2,48	0,207	213	44,02
Autocarro	4,8	0,21	2,63	0,548	113	61,91
Autoarticolato	3,4	0,29	2,63	0,774	10	7,74
Autobus	4	0,25	1,90	0,475	3	1,43
Moto	31	0,03	2,33	0,075	64	4,81
Totale giornaliero					1911	350 kg
Totale annuo						105 738 kg

Considerando, come sopra, un assorbimento medio annuo di 86 kg CO₂ per pianta, il numero di alberi capace di compensare le emissioni della sola ora di punta sulla intersezione Via Fermi – Tangenziale Est, risulta pari a 1230. Utilizzando esclusivamente le specie con i più alti tassi di sequestro (in media 144 kg CO₂/albero/anno) allora sarebbero necessari 734 alberi.

Anche in questo caso valgono delle considerazioni analoghe a quelle fatte per la compensazione delle emissioni del settore industriale. Il numero di piante necessario alla compensazione è molto elevato e questo permette di comprendere come ogni spazio libero dovrebbe ospitare piante sane in grado di contrastare gli effetti dannosi dell'accumulo dei gas serra.

Con questo studio si vuole solo mostrare come il settore vivaistico, che naturalmente deve migliorare continuamente per risolvere le proprie criticità, si presenti come un settore strategico per contrastare gli effetti negativi dell'accumulo di gas serra e del cambiamento climatico perché produce piante che tra i numerosi benefici, come detto, sono capaci, se ben gestite, di assorbire notevoli quantitativi di CO₂ e inquinanti contribuendo ad una maggiore vivibilità degli agglomerati urbani.

ANALISI DI ALTRI CONTESTI

Agricoltura

Il vivaismo ornamentale tende ad avere valori di emissione, per la produzione in pieno campo, pari o inferiori a quelli dell'agricoltura tradizionale. La produzione in contenitore è caratterizzata invece da maggiori emissioni (per i maggiori input richiesti e per l'uso di plastica dei vasi e torba) rispetto ai processi agricoli, anche se la coltivazione in serra di ortaggi ad esempio presenta valori di emissioni assai maggiori.

La coltivazione del mais, mediamente, presenta emissioni di CO₂eq intorno a 3.15 t/ha/anno (Desjardins *et al.*; CRPA 2013; Solazzo *et al.* 2015). L'assorbimento di CO₂ durante il periodo di coltivazione, inclusa la quota immagazzinata nel terreno, risulta pari a 39.5 t/ha (PSR Umbria).

La coltivazione del pomodoro da mensa, in pieno campo, presenta emissioni medie di gas serra intorno a 12.6 t/ha. Ma se la produzione si svolge in serra, riscaldata con i metodi convenzionali,

allora le emissioni salgono a 587 t/ha. Il riscaldamento è infatti la voce che più pesa sul bilancio delle emissioni (Ntinis *et al.* 2016; Ronga *et al.* 2019).

Bosco

Un bosco mediamente sequestra 13.4 t/ha/anno, valore nel quale è compresa anche la parte immagazzinata nel suolo (APAT 2002; Scarfò & Mercurio 2009; Lorenz & Lal 2010). Confrontando vari dati reperiti in letteratura si è determinata anche la quantità media di inquinanti atmosferici annualmente rimossa dalle superfici coperte a bosco: 31 kg/ha/anno di PM10, 13 kg/ha/anno di NO₂, 6 kg/ha/anno di SO₂ e 45 kg/ha/anno di O₃ (Marando *et al.* 2016; Song *et al.* 2016; Fusaro *et al.* 2017; Eom *et al.* 2017; Nowak *et al.* 2018).

Città

In Italia (Cittalia 2010), le emissioni medie di CO₂eq di una città metropolitana risultano pari a 1261000 t all'anno (equivalenti a 51 t/ha/anno), alle quali corrisponde un valore di emissione medio annuo pro capite di 1,805 t.

Per il calcolo delle emissioni sono stati considerati:

- il consumo di gas domestico, che rappresenta il 37,7% del totale;
- i consumi di energia elettrica a livello domestico, che pesano per un 30,8%;
- il trasporto privato di persone, pari al 31,2% del totale;
- la produzione e il trattamento dei rifiuti (0,3% del totale).

Uno studio condotto a livello mondiale (C40 Cities 2018), che considera molti più parametri (emissioni relative a: realtà domestiche, aree commerciali, servizi pubblici, trasporti pubblici e privati, rifornimento di cibo, ristoranti, hotel, aree ricreative e culturali, vestiti, comunicazioni, salute, educazione), stima per le città europee delle emissioni medie pro capite di circa 12 t all'anno.

Riguardo alle emissioni di inquinanti in ambito urbano, dai dati ISPRA 2015 si sono ricavati i seguenti valori medi annui: 395 t PM10, 2973 t NO_x, 626 t SO_x, 8744 t CO. Le aree verdi in ambito urbano hanno la capacità di sequestrare ogni anno circa 3 t di CO₂ per ogni ettaro. L'assorbimento di inquinanti atmosferici da parte del verde risulta molto più variabile, ma valori intorno a 25 kg/ha sembrano attendibili (Nowak 1994; Scott *et al.* 1998; Selmi *et al.* 2016).

I dati ISTAT (2016) comunicano che in Italia le aree a verde nelle città occupano mediamente il 2,7% della superficie del territorio.

Industria

Dai dati IRSE (2010) della Regione Toscana si ricava che l'intero comparto industriale della Regione presenta i seguenti valori annuali di emissione in atmosfera:

CO	20 967 t/anno
CO₂	13 272 178 t/anno
NO_x	11 531 t/anno
PM10	2 318 t/anno
SO_x	7 848 t/anno
CO₂eq	13 367 569 t/anno

Sono stati quindi determinate le emissioni in atmosfera relative al settore industriale della sola Provincia di Pistoia:

	t/anno	% emissioni Pistoia sul totale Regione Toscana
CO	104	0,5
CO₂	201835	1,5
NO_x	406	3,5
PM10	26	1,1
SO_x	457	5,8
CO₂eq	202772	1,5

Considerando che nella Provincia di Pistoia, le aree commerciali e industriali occupano 1475 ha, pari all'1.53% della superficie provinciale complessiva, questo dato è stato utilizzato per stimare le emissioni di inquinanti per unità di superficie per il settore industriale:

	kg/ha/anno emissioni aree industriali Provincia di Pistoia
CO₂	136 831
CO₂eq	137 466
CO	71
NO_x	275
PM10	18
SO_x	310

PIANTE PER IL CONTENIMENTO DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO

L'utilizzo di fasce di vegetazione lungo le strade rappresenta una possibile soluzione per l'attenuazione dei rumori. Nel fenomeno di attenuazione del rumore oltre all'effetto della distanza fra la sorgente e il ricevente (la cosiddetta attenuazione normale), la presenza di elementi vegetali introduce anche fenomeni di assorbimento e, soprattutto, di diffusione delle onde sonore.

Esiste una correlazione diretta fra attenuazione del rumore e spessore, lunghezza e altezza della barriera vegetale. In generale fasce di vegetazione con spessore di 30 m o superiore sono capaci di ridurre in modo significativo il rumore: secondo i dati riportati in letteratura da 4 – 8 dB A fino a 10 dB A (Cook & Haverbeke 1992; Fang & Ling 2003, 2005; Van Renterghem *et al.* 2015). Se poi la stessa cintura verde viene collocata su un terrapieno allora l'abbattimento sonoro può raggiungere valori di 10 – 15 dB A (USDA). Una siepe di alberi e arbusti ben realizzata è in grado di attenuare l'inquinamento acustico di 0.1 – 0.2 dB per ogni metro di spessore (rispettivamente nel caso di rumori a bassa o ad alta frequenza).

Altri studi mostrano come una barriera di 20 – 30 m di spessore sia ottimale per ridurre il rumore da traffico (sia da auto che da veicoli pesanti) su una grande via di comunicazione in zona rurale. Il margine della siepe deve trovarsi a 15 – 25 m dal centro della carreggiata e gli alberi dovrebbero avere altezza di 14 m. Nel caso di una zona urbana, uno spessore di 6 – 15 m è sufficiente ad attenuare in modo significativo il rumore da traffico. Se si collocano arbusti di 2 – 2.5 m di altezza seguiti, in secondo piano, da una fila di alberi di 6 – 15 m di altezza si ottengono risultati ottimali. Sempre in ambito urbano, la distanza migliore tra la sorgente del rumore e la prima fila di arbusti è pari a 3 – 8

m. Nelle città una siepe di arbusti densi e alberi di moderata altezza risulta un'adeguata barriera al rumore.

È stato calcolato che una siepe con caratteristiche ottimali con spessore di 15 m attenua il rumore da traffico come una barriera artificiale antirumore rigida.

Riguardo alla scelta delle specie più idonee, gli arbusti ben ramificati e con fogliame denso forniscono ottimi risultati. Anche nel caso degli alberi, le specie alte, con fogliame denso e coriaceo e distribuzione verticale uniforme delle foglie sono quelli più efficienti. Una barriera pluristratificata, con una combinazione di arbusti più bassi e alberi è capace di attenuare al meglio il rumore. La creazione di una barriera il più possibile densa e continua rappresenta comunque l'aspetto fondamentale. Per questo le specie sempreverdi o a foglie persistenti risultano tra le più funzionali. È da considerare che in generale le foglie sono capaci di attenuare i rumori con frequenza superiore a 1000 – 2000 Hz.

La lunghezza della siepe deve essere, naturalmente, pari a quella della strada nei confronti della quale si vuole ottenere protezione (nel senso che per avere attenuazione, il ricevitore del rumore non deve mai vedere le automobili. La barriera vegetale non è in grado di interferire con le onde sonore che con traiettoria obliqua raggiungono il ricevitore). Nel caso in cui il ricevitore sia puntuale, la lunghezza della siepe deve essere almeno il doppio della distanza fra sorgente del rumore e ricevitore. Nei casi in cui non sia possibile usare alberi per motivi di altezza non si deve dimenticare che anche una soluzione di specie erbacee combinate con arbusti crea una superficie soffice in grado di attenuare in modo più che soddisfacente il rumore (Cook & Haverbeke 1992; Fang & Ling 2003, 2005; RISVEM 2008; Van Renterghem *et al.* 2015).

BIBLIOGRAFIA

- APAT. 2002. Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia. Rapporti 21/2002.
- Baraldi Rita, Facini Osvaldo, Neri Luisa, Carriero Giulia. 2018. Relazione Parco Storico Bosco Albergati. Gruppo di Ricerca IBIMET-CNR. <https://www.boscoalbergati.it/wp-content/uploads/2018/10/IBIMET-CNR-Relazione-BOSCO-ALBERGATI-25-07-18.pdf>
- Benincà Gino, De Franceschi Giacomo. 2017. Regolamento per la quantificazione delle misure di compensazione delle emissioni di gas climalteranti degli allevamenti zootecnici intensivi.
- Buffoni A., Toccafondi P., Pinzauti S. Progetto di fattibilità di un sistema del verde di mitigazione da inquinamento. Comune di Forlì, settore Ambiente.
- Burgo Group S.p.A. 2018. Dichiarazione Ambientale: Cartiera di Toscolano – Cartiera di Verzuolo – Cartiera di Villorba. Triennio 2018–2020.
- C40 Cities. 2018. Consumption-based GHG emissions of C40 cities.
- Caserini Stefano, Baglione Paola, Cottafava Dario, Gallo Michela, Laio Francesco, Magatti Giacomo, Maggi Valter, Maugeri Maurizio, Moreschi Luca, Perotto Eleonora, Pizzol Lisa, Semenzin Elena, Senese Antonella. 2019. Ingegneria dell’Ambiente, **6** (1): 43–59.
- Cittalia. 2010. Rapporto Cittalia 2010. Anticipazioni. Due campi di calcio a testa per ridurre l’inquinamento di CO₂ dei cittadini nelle aree metropolitane.
- Comune di Caorso. Valutazione emissioni di CO₂ ed opere compensative. PUA – Area di Trasformazione P05 –Sub Comparto A Lotto C – Mercedes Benz Italia S.p.A.
- Comune di Carimate. 2017. Relazione agronomica abaco delle essenze.
- Comune di Pistoia. 2017. Aggiornamento del Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU) e definizione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS).
- Cook David I., Haverbeke David F. 1971. Trees and Shrubs for Noise Abatement. Historical Research Bulletins of the Nebraska Agricultural Experiment Station (1913–1993)
- CRPA. 2013. Emissioni in atmosfera: l’impronta che non si vede. Programma di sviluppo rurale dell’Emilia Romagna 2007-2013.
- Desjardins R.L., Worth D.E., Vergé X.P.C., VanderZaag A., Janzen H., Kroebel R., Maxime D. Smith W., Grant B., Pattey E., Dyer J.A. Carbon Footprint of Agricultural Products - A Measure of the Impact of Agricultural Production on Climate Change. Agriculture and Agri-food Canada.
- Eom Ji-Young, Jeong Seok-Hee, Lee Jae-Seok. 2017. Assessment of absorption ability of air pollutant on forest in Gongju-city. Journal of Ecology and Environment 41:41.
- Fang, C.F., Ling, D.L. 2003. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. Landscape Urban Plan. **63** (4): 187–195.
- Fang, C.F., Ling, D.L. 2005. Guidance for noise reduction provided by tree belts. Landscape Urban Plan. **71**: 29–34.
- Ferrini F. 2009. L'albero in città: risorsa o criticità? https://www.ilverdeeditoriale.com/pdf_verde/Albero%20in%20citt%C3%A0%202009.pdf

Fusaro Lina, Marando Federica, Sebastiani Alessandro, Capotort Giulia, Blasi Carlo, Copiz Riccardo, Congedo Luca, Munafò Michele, Ciancarella Luisella, Manes Fausto. 2017. Mapping and Assessment of PM10 and O₃ Removal by Woody Vegetation at Urban and Regional Level. *Remote Sens.* **9**: 791.

IBIMET–CNR. Forestazione urbana: schede. <http://www.bo.ibimet.cnr.it/repository/forestazione-urbana-schede/view>

Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government, 2016. Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866.

IRSE. 2010. Settore Energia, tutela della qualità dell'aria e dall'inquinamento elettromagnetico e acustico: Inventario regionale delle sorgenti di emissione in aria ambiente – IRSE aggiornamento all'anno 2010. Regione Toscana, Direzione Generale Politiche Territoriali Ambientali e per la Mobilità. <http://www.regione.toscana.it/-/inventario-regionale-sulle-sorgenti-di-emissione-in-aria-ambiente-irse>

ISPRA. 2018. Tabella dei parametri standard nazionali per il monitoraggio e la comunicazione dei gas a effetto serra ai sensi del Decreto Legislativo n. 30 del 2013.

ISTAT. 2016. Statistiche focus – Verde urbano anno 2014. <https://www.istat.it/it/archivio/186267>

Jersey Mode S.p.A. 2015. Dichiarazione ambientale. Regolamento CE n°1221/2009.

Kim G. 2016. Assessing Urban Forest Structure, Ecosystem Services, and Economic Benefits on Vacant Land. *Sustainability*, **8**: 679.

Konarska Janina, Uddling Johan, Holmer Björn, Lutz Martina, Lindberg Fredrik, Pleijel Håkan, Thorsson Sofia. 2015. Transpiration of urban trees and its cooling effect in a high latitude city. *Int J Biometeorol.* DOI 10.1007/s00484-015-1014-x

Lazzerini G., Lucchetti S., Nicese F.P. 2014. Analysis of greenhouse gas emissions from ornamental plant production: A nursery level approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, **13**: 517–525.

Lorenz K., Lal R. 2010. *Carbon Sequestration in Forest Ecosystems*. Springer.

Marando Federica, Salvatori Elisabetta, Fusaro Lina, Manes Fausto. 2016. Removal of PM10 by Forests as a Nature-Based Solution for Air Quality Improvement in the Metropolitan City of Rome. *Forests* **7**: 150.

MIT. Costo chilometrico medio relativo al consumo di gasolio delle imprese di autotrasporto per conto terzi. <http://www.mit.gov.it/documentazione/autotrasporto-merci-conto-di-terzi-valori-indicativi-di-riferimento-dei-costi-di>

Nicese F.P., Lazzerini G. 2013. CO₂ Sources and Sink in Ornamental Plant Nurseries. Proc. II IS on Woody Ornamentals of the Moderate Zone. *Acta Hort.* **990**, ISHS 2013.

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. 63–82.

Nowak D.J., Crane D.E. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution* **116**: 381–389.

Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening* **4**, 115–123.

Nowak David J., Greenfield Eric J., Hoehn Robert E., Lapoint Elizabeth. 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, **178**: 229–236.

Nowak David J., Heisler Gordon M. 2010. Air Quality Effects of Urban Trees and Parks. National Recreation and Park Association: Research Series | 2010.

Nowak David J., Hirabayashi Satoshi, Doyle Marlene, McGovern Mark, Pasher Jon. 2018. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening* **29**: 40–48.

Nowak David J., Hoehn Robert, Crane Daniel E. 2007. Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*, **33** (3): 220–226.

Ntinasa Georgios K., Neumaira Maximilian, Tsadilas Christos D., Meyer Joachim. 2016. Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.106

Paoletti Elena, Bardelli Tommaso, Giovannini Gianluca, Pecchioli Leonella. 2011. Air quality impact of an urban park over time. *Procedia Environmental Sciences*, **4**: 10–16.

Politec Technology Srl. 2017. Calcolo della carbon footprint per l'abbattimento delle emissioni tramite piantumazione.

Progetto GAIA: <http://lifegaia.eu/>

Progetto Qualiviva: <http://www.vivaistiitaliani.it/qualiviva/consultazione-shede-tecniche>

PSR Umbria. Realizzazione di un modello per la quantificazione della riduzione di CO₂ in agricoltura. PSR Umbria 2007-2013 asse 1 mis. 124; Cooperazione per lo sviluppo dei nuovi prodotti, processi e tecnologie nei settori agricolo e alimentare e in quello forestale.

Regione Toscana. Linee Guida per la messa a dimora di specifiche specie arboree per l'assorbimento di biossido di azoto, materiale particolato fine e ozono. http://www.regione.toscana.it/documents/10180/4058647/Allegato+1+Linea+guida+Piantumazione+31_10_2018.pdf/c99d86e0-811d-44da-836e-adb6f255f28c

RISVEM. 2008. Manuale RISVEM. Linee guida tecnico-operative per la pianificazione, progettazione realizzazione gestione di spazi verdi multifunzionali.

Ronga Domenico, Galligani Tommaso, Zaccardelli Massimo, Perrone Domenico, Francia Enrico, Milc Justyna, Pecchioni Nicola. 2019. Carbon footprint and energetic analysis of tomato production in the organic vs the conventional cropping systems in Southern Italy. *Journal of Cleaner Production* **220**: 836–845.

Scarfò F., Mercurio R. 2009. Il calcolo dei crediti di carbonio: il modello CO2FIX v. 3.1 applicato ad una faggeta sotto Forest Management nel sud Italia. *Forest@* **6**: 215–228.

Scott Klaus I., McPherson E. Gregory, Simpson James R. 1998. Air Pollutant Uptake by Urban Forest. *Journal of Arboriculture*, **24** (4): 224–234.

Scott Klaus I., McPherson E. Gregory, Simpson James R. 1998. Air pollutant uptake by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* **24** (4): 224–324.

Selmi Wissal, Weber Christiane, Rivière Emmanuel, Blond Nadège, Mehdi Lotfi, Nowak David. 2016. Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry & Urban Greening* **17**: 192–201.

Solazzo Roberto, Tomasi Licia, Donati Michele, Arfini Filippo. 2015. Il contributo del Greening alla riduzione delle emissioni di CO₂. *Agriregionieuropa*, **11** (41).

Song Cholho, Lee Woo-Kyun, Choi Hyun-Ah, Kim Jaeuk, Jeon Seong Woo, Kim Joon Soon. 2016. Spatial assessment of ecosystem functions and services for air purification of forests in South Korea. *Environmental Science & Policy* **63**: 27–34.

USDA. GUIDELINES / 6.0 Aesthetics & Visual Quality. 6.4 Buffers for Noise Control. https://www.fs.usda.gov/nac/buffers/guidelines/6_aesthetics/4.html

Van Renterghem Timothy, Attenborough Keith, Jean Philippe. 2015. Designing vegetation and tree belts along roads. *Environmental methods for transport noise reduction*, eds. M. E. Nilsson, R. Klæboe, and J. Bengtsson Oxford, U.K.: Spon Press 2014.

Wang P., Deng X., Zhou H., Yu S. 2018. Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, **209**.

Zirkle G., Lal Rattan, Augustin Bruce, Follett R. 2012. Modeling Carbon Sequestration in the U.S. Residential Landscape. In: Lal R., Augustin B. (Eds), *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*. Springer, pp. 265–276.

Gruppo di Lavoro

Cesaf – Centro servizi agro ambientali e forestali - Pistoia

Dott. Federico Di Cara

Ordine dottori agronomi e forestali Pistoia n°163

Dott.ssa Simona Giorgini

Ordine dottori agronomi e forestali Pistoia n°162

Dott.ssa Alexandra Munzi

Laureata in Medicina delle piante

Dott. Giulio Lotti

Ordine dottori agronomi e forestali Pistoia n°136