

SERVIZI ECOSISTEMICI:

Quantificazione e valutazione dei servizi ecosistemici prodotti dagli alberi e dal “verde orizzontale” del territorio comunale di Brescia



ETIFOR
valuing nature

www.etifor.com

Quantificazione e valutazione dei servizi ecosistemici prodotti dagli alberi e dal “verde orizzontale” del territorio comunale di Brescia

Giulia Amato
Juan Diego Restrepo

Etifor | Valuing Nature

Aprile 2024

Sommario

Riassunto	4
Introduzione	5
Caratterizzazione degli alberi di Brescia.....	7
Valutazione dei servizi ecosistemici	9
1. Servizio ecosistemico: Stoccaggio del carbonio atmosferico	9
2. Servizio ecosistemico: Produzione di ossigeno	13
3. Servizio ecosistemico: Rimozione degli inquinanti atmosferici.....	14
4. Servizio ecosistemico: Regolazione della temperatura	19
5. Servizio ecosistemico: Protezione idrogeologica	21
6. Servizio ecosistemico: Qualità dell'habitat	23
7. Servizio ecosistemico: Valore ricreativo e sociale.....	29
Sintesi dei risultati per tutti i servizi ecosistemici considerati.....	35
Discussione e conclusioni	40
Bibliografia	43
Appendice: Valori medi di rimozione inquinanti, sequestro del carbonio e produzione di ossigeno per specie e classe di diametro.....	45

Lista figure

Figura 1. Alberi del Comune di Brescia divisi per specie	7
Figura 2. Classi di diametro degli alberi comunali	8
Figura 3. Capacità di sequestro degli alberi comunali.....	12
Figura 4. Mappe delle minacce utilizzate per l'analisi di qualità dell'habitat. a) Rete stradale, b) Agricoltura, c) Infrastrutture.....	24
Figura 5. Diagramma di flusso delle fasi metodologiche per la valutazione della ricreazione	30
Figura 6. Contributo di ciascun servizio ecosistemico al valore economico totale della valutazione.....	36
Figura 7. Valore attuale dei servizi ecosistemici su un orizzonte temporale infinito	38
Figura 8. Distribuzione percentuale del valore dei servizi ecosistemici analizzati per l'area urbana di Torino	41

Lista tabelle

Tabella 1. Quadro d'insieme delle emissioni a livello comunale	13
Tabella 2. Costi evitati del servizio di Rimozione degli inquinanti atmosferici per diverse tipologie di inquinanti ...	15
Tabella 3. Risultati della valutazione economica del servizio di Rimozione degli inquinanti atmosferici	15
Tabella 4. Confronto con le emissioni a livello comunale (dati di emissioni presi da INEMAR, 2021).....	16
Tabella 5: Valori medi di assorbimento di inquinanti, sequestro di carbonio e produzione di ossigeno per le 20 specie più presenti.	18
Tabella 6. Risultati della valutazione del servizio ecosistemico di Protezione idrogeologica	22
Tabella 7. Minacce individuate per la valutazione del servizio di qualità dell'habitat e relative caratteristiche.	24
Tabella 8. Punteggio della sensibilità di ogni habitat alle minacce individuate.....	25
Tabella 9. Valori economici unitari del servizio Qualità degli habitat, per tipologia di trasformazione d'uso del suolo.	27
Tabella 10. Punteggio relativo all'uso del suolo	30
Tabella 11. Aspetti naturali considerati	31
Tabella 12. Punteggi per il verde urbano	32
Tabella 13. Aspetti considerati per il punteggio dell'Accessibilità.....	32
Tabella 14. Aspetti considerati per il punteggio della Fruibilità.....	33
Tabella 15: ROS medio per uso del suolo.....	34
Tabella 16. Riassunto con la valutazione dei servizi ecosistemici.....	35
Tabella 17. Confronto tra il valore economico generato dal verde urbano totale e dal verde pubblico	36
Tabella 18. Valore dei benefici del verde urbano (totale e pubblico) per cittadino di Brescia.....	37

Riassunto

Il presente report è realizzato da Etifor | Valuing Nature nell'ambito della redazione del "Piano del verde e della biodiversità" del Comune di Brescia, finanziato con il "Programma sperimentale di interventi per l'adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano" del Ministero della Transizione Ecologica.

Questo documento presenta la valutazione di servizi ecosistemici selezionati forniti dal verde urbano del Comune di Brescia e va letto in continuità con gli altri elaborati del Piano del Verde e della Biodiversità, prodotti dal gruppo operativo di lavoro. Il rapporto presenta la valutazione di sette servizi ecosistemici, considerati tra i più importanti, forniti dal verde urbano pubblico e privato della città, vale a dire: stoccaggio del carbonio atmosferico, produzione di ossigeno, rimozione degli inquinanti atmosferici, regolazione della temperatura, tutela idrogeologica, qualità dell'habitat, valore ricreativo e sociale.

La valutazione dei servizi ecosistemici è stata effettuata attraverso diverse metodologie estimative, tra cui valori di mercato, costi di sostituzione e Benefit transfer.

Si prevede che la valutazione dei servizi ecosistemici del verde urbano di Brescia costituirà una componente importante del Piano del Verde e della Biodiversità, e che questo a sua volta stabilirà uno strumento che consenta la pianificazione del verde urbano in un'ottica di adattamento ai cambiamenti climatici e di rafforzamento della sua struttura ecologica principale.

Introduzione

Nel 2018, metà della popolazione mondiale viveva nelle città. Si prevede che questa percentuale aumenterà ancora, raggiungendo il 60% nel 2030 (ONU, 2018). Le città sono insediamenti in cui gli effetti dei cambiamenti climatici tendono a farsi sentire maggiormente, espressi in ondate di caldo, impatti delle inondazioni e perdita di biodiversità (IPCC, 2019). È essenziale che le città aumentino la loro capacità di adattarsi ai cambiamenti climatici, aumentando il contributo della struttura e della funzione dell'ecosistema al benessere umano. In altre parole, le città devono aumentare la fornitura dei cosiddetti servizi ecosistemici.

I servizi ecosistemici influiscono fortemente sulla qualità della vita umana (Burkhard & Maes, 2017). Negli ambienti urbani, la principale struttura ecologica per fornire servizi ecosistemici sono le infrastrutture verdi. Queste comprendono il complesso della vegetazione urbana e tipicamente includono elementi come foreste urbane, parchi, giardini, cortili e singoli alberi (Konijnendijk et al., 2006). Questi elementi possono essere considerati, in sostanza, il verde urbano di una città e costituiscono componenti fondamentali che meritano un'adeguata pianificazione e gestione.

Tuttavia, la valutazione dei servizi ecosistemici forniti dal verde urbano, intesa come quantificazione dei benefici che esso dà ai cittadini, sia a livello biofisico che economico, è rimasta nei limiti della ricerca scientifica ed è stata poco diffusa verso la cittadinanza (Schröter et al., 2017). Diffondere l'importanza del verde urbano, così come comprendere le esperienze dei fruitori di questi spazi, sono essenziali per creare una città in cui il suo verde urbano sia pensato sia per rispondere alle priorità ecologiche, sia per aumentare la percezione dei suoi benefici da parte dei cittadini (Buchel & Frantzeskaki, 2015).

Il presente report è realizzato da Etifor | Valuing Nature nell'ambito della redazione del "Piano del verde e della biodiversità" del Comune di Brescia, finanziato con il "Programma sperimentale di interventi per l'adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano" del Ministero della Transizione Ecologica. Il report presenta la valutazione di servizi ecosistemici selezionati forniti dal verde urbano del Comune di Brescia e va letto in continuità con gli altri elaborati del Piano del Verde, prodotti dal gruppo operativo di lavoro, che coinvolge oltre al Comune di Brescia anche ERSAF Lombardia (coordinatore) e lo Studio di architettura Gioia Gibelli.

Il rapporto presenta la valutazione di sette servizi ecosistemici, considerati tra i più importanti, forniti dal verde urbano pubblico e privato della città. La valutazione è effettuata sotto due aspetti: *(i)* dal punto di vista biofisico, ossia stimando la quantità di ciascun servizio ecosistemico fornito dal verde urbano; *(ii)* dal punto di vista economico, cioè stimando il valore in termini monetari dei servizi ecosistemici selezionati di cui al punto precedente. La valutazione dei servizi ecosistemici è stata effettuata mediante metodologie basate sul costo (valori di mercato e costi di sostituzione) e, in alcuni casi, attraverso il Benefit transfer.

Vale la pena fare alcune considerazioni per un'adeguata lettura dei risultati di seguito riportati. La prima considerazione è che tutti i valori indicati sono da considerarsi definiti annualmente. Questo perché nell'approccio attuale si parla di servizi ecosistemici, considerati un flusso nel tempo, e non uno stock, che può essere chiamato Capitale Naturale. La seconda considerazione è che le valutazioni riportate di seguito presentano limitazioni dovute alle metodologie selezionate, alle fonti di dati e alla complessa natura intrinseca dei modi in cui la società trae beneficio dalla natura, ovvero i servizi ecosistemici. Ciò significa che la valutazione riportata di seguito non intende monetizzare i servizi qui analizzati, ma piuttosto riflettere, per quanto possibile, il beneficio che essi generano per la società.

Il rapporto è strutturato in quattro capitoli. Oltre a questo capitolo introduttivo, il secondo capitolo offre una breve caratterizzazione degli alberi del Comune di Brescia, in base alle specie e alle classi di diametro. Il terzo capitolo costituisce il corpo principale del rapporto e contiene la valutazione di ciascun servizio ecosistemico con la relativa metodologia e i risultati. Il quarto capitolo contiene una breve discussione e le conclusioni.

Caratterizzazione degli alberi di Brescia

Gli alberi svolgono un ruolo fondamentale all'interno delle aree verdi urbane: apportano numerosi benefici cruciali per il benessere umano e dell'ambiente. Agiscono come purificatori naturali dell'aria, trattenendo inquinanti nocivi e rilasciando ossigeno, migliorando così la qualità dell'aria; offrono ombra, riducendo l'effetto isola di calore urbana e mitigando gli impatti del caldo estremo (Barron et al., 2016). Inoltre, la loro presenza promuove la biodiversità, fornendo habitat per flora e fauna diverse.

Di seguito una caratterizzazione degli alberi presenti nel Comune di Brescia (Figura 1), basata sui dati disponibili a novembre 2023 negli archivi comunali. La componente arborea bresciana è costituita da un'importante diversità di specie, tra le quali spiccano tra gli altri il tiglio nostrano (*Tilia platyphyllos*), il frassino comune (*Fraxinus excelsior*) e il bagolaro (*Celtis australis*). Le specie con frequenza inferiore al 2,9% sono indicate, nel grafico, con la generica indicazione "Other".

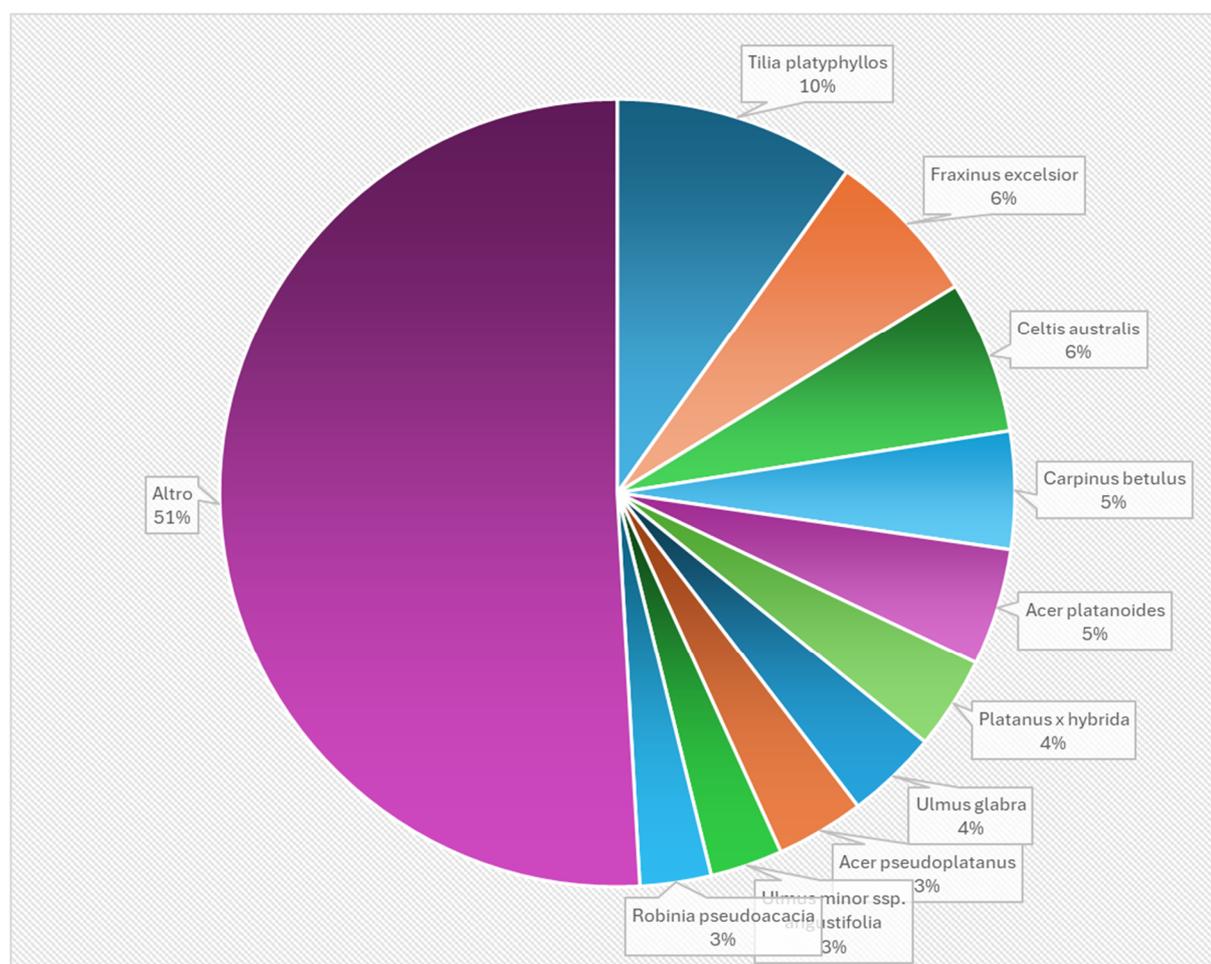


Figura 1. Alberi del Comune di Brescia divisi per specie

Per quanto riguarda le classi di diametro degli alberi nel Comune, quasi il 50% ha un diametro compreso tra 6 e 12 pollici (15 e 30 cm), come mostrato nella Figura 2. Questi dati riflettono una possibile contemporaneità degli individui all'interno della stessa classe di diametro, che potrebbero anche trovarsi ancora in fasi iniziali di crescita oppure appartenere a specie con modesta crescita o a portamento arbustivo. Sembra dunque che circa la metà degli alberi del Comune siano giovani e potrebbero essere stati piantati in un periodo simile.

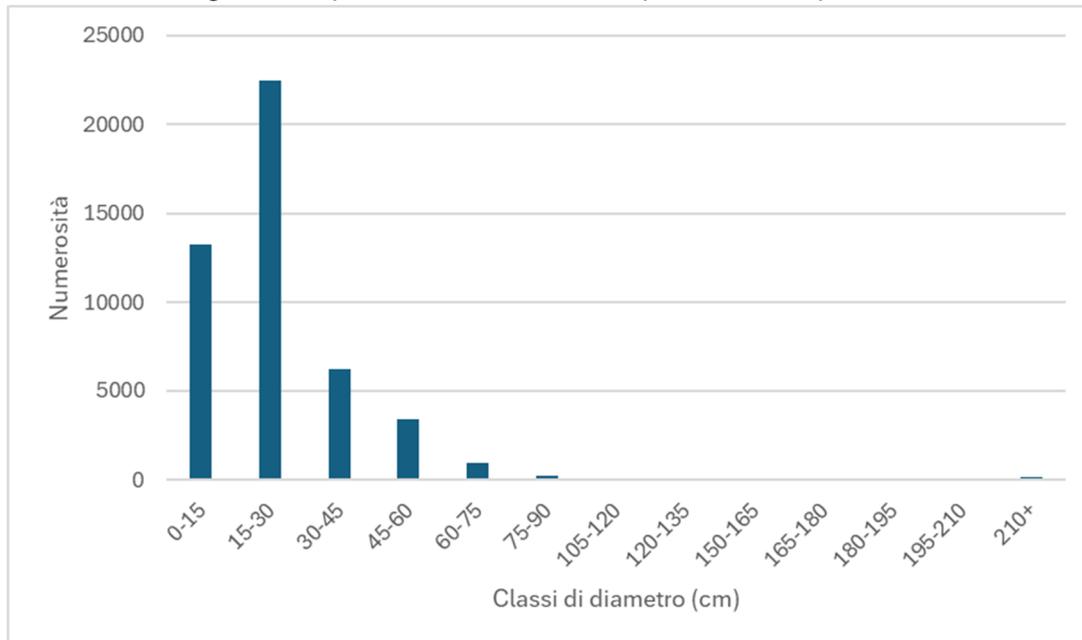


Figura 2. Classi di diametro degli alberi comunali (in centimetri)

Valutazione dei servizi ecosistemici

Gli approcci per la valutazione dei servizi ecosistemici basati sul più probabile valore di mercato partono dal presupposto che i prezzi di mercato rappresentano, in condizioni di mercato perfetto, il punto d'incontro tra domanda e offerta. Pertanto, tali prezzi sono considerati una rappresentazione adeguata del valore dei servizi ecosistemici con mercati preesistenti, presupponendo che il mercato non sia distorto e che i prezzi siano liberamente attribuiti (FAO et al., 2021). Ogni qual volta sia possibile fare riferimento a un prezzo di mercato è consigliabile utilizzare tale valore come benchmark per la stima di un determinato servizio.

Laddove non esistano prezzi espliciti relativi a un determinato servizio ecosistemico è possibile invece stimare il valore dello stesso con approcci "cost-based". Ad esempio, il valore di un servizio ecosistemico può essere considerato pari al costo della sua produzione o, meglio, al costo di produzione dell'ecosistema in grado di assicurare l'erogazione del servizio in oggetto. Alternativamente è possibile considerare il costo di sostituzione di un bene, vale a dire il costo che deve essere sostenuto per realizzare misure artificiali in grado di sostituire il bene oggetto di analisi, assicurando tuttavia la medesima funzione (TEEB, 2010). Ad esempio, i costi di trattamento e depurazione delle acque sostenuti in assenza di servizi di depurazione forniti dalle foreste possono essere utilizzati per stimare il valore di tali servizi (FAO et al., 2021).

Infine, il Benefit transfer comprende metodi che si basano sull'uso dei risultati provenienti da studi primari preesistenti relativamente a uno o più siti per prevedere le stime relative ad altri siti analoghi. La metodologia consente di trasferire i risultati di uno studio pregresso realizzato in un determinato contesto (*study site*) e di adattarli, con opportuni metodi e criteri, alla situazione di interesse (*policy site*). Questo metodo è particolarmente utile quando la raccolta di dati primari risulta eccessivamente complessa o costosa o vi siano altri vincoli temporali e di natura tecnica (FAO et al., 2021).

1. Servizio ecosistemico: Sequestro del carbonio atmosferico

1.1. Metodologia

Il servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio indica il processo di diminuzione del carbonio dall'atmosfera che viene immagazzinato in diversi serbatoi nella superficie terrestre (Bera et al., 2022). Gli alberi svolgono un ruolo importante in questo servizio, poiché sottraggono CO₂ dall'atmosfera attraverso la fotosintesi, sequestrandola sotto forma di biomassa e carbonio nel suolo (Green & Keenan, 2022). Per la stima del servizio di sequestro del carbonio si è operato con l'obiettivo di ottenere un dato che fosse il più verosimile possibile, sfruttando le diverse fonti di informazioni presenti a livello comunale. In particolare, sono state usate e integrate due differenti metodologie, ossia:

- per la valutazione del verde verticale (alberi), in particolare per la porzione presente nei database comunali *s_alberate_inventario* e *s_alberi* con indicazione della specie, si è fatto riferimento al tool di calcolo i-Tree Eco, che permette di calcolare il contributo di sequestro di carbonio per singolo albero;

- per le aree a verde per le quali non era invece disponibile l'informazione rispetto agli alberi presenti, si è fatto riferimento alla carta dell'uso del suolo e ad una capacità di rimozione tipica, calcolata da letteratura.

Segue il dettaglio delle due metodologie utilizzate.

i-Tree Eco è un software *open-source* di proprietà dell'USDA Forest Service, che a partire da informazioni puntuali circa i singoli alberi (in particolare, ed almeno, informazioni su diametro e specie) è in grado di calcolare la capacità di assorbimento del carbonio. Lo stesso software permette altresì di calcolare il valore economico del servizio, utilizzando un prezzo di mercato deciso dall'utente per tonnellata di CO₂eq rimossa.

Per le aree verdi senza informazione sul numero di alberi presenti, sono stati stimati i tassi di sequestro del carbonio per gli usi del suolo del Comune di Brescia sulla base di informazioni secondarie tratte dalle linee guida di buone pratiche dell'IPCC (Penman, 2003).

I tassi di sequestro del carbonio atmosferico sono basati su una stima conservativa delle medie dei tassi nel corso dei loro cicli di vita; nell'analisi viene considerato solo il sequestro di carbonio derivante dall'accumulo di biomassa vivente (sopra e sotto il livello del suolo, vale a dire fusto e apparato radicale delle piante). Gli altri principali pool di carbonio (lettiera e detriti, carbonio organico del suolo) non sono inclusi nell'ambito della stima per mantenere un approccio conservativo. Il rapporto tra la massa molecolare di CO₂ e la massa dell'atomo di C (CO₂:C) è pari a 3,66: questo significa che per ogni tonnellata di carbonio immagazzinato nella biomassa viene sequestrato un equivalente di 3,66 tonnellate di CO₂.

1.2. Applicazione

Per lavorare in i-Tree bisogna innanzitutto configurare il progetto. A tale scopo sono state inserite le informazioni richieste circa la localizzazione dello studio, la popolazione interessata, i dati meteo e di inquinamento da considerare; è stato inoltre definito il tipo di progetto (inventario completo) e i dati a disposizione (diametro, specie e *land use*).

Successivamente si è passati alla omologazione dei dati disponibili per renderli adatti ad essere analizzati mediante i-Tree. In particolare:

- sono state unite le informazioni dei diversi database presenti in un unico shapefile, eliminando i doppietti presenti;
- sono stati rimossi gli alberi abbattuti;
- è stato attribuito agli alberi il campo di *land use* (derivato dalla carta dell'uso del suolo);
- sono stati corretti i diametri evidentemente sbagliati ed è stato attribuito un diametro medio (0,26 m) per gli alberi privi di informazione;
- sono state verificate e uniformate le informazioni rispetto alle specie presenti, per far corrispondere i sinonimi e allinearle a quanto richiesto da i-Tree;

Lo shapefile così costruito (costituito da 46.920 alberi) è stato aggiunto in i-Tree per il calcolo come file .csv.

Per quanto riguarda la stima tramite poligoni, invece, è stato stimato il tasso annuo di sequestro di carbonio in tCO₂eq per unità di superficie (ha) in base alla categoria di uso del suolo. Una volta ottenuto il valore biofisico ed economico del sequestro di carbonio per singolo poligono, tali valori sono stati uniti a quelli dei singoli alberi, ottenendo un'informazione completa a livello comunale.

Per quanto riguarda la stima economica del servizio, è stato stimato il valore economico delle tonnellate di CO₂ prodotte dalla vegetazione. Il prezzo medio di una tonnellata di carbonio varia a seconda del mercato di riferimento. Alcuni prezzi di riferimento sono:

- 7,7€/tCO₂eq per progetti di compensazione internazionali (Ecosystem Marketplace, 2021);
- 17,8 €/tCO₂eq per progetti di rimozione della CO₂ (The World Bank, 2022)
- 88,9 €/tCO₂eq il prezzo corrente di una tonnellata nel mercato EU-ETS (Trading Economics, 2023)
- 100+ €/tCO₂eq se consideriamo i prezzi medi a cui sono venduti i progetti di riforestazione in Italia¹

Considerando la variabilità di questi valori e utilizzando un parere esperto, si è deciso di prendere un valore medio pari a 60 €/tCO₂ (pari a 16,35 €/ton di carbonio).

1.3. Risultati

Il risultato della stima per singoli alberi mostra una capacità di sequestro dato dalla vegetazione verticale pari a 1.810,14 tonnellate all'anno, che corrispondono a 108.609 €/anno. Il contributo per specie (con riferimento solo ad alberature e parchi, quindi esclusi i boschi) è evidente in Figura 3, che restituisce informazioni per le 20 specie che più contribuiscono a livello comunale. Da tale immagine si capisce che i tigli da soli contribuiscono al 15% del sequestro totale (esclusi i boschi).

¹ wownature.eu

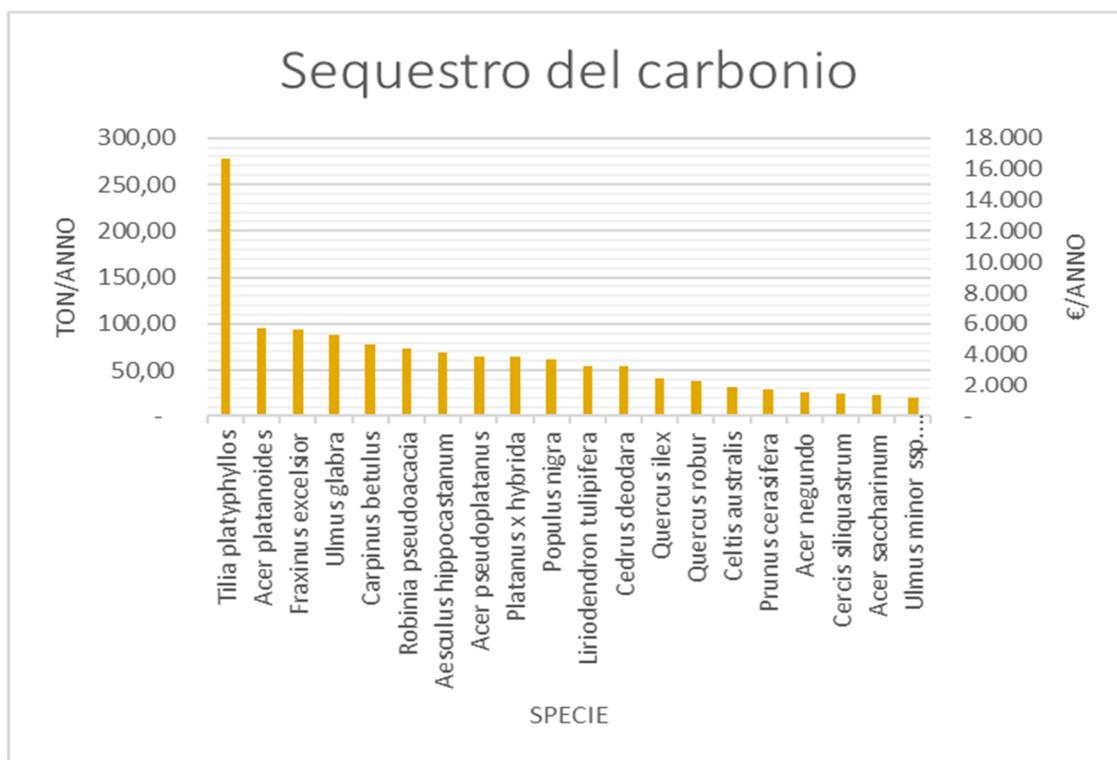


Figura 3. Capacità di sequestro degli alberi comunali.

Unendo tali risultati con quelli derivanti dalla stima tramite poligoni perveniamo alla stima della quantità di carbonio rimossa in totale a livello comunale. Tale dato è di **44.667 tonCO₂/anno**, per un valore economico totale pari a **2.680.040 €/anno**.

Si sottolinea che in questo caso, come per altri servizi ecosistemici, si è riportato qui una semplificazione del calcolo eseguito, che ha richiesto di approssimare le cifre al secondo decimale; i calcoli sottesi dalla presente sintesi, tuttavia, hanno considerato più elementi che hanno condotto ai risultati numerici presentati, che è stato deciso di conservare anche nella relazione, perché più accurati.

Confronto con le emissioni a livello comunale

L'analisi è stata completata dal confronto di questo dato con le emissioni a livello comunale, per comprendere quale sia il contributo relativo dato dalle aree verdi. La Relazione sullo Stato dell'Ambiente del Comune di Brescia (aggiornato a gennaio 2023) restituisce una situazione molto preoccupante rispetto alle emissioni, con un dato globale annuo di quasi 2 milioni di tonnellate emesse. Da tale raffronto risulta evidente che le aree verdi (che arrivano a sequestrare appena il **2,24%** delle emissioni) non sono sufficienti per far fronte al fenomeno, di fronte al quale una seria politica di decarbonizzazione (evitare e ridurre le emissioni, prima di compensarle) è indispensabile.

Infine, è stato effettuato un confronto tra la cattura del carbonio da parte del verde urbano con le emissioni annuali per cittadino, in argomenti come gli spostamenti in auto. Tale analisi è stata effettuata sulla base della banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia (ISPRA, 2023), che riporta un coefficiente medio di emissione dei veicoli pari a 0,16 kg di CO₂ per km percorso, e sui dati dei km percorsi pro capite da un cittadino medio (6.880 km/anno) presi dal rapporto UNRAE (2022). Tenendo conto di queste considerazioni, potrebbe farsi l'equivalenza che gli alberi di Brescia catturano le emissioni di CO₂ del traffico in auto di 41.000 cittadini all'anno.

Tabella 1. Quadro d'insieme delle emissioni a livello comunale

CO2	ton di CO2/anno
Emission Trading System (Sistema europeo di scambio di quote di emissione di gas a effetto serra)	359.503
Baseline Emission Inventory (BEI) e Monitoring Emission Inventory (MEI)	1.314.183
Trasporto extraurbano	321.555
Totale	1.995.242

2. Servizio ecosistemico: Produzione di ossigeno

2.1. Metodologia

Rispetto alle aree mediamente edificate, respirare in aree naturali con un contenuto atmosferico di ossigeno più elevato può portare all'uomo maggiori benefici per la salute, tra cui inibizione dell'inalazione di polveri sottili, regolazione della concentrazione di ossigeno e serotonina nel sangue e nel cervello, effetti sul sistema immunitario, migliorare le prestazioni neuropsicologiche e la qualità del sonno e alleviare i disturbi dell'umore e la depressione.

La produzione di ossigeno è una funzione svolta dalle piante perfettamente speculare, fisiologicamente, al sequestro di carbonio. Per questo motivo il contributo dato dal verde di Brescia si può calcolare a partire dalle informazioni raccolte su questo servizio ecosistemico (si veda Capitolo precedente).

In particolare, il valore biofisico della produzione di ossigeno si calcola attraverso questa formula:

$$tonO_2 = tonC * 32/12 = tonCO_2 * 0,727244$$

che sostiene che le tonnellate di ossigeno (tonO₂) corrispondono alle tonnellate di carbonio (tonC) moltiplicate per un fattore (32/12) che tiene conto della massa molecolare delle due molecole. Dal momento che una tonnellata di carbonio è pari a 0,27 tonnellate di anidride

carbonica (tonCO₂), ne deriva che una tonnellata di ossigeno (tonO₂) è pari ad una tonnellata di CO₂ moltiplicato per 0,727244.

Il valore economico della produzione di ossigeno è stato calcolato mediante il metodo del “costo di produzione”, ossia calcolando quanto costerebbe produrre una stessa quantità di ossigeno mediante altri mezzi di produzione (produzione industriale).

2.2. Applicazione

I risultati del servizio di sequestro di carbonio (descritti nel Capitolo precedente) sono stati convertiti in tonnellate di ossigeno prodotto secondo la formula sopra descritta.

Per quanto riguarda il valore economico, invece, dopo una ricerca di letteratura si è deciso di utilizzare i dati forniti dall’Agenzia Italiana del Farmaco (2022), che per il 2021 riporta un prezzo di 0,333041192 €/kg

2.3. Risultati

Convertendo i risultati della stima del carbonio rimossa in totale in quantità di ossigeno prodotto a livello comunale, otteniamo il risultato di **32.484 tonO₂/anno**, per un valore economico totale pari a **10.818.502 €/anno**.

Si sottolinea che in questo caso, come per altri servizi ecosistemici, si è riportato qui una semplificazione del calcolo eseguito, che ha richiesto di approssimare le cifre al secondo decimale; i calcoli sottesi dalla presente sintesi, tuttavia, hanno considerato più elementi che hanno condotto ai risultati numerici presentati, che è stato deciso di conservare anche nella relazione, perché più accurati.

3. Servizio ecosistemico: Rimozione degli inquinanti atmosferici

3.1. Metodologia

La rimozione degli inquinanti atmosferici ha seguito la stessa procedura utilizzata per il sequestro di carbonio (e la produzione di ossigeno), ossia mediante l’uso del software i-Tree, in cui a partire dai dati su diametro e specie si può calcolare il contributo per singolo albero. Per quanto riguarda la stima economica, si è fatto riferimento al “costo evitato” sulla salute pubblica e privata in ragione della ridotta mortalità e del minor numero di patologie causate dall’inquinamento atmosferico.

3.2. Applicazione

Le fasi applicative hanno seguito gli stessi step descritti per il servizio di sequestro di carbonio per quanto riguarda l’applicazione in i-Tree. Successivamente, per estendere la stima anche a quegli alberi che pur essendo mappati non avevano le informazioni necessarie per essere elaborati dal software, è stato calcolato il contributo per “albero medio” e tale dato è stato attribuito a tutti gli alberi privi di dettagli.

Per quanto riguarda i costi, ossia i danni evitati sulla salute, sono stati utilizzate due fonti principali di informazione: in alcuni casi, si è utilizzato i-Tree stesso (che a sua volta utilizza i dati forniti dal software *Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition*²); in altri casi, si è utilizzato un report realizzato da CE Delft a proposito dei costi esterni del trasporto in Europa³. I dati utilizzati e le loro fonti sono riportati in Tabella 2. Come si nota gli inquinanti hanno costi molto diversi, poiché differente è la gravità del loro impatto sulla salute.

Tabella 2. Costi evitati del servizio di Rimozione degli inquinanti atmosferici per diverse tipologie di inquinanti

Inquinante	€/kg	Fonte
Monossido di carbonio (CO)	0,99	i-Tree
Ozono (O3)	6,565	i-Tree
Biossido di azoto (NO2)	11,71	CE Delft
Anidride solforosa (SO2)	10,81	CE Delft
Polveri fini con diametro tra 2,5 e 10µ (PM10)	68,50	CE Delft
Polveri fini con diametro inferiore a 2,5µ (PM2.5)	171,44	CE Delft

3.3. Risultati

Sulla base della metodologia e dell'applicazione sopra descritte, i risultati relativi agli inquinanti sono descritti in Tabella 3.

Si sottolinea che in questo caso, come per altri servizi ecosistemici, si è riportato qui una semplificazione del calcolo eseguito, che ha richiesto di approssimare le cifre al secondo decimale; i calcoli sottesi dalla presente sintesi, tuttavia, hanno considerato più elementi che hanno condotto ai risultati numerici presentati, che è stato deciso di conservare anche nella relazione, perché più accurati.

Tabella 3. Risultati della valutazione economica del servizio di Rimozione degli inquinanti atmosferici

Inquinante	Valore biofisico (kg/anno)	Valore economico (€/anno)
Monossido di carbonio (CO)	904,66	901,95
Ozono (O3)	14.430,61	94.736,97

² <https://www.epa.gov/benmap>

³ van Essen, H.; Schroten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C. 2011. External Costs of Transport in Europe. Netherlands: CE Delft. 161 p.

Biossido di azoto (NO ₂)	7.141,02	83.674,79
Anidride solforosa (SO ₂)	782,02	8.458,85
Polveri fini con diametro tra 2,5 e 10 μ (PM10)	4.784,06	327.731,97
Polveri fini con diametro inferiore a 2,5 μ (PM2.5)	188,13	32.255,04
Totale		547.759,56

Dati interessanti emergono quando si confrontano i dati relativi alla rimozione degli inquinanti atmosferici dalle aree verdi del Comune di Brescia con le loro emissioni (Tabella 4). Per tutti gli inquinanti atmosferici, il contributo alla loro rimozione da parte del verde urbano è molto basso rispetto ai tassi di emissione comunale, con dati che non arrivano all'1% di contributi per tutti gli inquinanti eccetto per il PM10, che si attesta oltre il 3%.

Tabella 4. Confronto con le emissioni a livello comunale (dati di emissioni presi da INEMAR, 2021)

Inquinante	Valore biofisico (ton/anno)	Emissioni (ton/anno)	Contributo
Monossido di carbonio (CO)	0,905	3.313,20	0,03%
Ozono (O ₃)	14,431	4.721,20	0,31%
Biossido di azoto (NO ₂)	7,141	1.553,90	0,46%
Anidride solforosa (SO ₂)	0,082	245,10	0,03%
Polveri fini con diametro tra 2,5 e 10 μ (PM10)	4,784	141,00	3,39%
Polveri fini con diametro inferiore a 2,5 μ (PM2.5)	0,188	106,4	0,18%

Infine, analogamente al servizio di cattura del carbonio, è stato effettuato un confronto tra la cattura degli inquinanti da parte del verde urbano, nello specifico PM 2,5, con le emissioni annue per cittadino in termini di spostamenti in auto. Questa analisi è stata effettuata utilizzando il database dei fattori di emissione medi per il trasporto stradale in Italia (ISPRA, 2023), che riporta un coefficiente di emissione medio dei veicoli pari a 0,02 g di PM 2,5 per km percorso, e dai dati del rapporto UNRAE (2022) sugli spostamenti pro capite del cittadino

medio (6.880 km/anno). Tenendo conto di queste considerazioni, si può calcolare un contributo medio di inquinamento per cittadino di 0,1376 kg all'anno di PM 2.5; dividendo quindi la rimozione operata dalla vegetazione (188,13 kg all'anno) per tale importo, otteniamo che gli alberi di Brescia catturano le emissioni di PM 2.5 derivanti dal traffico automobilistico di 1.354 cittadini all'anno.

3.4. Valori standard per specie e diametro

Dai dati ottenuti dal software i-Tree è possibile fare alcune elaborazioni, quali il calcolo dell'assorbimento medio per specie. Di seguito si trova quindi una tabella riassuntiva di questi valori per le 20 specie più presenti a livello comunale (Tabella 5). In Appendice si possono trovare i valori per classe di diametro di appartenenza.

Tabella 5: Valori medi di assorbimento di inquinanti, sequestro di carbonio e produzione di ossigeno per le 20 specie più presenti.

Specie	Diametro medio (cm)	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
Acer campestre	14,599	0,007	0,007	0,124	0,811	0,062	0,721	0,006	0,067	0,041	2,827	0,001	0,198	16,286	0,977	11,845	3,945
Acer platanoides	20,528	0,006	0,006	0,104	0,683	0,051	0,601	0,006	0,063	0,035	2,367	0,001	0,236	42,564	2,554	30,956	10,310
Acer pseudoplatanus	29,260	0,016	0,016	0,256	1,680	0,127	1,489	0,014	0,151	0,085	5,835	0,003	0,545	38,783	2,327	28,206	9,394
Aesculus hippocastanum	31,299	0,022	0,022	0,347	2,280	0,171	2,009	0,019	0,203	0,115	7,890	0,005	0,884	67,958	4,077	49,424	16,460
Carpinus betulus	21,421	0,011	0,011	0,167	1,098	0,083	0,972	0,009	0,097	0,055	3,777	0,002	0,356	34,527	2,072	25,111	8,363
Cedrus deodara	34,653	0,010	0,010	0,168	1,100	0,082	0,965	0,009	0,102	0,056	3,804	0,002	0,261	60,960	3,658	44,335	14,765
Celtis australis	32,198	0,019	0,019	0,294	1,930	0,145	1,704	0,016	0,171	0,098	6,699	0,004	0,669	10,703	0,642	7,784	2,592
Fraxinus excelsior	17,963	0,010	0,010	0,158	1,039	0,079	0,921	0,008	0,090	0,052	3,595	0,002	0,299	31,526	1,892	22,928	7,636
Fraxinus ornus	16,505	0,008	0,008	0,132	0,865	0,066	0,770	0,007	0,077	0,044	3,005	0,001	0,238	13,571	0,814	9,870	3,287
Liriodendron tulipifera	25,427	0,017	0,017	0,267	1,751	0,132	1,545	0,014	0,157	0,088	6,042	0,004	0,601	46,048	2,763	33,489	11,153
Ostrya carpinifolia	19,179	0,009	0,009	0,150	0,983	0,074	0,870	0,008	0,089	0,050	3,419	0,002	0,325	23,841	1,430	17,339	5,775
Platanus x hybrida	31,699	0,019	0,019	0,303	1,992	0,150	1,763	0,017	0,181	0,100	6,882	0,004	0,706	36,577	2,195	26,601	8,859
Populus nigra	29,438	0,015	0,015	0,226	1,484	0,112	1,307	0,012	0,134	0,075	5,128	0,003	0,562	55,402	3,324	40,292	13,419
Prunus cerasifera	18,472	0,007	0,007	0,107	0,702	0,053	0,617	0,006	0,064	0,036	2,461	0,001	0,240	32,789	1,967	23,847	7,942
Pyrus calleryana	14,954	0,003	0,003	0,060	0,395	0,030	0,350	0,003	0,033	0,020	1,359	0,001	0,087	23,459	1,408	17,061	5,682
Quercus robur	25,974	0,015	0,015	0,233	1,529	0,116	1,355	0,012	0,134	0,077	5,268	0,003	0,523	41,448	2,487	30,144	10,039
Robinia pseudoacacia	23,776	0,010	0,010	0,155	1,018	0,076	0,896	0,008	0,085	0,052	3,528	0,002	0,368	54,555	3,273	39,677	13,214
Tilia platyphyllos	39,093	0,025	0,024	0,391	2,565	0,193	2,266	0,021	0,232	0,129	8,870	0,005	0,907	60,487	3,629	43,990	14,651
Ulmus glabra	24,127	0,010	0,010	0,174	1,143	0,086	1,009	0,010	0,103	0,057	3,906	0,002	0,403	50,556	3,033	36,768	12,245
Ulmus minor ssp. angustifolia	42,911	0,021	0,021	0,335	2,197	0,165	1,939	0,018	0,194	0,111	7,606	0,004	0,763	14,629	0,878	10,639	3,543
Media complessiva	27,341	0,015	0,014	0,232	1,521	0,115	1,344	0,013	0,136	0,077	5,262	0,003	0,518	39,098	2,346	28,435	9,470

4. Servizio ecosistemico: Regolazione della temperatura

4.1. Metodologia

L'aumento della vegetazione urbana è sempre più riconosciuto come un'importante strategia per ridurre l'intensità del calore, in particolare nelle città dove si genera il cosiddetto effetto isola di calore urbano (*Urban Heat Island - UHI*). Due sono i principali processi con cui la vegetazione può mitigare il calore: l'effetto ombreggiante, che consiste in un'intercettazione della radiazione solare da parte delle foglie, creando un raffreddamento radiativo; e l'evapotraspirazione, che converte parte dell'energia immagazzinata nella copertura delle chiome in flussi di calore turbolenti, provocando un raffreddamento evaporativo (Marando et al., 2022).

Ai fini della presente analisi, il servizio di regolazione della temperatura è stato definito come la mitigazione del calore grazie alle aree verdi del Comune di Brescia e il conseguente risparmio dei consumi energetici per la climatizzazione, dovuto al raffrescamento naturale fornito da tali aree verdi.

4.2. Applicazione

Questo servizio ecosistemico è stato valutato utilizzando il software InVEST⁴ per la valutazione di servizi ecosistemici. Nello specifico è stato utilizzato il modello di *Urban Cooling* che, basandosi su ombreggiatura, evapotraspirazione e albedo, nonché sulla distanza dalle isole di raffreddamento (aree verdi maggiori di 2 ha), calcola un indice di mitigazione del calore, stimando una riduzione di temperatura dovuta alla vegetazione e gli spazi verdi. Per effettuare questa stima biofisica del servizio ecosistemico, il modello richiede informazioni su:

- gli usi del suolo dell'area di studio, classificati come aree verdi o meno;
- informazioni su ciascun uso del suolo riguardanti la sua potenziale ombra, albedo e coefficiente di evapotraspirazione;
- una mappa raster con i valori di riferimento dell'evapotraspirazione (mm) per l'area di studio;
- altri parametri del modello, in particolare:
 - temperatura di riferimento dell'aria (°C);
 - effetto isola di calore urbano (°C);
 - distanza di miscelazione dell'aria (m);
 - distanza massima di raffreddamento (m);

Le informazioni sulla carta di uso del suolo sono state fornite dal Comune di Brescia. La tabella con le informazioni su ombra, albedo ed evapotraspirazione è stato un elaborato proprio, sulla base delle informazioni dell'ENEA (2024) e di Masiero et al. (2022). La mappa di

⁴ [InVEST | Natural Capital Project](#)

evapotraspirazione è stata preparata sulla base della metodologia Penman-Monteith della FAO (1998). Gli ulteriori parametri del modello sono stati presi da diverse fonti, vale a dire, temperatura di riferimento dell'aria (23,4°C)⁵, effetto isola di calore urbano (3,5°C)⁶, distanza massima di raffreddamento (200 m)⁷, e distanza di miscelazione dell'aria (valore di 2000 m predefinito dal modello InVEST).

Per quanto riguarda la valutazione economica del servizio, il modello InVEST consente di stimarla attraverso il metodo dei Costi Evitati, in questo caso con i costi evitati associati al consumo energetico (uso dei condizionatori) per effetto del raffreddamento naturale della vegetazione. Per questa parte della stima è stato necessario raccogliere informazioni su:

- area occupata dagli edifici del Comune di Brescia;
- consumo energetico per edificio in kWh/m² · °C;
- costi stimati dell'energia elettrica in Euro/kWh;

Per ottenere le informazioni richieste si è partito dallo shapefile degli edifici del Comune di Brescia⁸ (oltre 32.000 edifici). Dopo un controllo con immagini satellitari di diverse zone campione del Comune, gli edifici classificati come “altro” sono stati eliminati, lasciando solo quelli classificati come “costruito” e “in costruzione”. Successivamente è stata determinata la classe energetica (da A4 a G) di ciascun edificio sulla base dei dati della Certificazione Energetica degli Edifici (CENED). Ciò è stato fatto attraverso l'unione di attributi per posizione nel software QGIS⁹ per stimare un consumo energetico a m² per ciascun edificio. Infine, agli edifici mancanti è stata assegnata una classe energetica sulla base delle informazioni presenti in letteratura^{10, 11, 12}.

Come considerazione speciale, vale la pena dire che la metodologia InVEST presenta alcune limitazioni, come la sensibilità alla presenza di corpi idrici che possono contribuire alla diminuzione della temperatura di un'area. Questa metodologia non tiene conto dell'effetto della loro presenza e tende quindi a sottovalutare il loro contributo all'effetto di raffreddamento.

4.3. Risultati

I risultati della valutazione biofisica mostrano un indice di mitigazione del calore compreso tra 0,02 - 0,99, con una media di 0,59, un valore intermedio se si considera che l'indice va da 0 a 1. L'aumento dell'indice di mitigazione del calore segue un percorso radiale, dal centro della

⁵ [ARPA Lombardia Meteo](#)

⁶ ISPRA. Rapporto Annuale Sul Consumo Di Suolo SNPA 08/2019. Edizione 2019

⁷ [Il Ruolo delle aree verdi nella regolazione della temperatura a Brescia](#)

⁸ Carta Tecnica Comunale del Comune di Brescia, 2021

⁹ [QGIS project](#)

¹⁰ [Report di monitoraggio ambientale 2018: Focus Efficientamento energetico degli edifici pubblici](#)

¹¹ [In Lombardia solo l'8,5% degli edifici residenziali si trova in classe energetica A](#)

¹² [Classe energetica: cresce la classe A, ma la G è la più diffusa](#)

città (0,05) verso la periferia, in particolare verso la zona nord est del Comune (0,99). Le mappe con i risultati si trovano nel rapporto finale del gruppo operativo.

Per quanto riguarda la valutazione economica, si stima che l'effetto rinfrescante del verde urbano consentirà di risparmiare 7.575.701 €/anno.

5. Servizio ecosistemico: Protezione dal rischio idrogeologico

5.1. Metodologia

Questo servizio ecosistemico viene concettualizzato come la capacità delle coperture naturali non impermeabili di intercettare e infiltrare le precipitazioni, contribuendo alla regolazione del flusso delle acque che avviene come deflusso superficiale (runoff). Quest'azione di infiltrazione genera un beneficio economico in termini di costi di surrogazione, intesi come i costi che dovrebbero altrimenti essere sostenuti per realizzare infrastrutture artificiali in grado di assicurare il medesimo servizio. Nel contesto di questo progetto, la stima è interpretata come la capacità del suolo permeabile di infiltrare acque meteoriche e alla conseguente riduzione di rischi di allagamento/alluvione.

Per la stima biofisica di tale servizio è stato utilizzato il modello *Urban flood risk mitigation* del software InVEST. In questo caso si è calcolata la riduzione del deflusso superficiale nel Comune di Brescia in funzione delle forme d'uso attuali del suolo e della loro estensione, rispetto ad un evento di precipitazione simulato.

Per effettuare questo calcolo, il modello usa tre tipi di dati di input principali:

- i dati della mappa dell'uso del suolo dell'area di studio;
- il gruppo idrologico dei suoli nell'area di studio;
- il numero della curva di deflusso di ciascun uso del suolo (metodo del Curve Number): questo numero consiste in un valore compreso potenzialmente tra 0 e 100. Valori bassi significano basso potenziale di deflusso, cioè alta capacità di infiltrazione (ad esempio aree con vegetazione), mentre valori alti significano alto potenziale di deflusso (come le reti stradali, il cui valore è prossimo a 100).

5.2. Applicazione

Il modello di InVEST richiede la simulazione di un evento di precipitazione per stimare la capacità d'infiltrazione degli spazi verdi e, in base a questo, stima l'infiltrazione in metri cubi.

In questo caso l'area di studio è stata classificata nel suo complesso come gruppo idrologico C, che presenta deflussi superficiali e potenziali moderatamente elevati. I dati sono stati prelevati dal Repository comune di metadati del Common Metadata Repository (CMR) della NASA (2024). I numeri della curva di deflusso per ogni uso del suolo sono stati ricavati da

letteratura a riguardo nella regione Lombardia¹³. Come evento di precipitazione è stato simulato un evento di 26,4 mm in un'ora, che equivale ad un tempo di ritorno di 2 anni.

Per quanto riguarda il valore economico, questo è stato calcolato attraverso il metodo del costo di sostituzione, in questo caso selezionando l'utilizzo di un bacino di laminazione come bene sostitutivo per trattenere la stessa quantità d'acqua immagazzinata dalle aree verdi. Il costo unitario per la soluzione alternativa (400 €/m³) è stato adattato a partire da quanto definito dalla Legge Regionale 23 novembre 2017, n. 7 della Regione Lombardia (art. 16) in coerenza con quanto fatto da Masiero et al. (2022). Il costo unitario del bene sostitutivo è stato moltiplicato per l'infiltrazione idrica totale annuale riferita all'area di studio. In base a una vita utile di 60 anni per l'opera sostitutiva e con un tasso di sconto pari al 3% (CE, 2014), la rendita finanziaria è stata calcolata per avere valori annuali ricavando la singola annualità (a) a partire dall'equazione per la stima del valore attuale di una serie finita di annualità:

$$a = \frac{A0}{\frac{(q^n - 1)}{rq^n}}$$

Dove

- *a* = annualità
- *A0* = Valore attuale di una serie finita di annualità
- *q* = (1+r)
- *r* = tasso di sconto (3%)
- *n* = numero di anni (60)

5.3. Risultati

I risultati del modello di InVEST stima un'infiltrazione d'acqua totale per l'area complessiva del Comune di 1.585.902,88 m³/anno, con valori compresi tra 0 e 0,02 m³/m²/anno. Per quanto riguarda la valutazione economica, il costo stimato di un'opera sostitutiva sarebbe di 634.361.150,38 €. Perciò, ipotizzando una vita utile di 60 anni per l'opera sostitutiva e con un tasso di sconto pari al 3%, si ottiene un valore annuale pari a 22.921.345,28 €/anno. La Tabella 6 riporta la sintesi dei risultati, nonché il contributo del verde pubblico alla fornitura del servizio, rispetto all'area verde complessiva del Comune.

Tabella 6. Risultati della valutazione del servizio ecosistemico di Protezione idrogeologica

	Biofisico (mc/anno)	Economico (€/anno)
Totale	1.585.902,88	22.921.345,27

¹³ [Caratterizzazione idrologica del regime di piena in Lombardia](#)

	Biofisico (mc/anno)	Economico (€/anno)
Aree pubbliche	182.452,88	2.637.025,01

Le mappe con i risultati si trovano nel rapporto finale del gruppo operativo.

6. Servizio ecosistemico: Qualità dell'habitat (biodiversità)

6.1. Metodologia

Il servizio ecosistemico di qualità dell'habitat per la biodiversità è stato stimato attraverso il modello InVEST di "Habitat Quality" il quale utilizza la qualità e la rarità dell'habitat come proxy per rappresentare la biodiversità di un paesaggio, stimando l'estensione dei tipi di habitat e vegetazione in un paesaggio e il loro stato di degrado. Il modello combina le mappe dell'uso e la copertura del suolo (LULC) con i dati sulle minacce agli habitat e sulla sensibilità degli habitat alle stesse. La modellazione della qualità degli habitat consente agli utenti di confrontare diversi modelli spaziali corrispondenti a differenti scenari/progetti e identificare di conseguenza le aree in cui la conservazione avrà effetti più favorevoli per i sistemi naturali e proteggerà le specie minacciate o comunque di valore ecologico che in essi trovano il proprio habitat.

InVEST determina la qualità relativa di uno specifico habitat in base a quattro fattori:7

- la capacità dell'habitat di sostenere forme di vita animale e vegetale;
- l'impatto di ciascuna minaccia sui diversi habitat;
- la sensibilità di ogni singolo habitat a ciascuna minaccia individuata;
- la distanza degli habitat dalle relative fonti di minaccia che possono alterare lo stato di equilibrio proprio degli habitat stessi.

La stima della qualità dell'habitat si è basata sulle classi di uso del suolo del Comune di Brescia e sulla loro interazione con le diverse minacce presenti nel contesto, tenendo conto della sensibilità a ciascuna minaccia identificata.

I dati per la creazione del dataset necessario a far funzionare il modello sono:

- la mappa d'uso e copertura del suolo (raster) dell'area di studio;
- la mappa della minaccia (raster) (una per ogni minaccia individuata. Va precisato che le minacce sono individuate in associazione a determinate categorie d'uso del suolo);
- la tabella delle minacce (.csv): tabella che associa a ogni minaccia la massima distanza di influenza, l'impatto (o peso) relativo alle altre minacce e il tipo di decadimento dell'impatto (lineare o esponenziale);
- la tabella di sensibilità degli habitat alle minacce (.csv): tabella che associa a ogni classe di uso del suolo la sensibilità a ciascuna minaccia, intesa come impatto previsto delle minacce sull'uso del suolo in questione, secondo una scala definita.

Il modello genera, come output, una mappa che rappresenta la qualità degli habitat per l'area di studio.

6.2. Applicazione

Dati di input

La mappa raster d'uso del suolo è stata costruita a partire dalla Carta dell'Uso del Suolo del Comune di Brescia, così da considerare il contesto e le minacce potenziali all'habitat fornito da questa area nel suo complesso. Le mappe raster delle minacce sono state costruite a partire dalla mappatura grafica delle minacce, realizzata sempre mediante il software QGIS (Figura 4). In particolare, considerato il perimetro di analisi sono state mappate le seguenti minacce, elencate in ordine di rilevanza (impatto):

- Rete stradale: raggruppando le strade principali e secondarie e superfici annesse (ponti, parcheggi, viali di ingresso, vialetti, ferrovie).
- Infrastrutture: includendo le aree destinate ad edifici, campi sportivi, marciapiedi e piscine.
- Agricoltura: includendo i campi agricoli urbani all'interno del Comune.

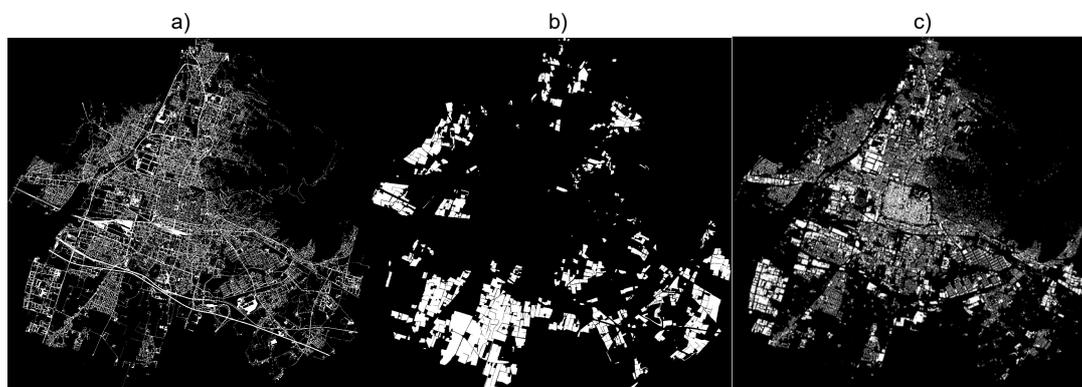


Figura 4. Mappe delle minacce utilizzate per l'analisi di qualità dell'habitat. a) Rete stradale, b) Agricoltura, c) Infrastrutture

In Tabella 7 sono riportati i dati utilizzati per la costruzione della tabella delle minacce, i cui valori sono stati assegnati sulla scorta di studi pregressi di natura simile e sulla base dell'esperienza professionale degli autori di questa indagine.

Tabella 7. Minacce individuate per la valutazione del servizio di qualità dell'habitat e relative caratteristiche.

Minaccia	Distanza massima (km)	Impatto (peso)	Tipo di decadenza dell'impatto
----------	-----------------------	----------------	--------------------------------

Rete_stradale	1,50	0,90	linear
Infrastrutture	1,70	0,80	linear
Agricoltura	1,60	0,75	linear

La tabella di sensibilità degli habitat alle minacce (Tabella 8) è stata costruita assegnando a ogni classe d'uso del suolo, identificata da un codice univoco, un relativo valore di habitat (non basandosi su una singola specie "target", è stata fatta una semplificazione e impostato un valore tra 0 e 1) e un impatto relativo per ogni minaccia di cui alla tabella precedente. Come nel caso della tabella precedente, anche qui i valori sono stati assegnati sulla scorta di studi progressi di natura simile (anche con riferimento a quanto proposto dagli sviluppatori del modello InVest) e sulla base dell'esperienza professionale degli autori di questa indagine. Facciamo inoltre presente che tutte le superfici su cui era presente vegetazione (a prescindere che fossero parcheggi, parchi, marciapiedi) ricadono nell'uso del suolo "Vegetazione".

Tabella 8. Punteggio della sensibilità di ogni habitat alle minacce individuate

LULC	NOME	HABITAT	Rete_stradale	Infrastrutture	Agricoltura
1	Aree boscate non classificate-Aree boscate non classificate-Ceduo	0,93	0,80	0,60	0,80
2	Betuleti e Corileti-Betuleto secondario-Fustaia	0,93	0,80	0,60	0,80
3	Campo agricolo	0,30	0,80	0,60	0,30
4	Campo sportivo	0	0	0	0
5	Castagneti-Castagneto dei substrati carbonatici dei suoli mesici-Ceduo	0,93	0,80	0,60	0,80
6	Castagneti-Castagneto dei substrati carbonatici dei suoli mesici-Ceduo in conversione	0,93	0,80	0,60	0,80
7	Castagneti-Castagneto dei substrati carbonatici dei suoli mesici-Fustaia	0,93	0,80	0,60	0,80
8	Copertura arborea densa in area pedecollinare (assim. Boschi di latifoglie a bassa densità DUSAF)	0,93	0,80	0,60	0,80
9	Copertura arborea in ambito urbano (assim. Parchi e giardini DUSAF)	0,87	0,80	0,60	0,80
10	Edificio	0	0	0	0
11	Ferrovia	0	0	0	0

LULC	NOME	HABITAT	Rete_stradale	Infrastrutture	Agricoltura
12	Formazioni antropogene-Formazioni a dominanza di latifoglie alloctone-Ceduo	0,77	0,80	0,60	0,80
13	Formazioni antropogene-Rimboschimenti di latifoglie-Fustaia	0,77	0,80	0,60	0,80
14	Formazioni antropogene-Robinetto misto-Ceduo	0,77	0,80	0,60	0,80
15	Idrografia	0,80	0,80	0,60	0,80
16	Marciapiede	0	0	0	0
17	Orno-ostrieti-Orno-ostrieto primitivo di rupe-Aree non gestite, in evoluzione naturale	0,93	0,80	0,60	0,80
18	Orno-ostrieti-Orno-ostrieto tipico-Ceduo	0,93	0,80	0,60	0,80
19	Parcheggio	0	0	0	0
20	Piscina	0	0	0	0
21	Ponti	0	0	0	0
22	Prato	0,80	0,80	0,60	0,80
23	Querceti-Cerreta-Fustaia	0,93	0,80	0,60	0,80
24	Querceti-Querceto di rovere e/o farnia del pianalto-Ceduo in conversione	0,93	0,80	0,60	0,80
25	Querceti-Querceto di roverella dei substrati carbonatici-Ceduo	0,93	0,80	0,60	0,80
26	Querceto-carpineti e Carpineti-Carpineti con ostraia-Ceduo in conversione	0,93	0,80	0,60	0,80
27	Querceto-carpineti e Carpineti-Querceto-carpineti collinare di rovere e/o farnia-Ceduo in conversione	0,93	0,80	0,60	0,80
28	Strada	0	0	0	0
29	Suolo	0,50	0,80	0,60	0,80
30	Viale di ingresso	0	0	0	0
31	Vialetto	0	0	0	0

Valutazione economica del servizio ecosistemico

Il modello di InVEST non permette di per sé di attribuire un valore monetario alla biodiversità, perciò, a valle dell'utilizzo del modello, si è fatto ricorso alla metodologia del *Benefit transfer*, la cui si basa sull'uso dei risultati provenienti da studi primari preesistenti relativamente a uno o più siti per prevedere le stime relative ad altri siti analoghi. I valori economici utilizzati ai fini della stima del valore del servizio ecosistemico sono stati ricavati da Strollo et al. (2018), che li ha a sua volta ricavati dai rapporti annuali di consumo del suolo di ISPRA. Nel dettaglio, sono stati calcolati valori medi unitari (€/m²) associati alla perdita del servizio ecosistemico in questione nei diversi casi di conversione/trasformazione d'uso del suolo indicati in sintesi in Tabella 9. Inoltre, alcune semplificazioni si sono rese necessarie per fare riferimento alle classi di uso del suolo presenti (es. campi sportivi sintetici assimilati a quelli naturali).

Tabella 9. Valori economici unitari del servizio Qualità degli habitat, per tipologia di trasformazione d'uso del suolo.

LULC	Valore unitario (EUR/m ²)
Aree boscate non classificate-Aree boscate non classificate-Ceduo	0,91
Betuleti e Corileti-Betuleto secondario-Fustaia	0,91
Campo agricolo	0,16
Campo sportivo	0,91
Castagneti-Castagneto dei substrati carbonatici dei suoli mesici-Ceduo	0,91
Castagneti-Castagneto dei substrati carbonatici dei suoli mesici-Ceduo in conversione	0,91
Castagneti-Castagneto dei substrati carbonatici dei suoli mesici-Fustaia	0,91
Copertura arborea densa in area pedecollinare (assim. Boschi di latifoglie a bassa densità DUSAF)	0,91
Copertura arborea in ambito urbano (assim. Parchi e giardini DUSAF)	0,91
Edificio	0
Ferrovia	0
Formazioni antropogene-Formazioni a dominanza di latifoglie alloctone-Ceduo	0,91
Formazioni antropogene-Rimboschimenti di latifoglie-Fustaia	0,91
Formazioni antropogene-Robinieto misto-Ceduo	0,91
Idrografia	0

LULC	Valore unitario (EUR/m2)
Marciapiede	0
Orno-ostrieti-Orno-ostrieto primitivo di rupe-Aree non gestite, in evoluzione naturale	0,91
Orno-ostrieti-Orno-ostrieto tipico-Ceduo	0,91
Parcheggio	0
Piscina	0
Ponti	0
Prato	0,23
Querceti-Cerreta-Fustaia	0,91
Querceti-Querceto di rovere e/o farnia del pianalto-Ceduo in conversione	0,91
Querceti-Querceto di roverella dei substrati carbonatici-Ceduo	0,91
Quercu-carpineti e Carpineti-Carpinetu con ostriu-Ceduo in conversione	0,91
Quercu-carpineti e Carpineti-Quercu-carpinetu collinare di rovere e/o farnia-Ceduo in conversione	0,91
Strada	0
Suolo	0,01
Viale di ingresso	0
Vialetto	0

Utilizzando l'approccio di *Benefit transfer*, tali valori sono stati abbinati a classi d'uso del suolo (LULC code della carta d'uso del suolo utilizzata) e successivamente moltiplicati per il valore dell'indice di qualità degli habitat di ciascun pixel della mappa di qualità degli habitat. Tale indice è stato pertanto usato come coefficiente di adeguamento dei valori originali rispetto alle specificità del contesto d'indagine. Tutti i valori indicati devono considerarsi definiti su base annuale.

6.3. Risultati

I risultati del modello mostrano che i valori di qualità dell'habitat in questo caso variano tra 0 (qualità nulla) e 0,47 per alcune parti del Comune, principalmente nella parte Nord-Orientale, dove si trova il Monte Maddalena. La media di questo indice per il Comune è di 0,09. Tenendo conto che l'indice varia da 0 a 1, i valori ottenuti possono essere considerati da bassi a medi, con una media comunale bassa. Questi valori sono attesi, tenendo conto del carattere comunque antropizzato del Comune nel suo complesso, nonché delle minacce per l'habitat.

La stima del valore del servizio ecosistemico complessivo per il Comune risulta essere pari a circa 5.171.477 €/anno, di cui 532.399 €/anno provengono dalle aree pubbliche.

Le mappe di qualità degli habitat generata dal modello di InVEST, così come quella con i valori economici, si trovano nel rapporto finale del gruppo operativo.

7. Servizio ecosistemico: Valore ricreativo e sociale

7.1. Metodologia

Ai fini della stima dei benefici sociali si è fatto ricorso a una versione rivista del modello per la valutazione dei servizi ecosistemici culturali (in particolare del valore turistico-ricreativo) presente nella suite Estimap sviluppata dal Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea (Zulian et al., 2013), tenendo conto degli aggiustamenti fatti da Cortinovis *et al.* (2018) per la città di Trento e da altre esperienze simili.

In base a questo approccio i benefici sociali associati al valore ricreativo possono essere valutati sulla base di tre dimensioni principali (Figura 5).

(1) **potenziale ricreativo** di una determinata area derivante dalla somma di tre diverse componenti:

- classi d'uso del suolo attualmente presenti all'interno dell'area di studio;
- caratteristiche naturali (es. prossimità a corsi d'acqua, presenza di alberi monumentali, ecc.);
- infrastrutture verdi urbane.

A tal fine, è stato attribuito un punteggio a ciascuna di queste componenti. Per ogni area considerata si è ottenuto pertanto un punteggio finale pari alla somma, normalizzata, delle tre diverse componenti;

(2) **accessibilità e fruibilità** di una determinata area, derivante dalla somma di due componenti:

- prossimità a infrastrutture che ne facilitino il raggiungimento e l'accesso alla stessa (es. fermate di mezzi pubblici di trasporto, piste ciclabili, parcheggi...)
- presenza di strutture/risorse che ne consentano la fruizione ricreativa (es. aree-giochi per bambini, campi da gioco, aree e sentieri attrezzati per attività fisica, percorsi, aree cani, aree pic-nic, servizi igienici, punti ristoro, ecc.).

Come per il potenziale ricreativo, è stato attribuito un punteggio - ricalibrato a partire dai valori disponibili in Cortinovis *et al.* (2018) - a ciascuna di queste componenti. Per ogni area considerata si è ottenuto pertanto un punteggio finale pari alla somma, normalizzata, delle due diverse componenti;

(3) **ventaglio delle opportunità ricreative (Recreation Opportunity Spectrum, ROS)**, derivante dalla combinazione delle due dimensioni precedenti e conseguente attribuzione di punteggio e classificazione di ciascuna area considerata.

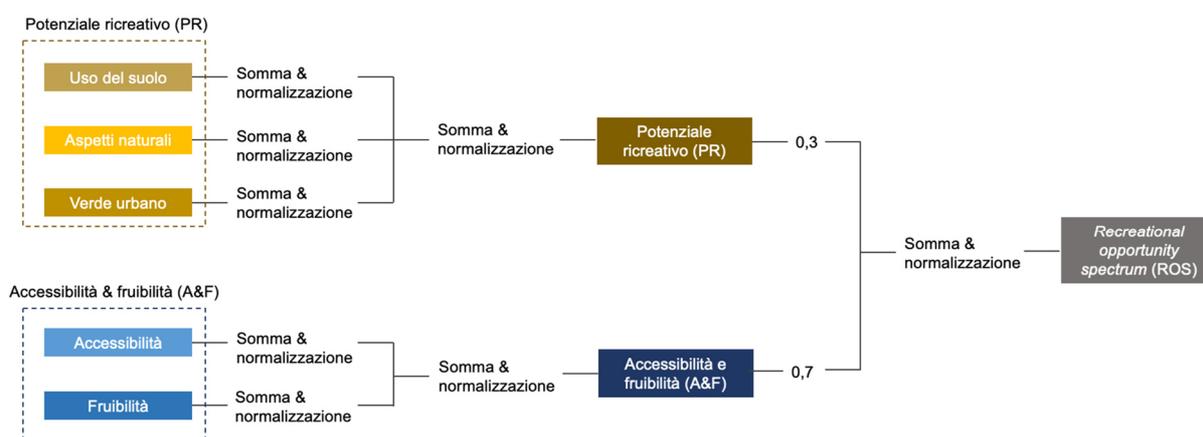


Figura 5. Diagramma di flusso delle fasi metodologiche per la valutazione della ricreazione

Il valore economico è stato invece calcolato mediante l'utilizzo di valori unitari (€/m²) ricavati da precedenti studi che hanno valutato la Disponibilità a Pagare media per la gestione e manutenzione del verde urbano¹⁴.

7.2. Applicazione

1. Potenziale ricreativo (PR)

Per prima cosa è stato quindi definito il potenziale ricreativo di ciascun poligono.

(a) Uso del suolo

A ciascuna categoria d'uso del suolo è stato attribuito un punteggio (LU Score) in coerenza con il quadro di sintesi riportato in Tabella 10. Tale punteggio riflette il valore ricreativo potenziale di base intrinseco in ciascuna categoria d'uso del suolo, secondo le caratteristiche della stessa, modificabile/integrabile secondo le eventuali e ulteriori specificità definite dalle altre dimensioni e sottodimensioni considerate ai fini dello studio. È stato attribuito LU score pari a 0 a tutti gli usi del suolo artificiali, poiché per definizione essi non contribuiscono al servizio ecosistemico in analisi. Successivamente il punteggio è stato normalizzato.

Tabella 10. Punteggio relativo all'uso del suolo

Categoria	Categoria di uso del suolo	LU score	LU score normalizzato
Campo agricolo	1	0,4	0,444
Campo sportivo	2	0,5	0,556

¹⁴ SEACoop (2020). Benefici sociali offerti dalle Aree Verdi del Comune di Torino. SEACoop, Torino.

Categoria	Categoria di uso del suolo	LU score	LU score normalizzato
Edificio	3	0	0,000
Ferrovia	4	0	0,000
Idrografia	5	0,8	0,889
Marciapiede	6	0	0,000
Parcheggio	7	0	0,000
Piscina	8	0	0,000
Ponti	9	0	0,000
Prato	10	0,7	0,778
Strada	11	0	0,000
Suolo	12	0,4	0,444
Vegetazione	13	0,9	1,000
Viale di ingresso	14	0	0,000
Vialetto	15	0	0,000

(b) Aspetti naturali

Sono stati attribuiti, a tutti i poligoni interessati, punteggi in coerenza con il quadro di sintesi riportato in Tabella 11, elaborando i punteggi dalla letteratura presente. A tutti gli altri poligoni è stato attribuito un punteggio pari a zero per ciascuno degli aspetti considerati in tale categoria. È stato infine calcolato un punteggio normalizzato di sintesi della variabile Aspetti naturali.

Tabella 11. Aspetti naturali considerati

Aspetti naturali	Punteggi
Punto panoramico	0,9
Aree protette (PLIS)	0,8
Rete idrica minore	0,7
Fiume	0,8
Albero monumentale	0,7

(c) Verde urbano

Sono stati attribuiti, a tutti i poligoni interessati, punteggi in coerenza con il quadro di sintesi riportato in Tabella 12. A tutti gli altri poligoni è stato attribuito un punteggio pari a zero per ciascuno degli aspetti considerati in tale categoria. È stato infine calcolato un punteggio normalizzato di sintesi della variabile Verde urbano.

Per tale definizione sono state usate le categorie presenti nel database topografico del 2015.

Tabella 12. Punteggi per il verde urbano

Verde urbano	Punteggi
Parco urbano >2 ha	1
Parco urbano 0,5-2 ha	0,9
Parco urbano < 0,5 ha	0,8
Giardini urbani	0,7
Parco territoriale	0,7
Parco collinare	0,7
Parco collinare di castagno	0,8

Il potenziale ricreativo (PR) di ciascun poligono è stato infine calcolato come punteggio di sintesi derivante dalla somma normalizzata dei tre aspetti sopra considerati.

2. Accessibilità e fruibilità (AccFR)

(a) Accessibilità

Sono stati attribuiti, a tutti i poligoni interessati, punteggi in coerenza con il quadro di sintesi riportato in Tabella 13, distinguendo i valori con l'obiettivo di far risaltare le aree che avessero una reale predisposizione all'accessibilità.

A tutti gli altri poligoni è stato attribuito un punteggio pari a zero per ciascuno degli aspetti considerati in tale categoria. È stato infine calcolato un punteggio normalizzato di sintesi della variabile Accessibilità.

Tabella 13. Aspetti considerati per il punteggio dell'Accessibilità

Aspetti considerati	Punteggi
Pista ciclabile	0,9
Sentiero/Area pedonale	0,7
Parcheggio	0,7
Fermate bus	0,7
Marciapiede	0,1

(b) Fruibilità

Sono stati attribuiti, a tutti i poligoni interessati, punteggi in coerenza con il quadro di sintesi riportato in Tabella 14, con l'obiettivo di distinguere le aree con alcune caratteristiche specifiche; ad esempio, siccome si è assunto che le panchine fossero presenti in quasi tutti i Parchi con funzione ricreativa, un punteggio alto rispetto a questo fattore avrebbe portato a una sovrastima e uno schiacciamento verso l'alto di tutti i valori. A tutti gli altri poligoni è stato attribuito un punteggio pari a zero per ciascuno degli aspetti considerati in tale categoria. È stato infine calcolato un punteggio normalizzato di sintesi della variabile Fruibilità.

Tabella 14. Aspetti considerati per il punteggio della Fruibilità

Aspetti considerati	Punteggi
Area giochi	0,9
Campo sportivo	0,8
Area cani	0,7
Fontana	0,7
Panchine	0,3

La variabile Accessibilità&Fruibilità di ciascun poligono è stata infine calcolata come punteggio di sintesi derivante dalla somma normalizzata dei due aspetti sopra considerati.

3. Ventaglio delle opportunità ricreative

Il ventaglio delle opportunità ricreative (Recreation Opportunity Spectrum, ROS) è stato calcolato come somma pesata delle due dimensioni precedentemente analizzate, dando un peso di 0,3 al potenziale ricreativo e 0,7 all'Accessibilità&Fruibilità.

4. Stima economica

Per quanto riguarda la stima economica, si sono distinti valori relativi ai benefici sociali in termini di valore d'uso diretto (principalmente in termini di uso ricreativo) per le aree accessibili e fruibili (2,36 Euro/m²) e di valore di non uso (1,44 euro/m²) per le altre aree verdi.

A partire da tali valori unitari, il valore complessivo dei benefici sociali è stato calcolato, per ciascun poligono, secondo una procedura che usa il valore del ROS come criterio di adeguamento dei valori derivati da valutazioni precedenti, secondo la seguente formula:

$$\text{Valore economico} = \text{Area del poligono} * \text{ROS} * \text{€/mq}$$

A seconda dell'uso del suolo e della proprietà (pubblica o privata), uno o l'altro dei valori economici sono stati applicati.

7.3. Risultati

Al termine del processo sopra descritto, risulta un ROS medio a livello comunale variegato a seconda del tipo di uso del suolo (come è naturale aspettarsi - Tabella 15). Per quanto riguarda il valore economico, viene restituito un valore totale di **26.804.428 €**.

Tabella 15: ROS medio per uso del suolo

Uso del suolo	ROS
Campo agricolo	0,12
Campo sportivo	0,26
Idrografia	0,23
Prato	0,16
Suolo	0,15
Vegetazione	0,20
Totale complessivo	0,18

Sintesi dei risultati per tutti i servizi ecosistemici considerati

La Tabella 16 mostra una sintesi della valutazione biofisica ed economica per i sette servizi ecosistemici selezionati. Il valore complessivo, inteso come somma dei servizi ecosistemici valutati, risulta pari a 76.519.252 €/anno.

Tabella 16. Riassunto con la valutazione dei servizi ecosistemici (verde pubblico e privato)

Servizio ecosistemico	Valore biofisico	Valore economico (€/anno)
Sequestro del carbonio atmosferico	44.667 tonCO ₂ /anno	2.680.040
Produzione di ossigeno	32.484 tonO ₂ /anno	10.818.502
Rimozione degli inquinanti atmosferici	n/a	547.759
Regolazione della temperatura	Mitigazione media del calore di 0,6 °C	7.575.701
Protezione dal rischio idrogeologico	1.585.903 m ³ /anno	22.921.345
Qualità dell'habitat (biodiversità)	n/a	5.171.477
Valore ricreativo e sociale	n/a	26.804.428
Totale	n/a	76.519.252

I servizi che contribuiscono maggiormente a questo risultato sono quelli di valore ricreativo e sociale (26.804.428 €/anno), seguito dal servizio di protezione idrogeologica (22.921.345 €/anno) e dalla produzione di ossigeno (10.818.502 €/anno), come si osserva anche nella Figura 6. D'altro canto, i servizi con i valori più bassi sono la rimozione degli inquinanti atmosferici (547.759 €/anno) e il sequestro del carbonio (2.680.040 €/anno).

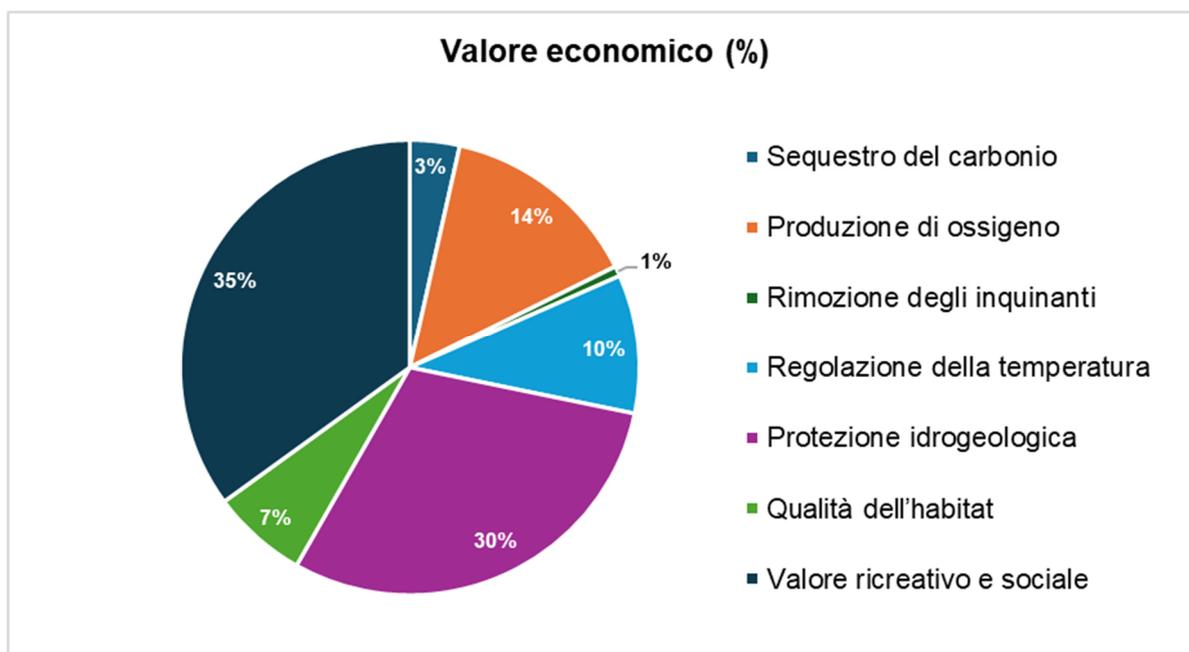


Figura 6. Contributo di ciascun servizio ecosistemico al valore economico totale

È importante ricordare che questa valutazione è una stima conservativa, che non include tutti i servizi forniti dal verde urbano; perciò questa cifra deve essere interpretato come il limite inferiore del probabile valore dei servizi ecosistemici forniti dalle aree verdi.

La Tabella 17 mostra il confronto tra il valore economico generato da ciascun servizio ecosistemico dal totale del verde urbano (pubblico e privato) e dal verde pubblico. In totale, il contributo del verde pubblico del Comune rappresenta circa il 25% del valore totale dei servizi ecosistemici. Una possibile spiegazione del motivo per cui il verde privato contribuisce così tanto al valore economico totale (75%) può essere trovata nel fatto che le aree forestali ben conservate e le altre aree verdi del Comune nella parte nord-orientale sono di carattere privato.

Queste aree rappresentano una parte fondamentale dell'infrastruttura verde del Comune e forniscono una parte di servizi quali qualità dell'habitat, protezione idrogeologica e valore ricreativo e sociale, poiché nella pratica alcune di queste aree possono essere parzialmente fruibili dai cittadini attraverso sentieri.

Tabella 17. Confronto tra il valore economico generato dal verde urbano totale e dal verde pubblico

Servizio ecosistemico	Valore economico verde totale (€/anno)	Valore economico verde pubblico (€/anno)
Stoccaggio del carbonio atmosferico	2.680.040	1.075.288
Produzione di ossigeno	10.818.502	4.340.617

Rimozione degli inquinanti atmosferici	547.759	547.759
Regolazione della temperatura	7.575.701	758.874
Protezione dal rischio idrogeologico	22.921.345	2.637.025
Qualità dell'habitat	5.171.477	532.399
Valore ricreativo e sociale	26.804.428	8.886.734
Totale	76.519.252	18.778.697

Inoltre, nella Tabella 18 sono riportati i benefici per cittadino del verde urbano di Brescia, sia pubblico che totale. Tali benefici sono intesi come la somma del valore dei servizi ecosistemici valutati diviso per il numero di abitanti del Comune¹⁵, stimato in 199.260 persone. Il beneficio totale del verde urbano è stimato in 384 euro/anno per cittadino. Il beneficio del verde pubblico è stimato in 94 euro/anno per cittadino.

Tabella 18. Valore dei benefici del verde urbano (totale e pubblico) per cittadino di Brescia

Servizio ecosistemico	Verde totale (€/anno)	Verde pubblico
Sequestro del carbonio atmosferico	13	5
Produzione di ossigeno	54	22
Rimozione degli inquinanti atmosferici	3	3
Regolazione della temperatura	38	4
Protezione dal rischio idrogeologico	115	13
Qualità dell'habitat (biodiversità)	26	3
Valore ricreativo e sociale	135	45
Totale	384	94

D'altro canto, si è ipotizzato quello che sarebbe il valore complessivo dei servizi ecosistemici prodotti dal Comune di Brescia, inteso non come flusso annuo di servizi, ma come stock complessivo del capitale naturale del Comune. Per fare questo, il valore attuale dei flussi

¹⁵ [Dati relativi alla popolazione residente a Brescia](#)

annuali di servizi ecosistemici è stato calcolato su un orizzonte temporale infinito, utilizzando l'equazione della somma dei flussi di cassa ripetuti infinite volte.

$$VA = \frac{C}{r}$$

Dove:

VA = Valore attuale del flusso totale dei servizi ecosistemici (€)

C = Valore annuo del flusso di servizi ecosistemici (€/anno)

r = tasso di sconto (%)

Per il calcolo è stato assunto un tasso di sconto del 3% sulla base delle raccomandazioni della Commissione Europea (EC, 2014) sull'aggiornamento dei flussi di cassa, considerati come parametro di riferimento per il reale costo opportunità del capitale in un lungo periodo. Il risultato di detto calcolo mostra che il valore simbolico del verde complessivo è di 2.550.641.752 € mentre quello del verde pubblico è di 625.956.580 € (Figura 7).

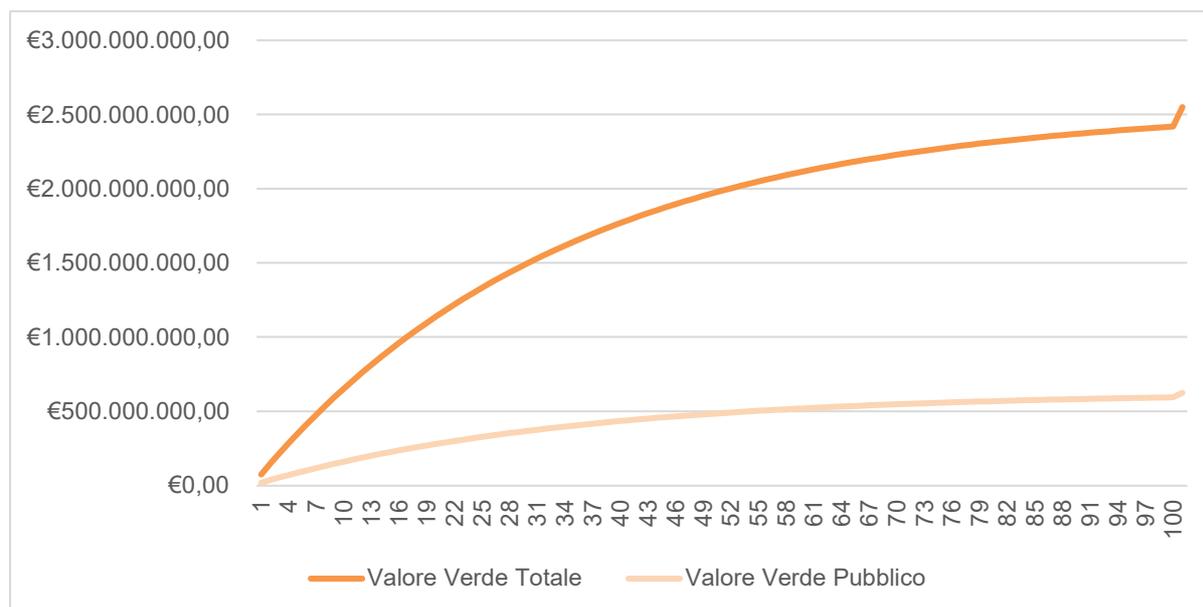


Figura 7. Valore attuale dei servizi ecosistemici su un orizzonte temporale infinito

Infine, è stato effettuato un confronto tra i benefici prodotti dal verde urbano di Brescia attraverso la fornitura dei servizi ecosistemici e i costi annuali di manutenzione di tali spazi. Sono stati utilizzati i dati del Bilancio del comune di Brescia relativo all'anno 2023, per gli aspetti di manutenzione del verde urbano, acqua per l'irrigazione dei parchi e manutenzione dei parchi delle Cave e delle Colline. Sono state prese in considerazione sia la componente di conto corrente 2023 (5.987.017 €) sia la componente di conto capitale, le cui spese sono state

ammortizzate in un periodo di 30 anni (75.702 € all'anno), per un totale di costi pari a 6.062.720 € per il 2023.

Tenendo conto che il valore calcolato dei servizi ecosistemici del verde urbano è di 76.519.252 €, il rapporto costi-benefici è 12,62. Questo dato potrebbe essere interpretato come se per ogni euro speso per la manutenzione del verde urbano del comune si restituissero ai cittadini 12,6 euro, espressi in diversi servizi ecosistemici. Quando si calcola il valore dei servizi ecosistemici del verde pubblico (18.778.697 €), il rapporto costi-benefici è 3,10. Vale a dire che per ogni euro speso per la manutenzione del verde pubblico del Comune si restituiscono 3,10 euro in servizi ecosistemici.

Discussione e conclusioni

Nel presente rapporto è presentata la valutazione dei servizi ecosistemici selezionati forniti dal verde urbano del Comune di Brescia nell'ambito della redazione del "Piano del verde e della biodiversità". I risultati della valutazione dei servizi ecosistemici mostrano valori ampiamente variabili tra i servizi, oscillanti tra 547.759 €/anno per il servizio di rimozione degli inquinanti atmosferici e 26.804.428 €/anno per il servizio di valore ricreativo e sociale, con un valore economico complessivo di tali servizi pari a 76.519.259 €/anno.

Ipotizzando un calcolo su un orizzonte temporale infinito, il valore simbolico del verde urbano complessivo è pari a 2.550.641.752 €. D'altro canto, il valore del verde pubblico su un orizzonte infinito è di 625.956.580 €, contribuendo per circa il 25% al totale dei benefici percepiti dai cittadini del Comune in termini di servizi ecosistemici. Si tratta di un dato non di poco conto, poiché ci fa capire quanto sia fondamentale il ruolo del verde privato nell'infrastruttura verde della comunità, che dovrebbe spingere a creare dialoghi con i proprietari privati per una gestione adeguata e proficua del verde urbano.

In termini di benefici per cittadino, si stima che il verde urbano della città fornisca circa 384 €/anno per cittadino, di cui 94 provenienti direttamente dal verde pubblico. Nel confronto tra questi benefici e i costi di manutenzione sostenuti dal Comune nel 2023 (6.062.720 €) in attività quali cura delle aree verdi, attività di manutenzione di alberi, giardini e strutture ricreative, è evidente che i benefici superano i costi, con rapporti costi-benefici di 12,62 per il verde totale e 3,10 per il verde pubblico.

Confrontando la città di Brescia (Figura 6) con esercizi simili condotti in altre città italiane come Torino (Figura 8), si osserva una partecipazione simile dei servizi ecosistemici al valore totale del Comune, anche se il servizio di protezione idrogeologica rappresenta una percentuale più importante di questo valore totale rispetto a Brescia, con ruoli minori in servizi come il sequestro del carbonio e la rimozione degli inquinanti. Ad ogni modo, il panel di servizi ecosistemici (e in qualche caso le metodologie) sono differenti, pertanto non è possibile pervenire ad un confronto puntuale.

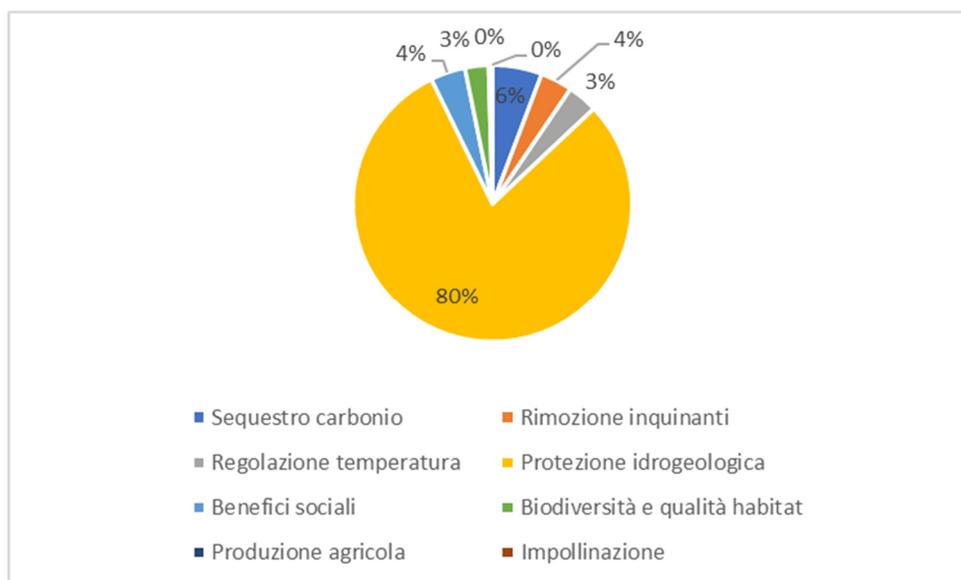


Figura 8. Distribuzione percentuale del valore dei servizi ecosistemici analizzati per l'area urbana di Torino (verde pubblico)

Come considerazione importante di questo studio, si evidenzia anche il ruolo essenziale del versante sud del Monte Maddalena nella fornitura dei servizi ecosistemici della città di Brescia. Il grosso dei benefici prodotti dal verde urbano comunale si concentra soprattutto in queste aree (parte Nord-Est della città), seguite dall'area Nord-Ovest, costituita da importanti aree verdi come il Parco delle Colline e altre aree verdi per passeggiate.

Ci si aspetta che questi risultati della valutazione biofisica ed economica forniscano alcune indicazioni su quali siano i principali servizi ecosistemici forniti dal verde urbano comunale, generando dati quantitativi per sensibilizzarne i cittadini, oltre a dare indicazioni al Comune su quali servizi ecosistemici dovrebbero incrementare la sua erogazione e dove all'interno del Comune.

Infine, è utile ricordare alcuni limiti delle stime qui presentate e alcuni elementi di cautela nell'affrontarle. Da un lato, alcune semplificazioni nella modellizzazione si sono rese necessarie a causa di limitazioni legate alla fattibilità tecnica, alla scala dello studio, alla disponibilità dei dati e ad altre esigenze operative incontrate durante le attività. D'altro canto, va osservato che questa valutazione non considera l'universo dei servizi ecosistemici forniti dal verde urbano, ma piuttosto una selezione di essi. Inoltre, a causa dei servizi selezionati, degli approcci adottati e, più in generale, della natura e dello scopo del lavoro, non tutte le componenti del cosiddetto valore economico totale sono state prese in considerazione. In particolare, i valori di non uso dei servizi ecosistemici, che per loro stessa natura sono più complessi da catturare e analizzare, sono scarsamente rappresentati.

Nonostante i limiti brevemente sopra delineati, lo studio offre un quadro del valore biofisico ed economico dei servizi ecosistemici forniti dal verde pubblico comunale ed è corredato dagli altri elaborati del Piano del Verde e la biodiversità. Se è vero che interventi concreti di trasformazione e sviluppo urbano necessitano necessariamente di essere affrontati su scala dettagliata e con valutazioni specifiche, è anche vero che non va persa la visione globale, integrata e prospettica. In questo senso, la natura e la portata di questo lavoro rimangono funzionali a fornire un sostanziale contributo conoscitivo utile a informare le politiche e le strategie a livello comunale, garantendo una base di riferimento per monitorare gli impatti delle azioni future, comprese le azioni di contabilità ambientale che ci consentono evidenziare valori che altrimenti non sarebbero considerati dagli ordinari strumenti contabili, e mettere a disposizione una base dati e informazioni integrabili e migliorabili nel tempo, utili a informare e sensibilizzare sia i professionisti che i cittadini nel loro insieme.

Bibliografia

- Agenzia Italiana del Farmaco (2022)** “Analisi della variabilità regionale in relazione a spesa, consumi e costo per litro dei gas medicinali acquistati attraverso gli acquisti diretti e classificati in classe A, H, C e CNN”. Densità dell’ossigeno liquido: 1,141 kg/L.
- Barron, S., Sheppard, S. R., & Condon, P. M. (2016)**. Urban forest indicators for planning and designing future forests. *Forests*, 7(9), 208.
- Bera, B., Bhattacharjee, S., Sengupta, N., Shit, P. K., Adhikary, P. P., Sengupta, D., & Saha, S. (2022)**. Significant reduction of carbon stocks and changes of ecosystem service valuation of Indian Sundarban. *Scientific Reports*, 12(1), 7809.
- Buchel, S., & Frantzeskaki, N. (2015)**. Citizens’ voice: a case study about perceived ecosystem services by urban park users in Rotterdam, the Netherlands. *Ecosyst. Serv.* 12, 169–177.
- Burkhard, B., Maes, J. (2017)**. Mapping ecosystem services (1st edn.), Pensoft Publishers, Bulgaria: Sofia, pp. 23-25, 10.3897/ab.e12837
- Commissione Europea. (2014)**. Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects.
- Common Metadata Repository (2024, Marzo 11)**. Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling. https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C2216864285-ORNL_CLOUD.html
- Cortinovis, C., Zulian, G., Geneletti, D. (2018)**. Assessing Nature-Based Recreation to Support Urban Green Infrastructure Planning in Trento (Italy). *Land* 2018, 7, 112; doi: <https://doi.org/10.3390/land7040112>
- Ecosystem Marketplace. (2021)**. State of the Voluntary Carbon Markets 2021. Installment 1: Market in Motion.
- ENEA (2024, Marzo 11)**. Atlante Italiano della radiazione solare. <http://www.solaritaly.enea.it/TabelleRad/TabelleRadIt.php>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (1998)**. Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Crop evapotranspiration, 1-15.
- FAO, IUFRO and USDA. (2021)**. A guide to forest-water management. FAO Forestry Paper No. 185.
- Green, J. K., & Keenan, T. F. (2022)**. The limits of forest carbon sequestration. *Science*, 376(6594), 692-693.
- Huang, H., Zhang, J., Hu, H., Kong, S., Qi, S., & Liu, X. (2022)**. On-road emissions of fine particles and associated chemical components from motor vehicles in Wuhan, China. *Environmental Research*, 210, 112900.
- INventario Emissioni Aria Regione Lombardia – INEMAR (2021)** <https://inemar.arpalombardia.it/inemar/webdata/main.seam>
- IPCC (2022)**. Summary for policymakers. In *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- ISPRA (2023)**. La banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia. <https://fetransp.isprambiente.it/#/ricerca>

- Konijnendijk, C.C Ricard, R.M.; Kenney, A.; Randrup, T.B (2006).** Defining urban forestry— A comparative perspective of North America and Europe. *Urban For. Urban Green.* 4, 93–103.
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., ... & Maes, J. (2022).** Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103564.
- Masiero, M., Biasin, A., Amato, G., Malaggi, F., Pettenella, D., Nastasio, P., & Anelli, S. (2022).** Urban forests and green areas as nature-based solutions for brownfield redevelopment: a case study from Brescia Municipal Area (Italy). *Forests*, 13(3), 444.
- Trading Economics (2024, Marzo 11).** EU Carbon Permits. <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- TEEB [The Economics of Ecosystems and Biodiversity]. (2010).** The economics of ecosystems and biodiversity – Mainstreaming the economics of nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.
- United Nations (2024, Aprile 12).** 2018 Revision of World Urbanization Prospects. Disponibile su: <https://population.un.org/wup/Publications/> .
- Unione Nazionale Rappresentanti Autoveicoli Esteri – UNRAE (2022).** Studio UNRAE: L'automobile: Italiani a confronto.
- Schröter, M., Kraemer, R., Mantel, M., Kabisch, N., Hecker, S., Richter, A., ... & Bonn, A. (2017).** Citizen science for assessing ecosystem services: Status, challenges and opportunities. *Ecosystem Services*, 28, 80-94.
- Strollo, A., Marinosci, I., & Munafò, M. (2018).** I servizi ecosistemici nella città metropolitana di Torino. In: *Strategia Nazionale del verde urbano*. Torino. Tratto da <https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/comitato%20verde%20pubblico>
- World Bank, (The). Partnership for Market Readiness. (2021).** A Guide to Developing Domestic Carbon Crediting Mechanisms. The World Bank. <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/35271>
- Zulian, G., Paracchini, M. L., Maes, J., & Liqueste, C. (2013).** ESTIMAP: Ecosystem services mapping at European scale. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Appendice: Valori medi di rimozione inquinanti, sequestro del carbonio e produzione di ossigeno per specie e classe di diametro.

Specie	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
Acer campestre																
1-10 cm	0,000	0,000	0,016	0,105	0,009	0,103	0,000	0,002	0,006	0,400	0,000	0,000	4,388	0,263	3,192	1,063
11-20 cm	0,005	0,005	0,078	0,512	0,039	0,458	0,004	0,047	0,026	1,774	0,000	0,066	13,385	0,803	9,734	3,242
21-30 cm	0,016	0,016	0,263	1,730	0,130	1,526	0,013	0,145	0,088	5,999	0,003	0,486	31,210	1,873	22,698	7,559
31-40 cm	0,025	0,024	0,395	2,590	0,195	2,287	0,021	0,230	0,132	9,031	0,006	0,972	36,590	2,195	26,611	8,863
41-50 cm	0,031	0,031	0,488	3,201	0,241	2,824	0,026	0,276	0,162	11,070	0,006	0,972	25,114	1,507	18,265	6,083
61-70 cm	0,057	0,057	0,885	5,807	0,437	5,116	0,048	0,521	0,292	20,003	0,011	1,944	2,162	0,130	1,572	0,524
81-90 cm	0,088	0,088	1,403	9,213	0,695	8,139	0,077	0,828	0,465	31,850	0,020	3,402	2,994	0,180	2,177	0,725
Acer platanoides																
1-10 cm	0,000	0,000	0,011	0,075	0,005	0,056	0,000	0,000	0,004	0,253	0,000	0,000	9,814	0,589	7,137	2,377
11-20 cm	0,003	0,003	0,043	0,280	0,021	0,247	0,002	0,026	0,015	0,997	0,000	0,000	26,930	1,616	19,586	6,523
21-30 cm	0,008	0,008	0,125	0,823	0,062	0,729	0,008	0,082	0,041	2,837	0,002	0,389	56,242	3,375	40,903	13,622
31-40 cm	0,013	0,013	0,213	1,396	0,105	1,230	0,011	0,123	0,070	4,813	0,003	0,486	79,623	4,777	57,908	19,286
41-50 cm	0,022	0,022	0,342	2,242	0,168	1,974	0,019	0,202	0,114	7,808	0,004	0,672	110,865	6,652	80,629	26,853
51-60 cm	0,029	0,029	0,462	3,035	0,228	2,675	0,026	0,280	0,153	10,495	0,006	0,991	138,774	8,326	100,927	33,613
61-70 cm	0,038	0,038	0,615	4,039	0,303	3,554	0,035	0,374	0,202	13,866	0,009	1,458	172,439	10,346	125,411	41,767
81-90 cm	0,057	0,057	0,899	5,900	0,445	5,215	0,048	0,521	0,298	20,392	0,011	1,944	110,269	6,616	80,196	26,709
91-100 cm	0,074	0,073	1,168	7,668	0,578	6,777	0,065	0,705	0,386	26,412	0,017	2,916	6,985	0,419	5,080	1,692
Oltre 100 cm	0,083	0,083	1,340	8,794	0,664	7,779	0,072	0,779	0,445	30,491	0,019	3,281	24,269	1,456	17,650	5,878
Acer pseudoplatanus																
1-10 cm	0,001	0,001	0,020	0,133	0,011	0,129	0,001	0,007	0,007	0,503	0,000	0,000	7,248	0,435	5,272	1,756
11-20 cm	0,006	0,005	0,094	0,615	0,046	0,540	0,005	0,055	0,031	2,116	0,001	0,186	21,655	1,299	15,749	5,245
21-30 cm	0,016	0,016	0,244	1,602	0,122	1,425	0,013	0,144	0,082	5,591	0,003	0,486	43,800	2,628	31,855	10,609

Specie	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
31-40 cm	0,023	0,023	0,369	2,420	0,182	2,136	0,020	0,216	0,122	8,374	0,006	0,972	62,893	3,774	45,740	15,233
41-50 cm	0,030	0,030	0,477	3,134	0,236	2,767	0,026	0,286	0,158	10,841	0,006	0,972	87,989	5,279	63,992	21,312
51-60 cm	0,033	0,033	0,539	3,541	0,267	3,130	0,030	0,320	0,178	12,224	0,007	1,215	117,532	7,052	85,478	28,468
61-70 cm	0,042	0,042	0,653	4,288	0,323	3,787	0,036	0,386	0,217	14,876	0,009	1,555	142,968	8,578	103,977	34,628
71-80 cm	0,051	0,051	0,805	5,286	0,398	4,667	0,044	0,475	0,268	18,353	0,011	1,944	173,304	10,398	126,039	41,976
81-90 cm	0,057	0,057	0,919	6,030	0,454	5,315	0,051	0,552	0,303	20,780	0,011	1,944	194,427	11,666	141,401	47,092
Oltre 100 cm	0,136	0,136	2,163	14,201	1,072	12,557	0,119	1,288	0,717	49,135	0,028	4,860	29,771	1,786	21,652	7,211
Aesculus hippocastanum																
1-10 cm	0,003	0,003	0,036	0,239	0,017	0,202	0,002	0,023	0,013	0,889	0,000	0,000	8,637	0,518	6,281	2,092
11-20 cm	0,007	0,007	0,114	0,749	0,056	0,656	0,006	0,066	0,037	2,568	0,002	0,270	20,288	1,217	14,755	4,914
21-30 cm	0,019	0,019	0,308	2,021	0,151	1,775	0,017	0,179	0,102	6,970	0,005	0,871	47,060	2,824	34,225	11,398
31-40 cm	0,027	0,027	0,431	2,831	0,214	2,503	0,024	0,254	0,143	9,812	0,006	0,972	68,490	4,109	49,811	16,589
41-50 cm	0,035	0,035	0,551	3,619	0,273	3,197	0,030	0,326	0,183	12,540	0,008	1,382	102,445	6,147	74,505	24,813
51-60 cm	0,037	0,037	0,591	3,879	0,293	3,429	0,031	0,337	0,196	13,400	0,009	1,458	138,906	8,334	101,023	33,645
61-70 cm	0,036	0,036	0,570	3,744	0,282	3,307	0,031	0,336	0,189	12,967	0,009	1,458	177,810	10,669	129,317	43,068
71-80 cm	0,033	0,033	0,522	3,429	0,259	3,031	0,028	0,307	0,173	11,868	0,007	1,242	216,116	12,967	157,175	52,346
81-90 cm	0,036	0,036	0,576	3,782	0,285	3,340	0,031	0,341	0,191	13,077	0,009	1,458	264,780	15,887	192,567	64,133
91-100 cm	0,041	0,041	0,651	4,271	0,322	3,770	0,035	0,383	0,215	14,760	0,009	1,458	238,002	14,280	173,093	57,647
Oltre 100 cm	0,048	0,048	0,773	5,072	0,383	4,484	0,043	0,460	0,257	17,576	0,011	1,944	155,508	9,330	113,097	37,666
Carpinus betulus																
1-10 cm	0,001	0,001	0,023	0,149	0,010	0,122	0,001	0,007	0,007	0,499	0,000	0,000	9,817	0,589	7,140	2,378
11-20 cm	0,005	0,005	0,073	0,477	0,036	0,421	0,004	0,045	0,024	1,641	0,000	0,054	23,324	1,399	16,963	5,649
21-30 cm	0,013	0,013	0,206	1,351	0,103	1,203	0,011	0,119	0,068	4,645	0,003	0,486	49,812	2,989	36,227	12,065
31-40 cm	0,020	0,020	0,307	2,017	0,152	1,784	0,017	0,183	0,102	7,015	0,004	0,652	58,135	3,488	42,280	14,081
41-50 cm	0,029	0,029	0,469	3,079	0,232	2,720	0,026	0,276	0,155	10,628	0,006	1,053	21,760	1,306	15,825	5,271
51-60 cm	0,035	0,034	0,552	3,626	0,274	3,209	0,030	0,325	0,184	12,585	0,009	1,458	2,794	0,168	2,032	0,677
61-70 cm	0,041	0,041	0,630	4,138	0,312	3,654	0,035	0,378	0,208	14,242	0,009	1,458	3,548	0,213	2,580	0,859

Specie	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
71-80 cm	0,043	0,042	0,659	4,324	0,325	3,809	0,037	0,399	0,218	14,954	0,009	1,458	4,491	0,269	3,266	1,088
81-90 cm	0,040	0,040	0,649	4,262	0,320	3,754	0,037	0,399	0,215	14,760	0,009	1,458	4,990	0,299	3,629	1,209
Oltre 100 cm	0,199	0,199	3,155	20,710	1,561	18,289	0,172	1,859	1,045	71,601	0,044	7,495	28,511	1,711	20,735	6,906
Cedrus deodara																
1-10 cm	0,000	0,000	0,007	0,045	0,003	0,038	0,000	0,000	0,002	0,169	0,000	0,000	11,823	0,709	8,599	2,864
11-20 cm	0,001	0,001	0,025	0,166	0,012	0,145	0,001	0,013	0,008	0,572	0,000	0,000	24,073	1,444	17,508	5,831
21-30 cm	0,006	0,006	0,093	0,609	0,045	0,528	0,006	0,060	0,031	2,119	0,000	0,009	45,180	2,711	32,858	10,943
31-40 cm	0,012	0,012	0,182	1,198	0,091	1,066	0,009	0,100	0,060	4,112	0,003	0,486	61,983	3,719	45,078	15,013
41-50 cm	0,017	0,017	0,277	1,815	0,137	1,607	0,015	0,166	0,092	6,270	0,003	0,559	78,177	4,691	56,856	18,935
51-60 cm	0,024	0,024	0,369	2,424	0,182	2,136	0,020	0,220	0,122	8,351	0,006	0,972	96,813	5,809	70,410	23,449
61-70 cm	0,027	0,027	0,429	2,814	0,212	2,483	0,023	0,249	0,142	9,729	0,006	0,972	116,488	6,989	84,719	28,215
71-80 cm	0,028	0,028	0,446	2,929	0,221	2,591	0,026	0,276	0,147	10,099	0,006	0,972	138,763	8,326	100,919	33,610
81-90 cm	0,028	0,028	0,447	2,936	0,221	2,589	0,026	0,276	0,147	10,099	0,006	0,972	156,629	9,398	113,912	37,937
91-100 cm	0,028	0,028	0,435	2,857	0,216	2,528	0,023	0,245	0,144	9,846	0,006	0,972	174,502	10,470	126,910	42,266
Oltre 100 cm	0,035	0,035	0,556	3,648	0,275	3,222	0,030	0,324	0,184	12,624	0,008	1,319	108,678	6,521	79,038	26,323
Celtis australis																
1-10 cm	0,000	0,000	0,012	0,076	0,006	0,069	0,000	0,002	0,003	0,229	0,000	0,000	3,259	0,196	2,370	0,789
11-20 cm	0,005	0,005	0,070	0,458	0,035	0,406	0,004	0,042	0,023	1,562	0,000	0,073	6,656	0,399	4,840	1,612
21-30 cm	0,013	0,013	0,209	1,373	0,103	1,209	0,011	0,119	0,070	4,809	0,003	0,486	9,944	0,597	7,232	2,409
31-40 cm	0,022	0,022	0,344	2,258	0,170	1,995	0,019	0,203	0,114	7,822	0,005	0,793	12,105	0,726	8,804	2,932
41-50 cm	0,030	0,030	0,471	3,092	0,233	2,729	0,026	0,280	0,157	10,736	0,006	0,972	14,430	0,866	10,494	3,495
51-60 cm	0,036	0,036	0,566	3,714	0,279	3,275	0,030	0,328	0,187	12,841	0,009	1,458	16,615	0,997	12,084	4,024
61-70 cm	0,036	0,036	0,566	3,715	0,280	3,286	0,031	0,336	0,188	12,860	0,009	1,458	17,124	1,027	12,454	4,148
71-80 cm	0,032	0,032	0,516	3,388	0,255	2,990	0,028	0,302	0,171	11,713	0,007	1,169	13,151	0,789	9,564	3,185
81-90 cm	0,029	0,029	0,476	3,124	0,235	2,757	0,026	0,279	0,158	10,811	0,006	0,972	8,926	0,536	6,491	2,162
91-100 cm	0,035	0,035	0,568	3,732	0,281	3,289	0,030	0,322	0,189	12,915	0,009	1,458	2,079	0,125	1,512	0,504
Oltre 100 cm	0,145	0,145	2,307	15,148	1,142	13,376	0,126	1,359	0,765	52,410	0,032	5,476	1,186	0,071	0,863	0,287

Specie	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
Fraxinus excelsior																
1-10 cm	0,001	0,001	0,020	0,132	0,010	0,113	0,001	0,010	0,007	0,479	0,000	0,000	8,622	0,517	6,270	2,088
11-20 cm	0,005	0,005	0,084	0,551	0,041	0,484	0,005	0,051	0,028	1,916	0,001	0,141	22,701	1,362	16,510	5,498
21-30 cm	0,016	0,016	0,266	1,747	0,133	1,556	0,014	0,148	0,088	6,020	0,003	0,504	48,466	2,908	35,248	11,739
31-40 cm	0,025	0,025	0,403	2,643	0,199	2,331	0,022	0,241	0,134	9,160	0,006	0,972	67,377	4,043	49,002	16,320
41-50 cm	0,033	0,033	0,536	3,518	0,265	3,110	0,030	0,321	0,178	12,203	0,007	1,256	96,694	5,802	70,323	23,420
51-60 cm	0,037	0,037	0,571	3,746	0,282	3,305	0,031	0,337	0,189	12,963	0,009	1,458	123,533	7,412	89,842	29,921
61-70 cm	0,034	0,034	0,540	3,543	0,268	3,140	0,030	0,328	0,179	12,254	0,008	1,395	151,908	9,114	110,479	36,794
71-80 cm	0,028	0,028	0,465	3,052	0,230	2,691	0,026	0,276	0,153	10,487	0,006	0,972	190,269	11,416	138,377	46,085
Oltre 100 cm	0,179	0,178	2,829	18,574	1,400	16,410	0,156	1,687	0,938	64,283	0,040	6,805	29,771	1,786	21,652	7,211
Fraxinus ornus																
1-10 cm	0,001	0,001	0,017	0,113	0,009	0,108	0,001	0,007	0,005	0,368	0,000	0,000	3,992	0,239	2,903	0,967
11-20 cm	0,004	0,004	0,071	0,464	0,035	0,409	0,004	0,041	0,023	1,600	0,000	0,073	10,379	0,623	7,548	2,514
21-30 cm	0,016	0,016	0,247	1,623	0,123	1,445	0,014	0,147	0,083	5,676	0,003	0,486	23,843	1,431	17,340	5,775
31-40 cm	0,024	0,024	0,388	2,549	0,192	2,247	0,021	0,231	0,129	8,807	0,006	0,972	26,886	1,613	19,554	6,512
41-50 cm	0,030	0,030	0,484	3,179	0,240	2,812	0,026	0,286	0,161	11,005	0,006	0,972	14,802	0,888	10,765	3,585
51-60 cm	0,034	0,034	0,524	3,443	0,260	3,045	0,028	0,307	0,173	11,847	0,008	1,296	1,331	0,080	0,968	0,322
71-80 cm	0,028	0,028	0,434	2,848	0,214	2,508	0,023	0,245	0,143	9,808	0,006	0,972	2,079	0,125	1,512	0,504
Liriodendron tulipifera																
1-10 cm	0,001	0,001	0,020	0,132	0,010	0,114	0,000	0,005	0,007	0,477	0,000	0,000	7,741	0,464	5,630	1,875
11-20 cm	0,006	0,006	0,093	0,611	0,046	0,539	0,005	0,055	0,031	2,098	0,001	0,190	22,283	1,337	16,206	5,397
21-30 cm	0,015	0,015	0,244	1,604	0,121	1,414	0,013	0,142	0,081	5,524	0,003	0,526	43,381	2,603	31,550	10,507
31-40 cm	0,026	0,026	0,410	2,693	0,203	2,380	0,023	0,245	0,136	9,312	0,006	0,972	65,328	3,920	47,511	15,823
41-50 cm	0,037	0,037	0,591	3,880	0,292	3,425	0,032	0,345	0,196	13,400	0,009	1,467	91,278	5,477	66,384	22,109
51-60 cm	0,054	0,054	0,851	5,587	0,421	4,933	0,046	0,501	0,282	19,291	0,012	2,025	126,555	7,593	92,040	30,653
Ostrya carpinifolia																
1-10 cm	0,001	0,001	0,020	0,129	0,010	0,121	0,001	0,011	0,006	0,415	0,000	0,000	5,307	0,318	3,860	1,285
11-20 cm	0,006	0,006	0,092	0,607	0,046	0,534	0,005	0,054	0,031	2,127	0,001	0,185	16,846	1,011	12,252	4,080

Specie	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
21-30 cm	0,014	0,014	0,217	1,422	0,108	1,262	0,012	0,132	0,072	4,930	0,003	0,486	31,454	1,887	22,876	7,619
31-40 cm	0,021	0,021	0,341	2,241	0,169	1,983	0,018	0,196	0,112	7,691	0,006	0,972	46,403	2,784	33,748	11,239
41-50 cm	0,028	0,028	0,448	2,944	0,222	2,602	0,025	0,266	0,149	10,196	0,006	0,972	67,609	4,057	49,170	16,376
51-60 cm	0,031	0,031	0,495	3,248	0,245	2,873	0,028	0,307	0,164	11,264	0,006	0,972	104,615	6,277	76,083	25,339
81-90 cm	0,040	0,040	0,641	4,206	0,318	3,720	0,034	0,368	0,213	14,566	0,009	1,458	179,791	10,787	130,757	43,547
Platanus x hybrida																
1-10 cm	0,001	0,001	0,016	0,107	0,008	0,095	0,000	0,000	0,005	0,363	0,000	0,000	4,377	0,263	3,183	1,060
11-20 cm	0,003	0,003	0,048	0,317	0,024	0,286	0,003	0,035	0,016	1,086	0,000	0,000	9,915	0,595	7,211	2,402
21-30 cm	0,013	0,013	0,194	1,273	0,097	1,132	0,011	0,118	0,064	4,399	0,003	0,486	25,957	1,557	18,878	6,287
31-40 cm	0,022	0,022	0,347	2,276	0,172	2,012	0,019	0,206	0,115	7,857	0,005	0,815	40,026	2,402	29,109	9,695
41-50 cm	0,031	0,031	0,489	3,210	0,242	2,832	0,027	0,292	0,162	11,082	0,006	1,084	56,943	3,417	41,413	13,792
51-60 cm	0,034	0,034	0,552	3,621	0,273	3,201	0,031	0,330	0,183	12,527	0,009	1,458	76,333	4,580	55,515	18,489
61-70 cm	0,043	0,042	0,670	4,399	0,332	3,885	0,036	0,394	0,223	15,260	0,009	1,524	97,373	5,842	70,816	23,585
71-80 cm	0,054	0,054	0,858	5,636	0,425	4,974	0,047	0,507	0,284	19,471	0,012	2,008	120,632	7,238	87,732	29,218
81-90 cm	0,066	0,066	1,044	6,854	0,516	6,049	0,057	0,621	0,346	23,679	0,014	2,484	142,554	8,553	103,675	34,528
91-100 cm	0,079	0,079	1,240	8,139	0,614	7,189	0,067	0,727	0,411	28,160	0,017	2,986	160,331	9,620	116,605	38,834
Oltre 100 cm	0,186	0,186	2,967	19,477	1,468	17,204	0,162	1,751	0,984	67,399	0,041	6,990	86,462	5,188	62,882	20,942
Populus nigra																
1-10 cm	0,000	0,000	0,006	0,042	0,003	0,037	0,000	0,000	0,001	0,054	0,000	0,000	4,951	0,297	3,600	1,199
11-20 cm	0,003	0,003	0,034	0,222	0,017	0,198	0,002	0,027	0,011	0,740	0,000	0,000	17,176	1,031	12,492	4,160
21-30 cm	0,011	0,011	0,156	1,023	0,077	0,897	0,008	0,090	0,052	3,551	0,003	0,452	42,074	2,524	30,599	10,191
31-40 cm	0,018	0,018	0,290	1,906	0,144	1,682	0,016	0,170	0,096	6,592	0,004	0,645	62,593	3,756	45,523	15,161
41-50 cm	0,029	0,029	0,458	3,005	0,226	2,649	0,025	0,272	0,151	10,347	0,006	1,022	90,570	5,434	65,869	21,937
51-60 cm	0,040	0,040	0,630	4,135	0,312	3,654	0,034	0,369	0,209	14,290	0,009	1,474	121,426	7,286	88,310	29,411
61-70 cm	0,049	0,049	0,781	5,127	0,386	4,521	0,043	0,466	0,259	17,746	0,011	1,944	155,958	9,357	113,424	37,775
71-80 cm	0,051	0,051	0,826	5,425	0,408	4,785	0,045	0,491	0,274	18,741	0,011	1,944	194,214	11,653	141,247	47,041
81-90 cm	0,051	0,051	0,822	5,395	0,406	4,758	0,045	0,489	0,273	18,690	0,011	1,944	229,305	13,758	166,767	55,540
91-100 cm	0,048	0,048	0,777	5,100	0,384	4,496	0,043	0,460	0,257	17,608	0,011	1,944	266,720	16,003	193,978	64,603

Specie	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
Oltre 100 cm	0,045	0,045	0,728	4,781	0,360	4,219	0,040	0,429	0,241	16,508	0,009	1,620	222,738	13,364	161,991	53,950
Prunus cerasifera																
1-10 cm	0,000	0,000	0,013	0,085	0,006	0,071	0,000	0,000	0,004	0,279	0,000	0,000	7,918	0,475	5,758	1,918
11-20 cm	0,004	0,004	0,053	0,346	0,026	0,304	0,003	0,030	0,018	1,230	0,000	0,000	22,809	1,369	16,588	5,525
21-30 cm	0,010	0,010	0,166	1,088	0,082	0,957	0,010	0,104	0,056	3,819	0,003	0,486	50,018	3,001	36,376	12,115
31-40 cm	0,017	0,017	0,267	1,755	0,132	1,552	0,015	0,165	0,089	6,092	0,003	0,569	62,629	3,758	45,549	15,170
41-50 cm	0,023	0,023	0,380	2,497	0,189	2,211	0,021	0,223	0,126	8,601	0,006	0,972	30,508	1,830	22,187	7,389
51-60 cm	0,028	0,028	0,441	2,894	0,218	2,558	0,024	0,261	0,146	10,002	0,006	0,972	3,410	0,205	2,480	0,826
61-70 cm	0,028	0,028	0,450	2,955	0,223	2,616	0,026	0,276	0,150	10,244	0,006	0,972	3,908	0,235	2,843	0,947
71-80 cm	0,028	0,028	0,434	2,848	0,215	2,525	0,023	0,245	0,145	9,905	0,006	0,972	4,823	0,289	3,508	1,168
Pyrus calleryana																
1-10 cm	0,000	0,000	0,018	0,119	0,008	0,095	0,000	0,000	0,006	0,395	0,000	0,000	8,254	0,495	6,003	1,999
11-20 cm	0,003	0,003	0,049	0,320	0,025	0,290	0,003	0,028	0,016	1,110	0,000	0,000	21,629	1,298	15,730	5,239
21-30 cm	0,007	0,007	0,124	0,814	0,062	0,723	0,007	0,077	0,041	2,804	0,002	0,311	43,301	2,598	31,492	10,488
31-40 cm	0,011	0,011	0,193	1,266	0,096	1,129	0,011	0,123	0,065	4,467	0,003	0,486	59,542	3,573	43,303	14,422
Quercus robur																
1-10 cm	0,000	0,000	0,013	0,086	0,007	0,077	0,000	0,000	0,004	0,256	0,000	0,000	13,900	0,834	10,109	3,367
11-20 cm	0,004	0,004	0,057	0,376	0,028	0,327	0,003	0,035	0,019	1,273	0,000	0,026	28,784	1,727	20,934	6,972
21-30 cm	0,013	0,013	0,205	1,348	0,102	1,201	0,011	0,117	0,068	4,643	0,003	0,486	53,925	3,236	39,218	13,061
31-40 cm	0,020	0,020	0,324	2,129	0,161	1,885	0,018	0,192	0,108	7,372	0,004	0,758	71,083	4,265	51,697	17,217
41-50 cm	0,027	0,027	0,423	2,778	0,210	2,456	0,024	0,254	0,140	9,617	0,006	0,972	89,181	5,351	64,859	21,601
51-60 cm	0,036	0,036	0,568	3,730	0,281	3,293	0,031	0,333	0,188	12,901	0,009	1,458	111,077	6,665	80,783	26,904
61-70 cm	0,045	0,045	0,714	4,690	0,354	4,152	0,040	0,429	0,238	16,313	0,009	1,458	135,550	8,133	98,582	32,832
91-100 cm	0,048	0,048	0,768	5,044	0,380	4,451	0,043	0,460	0,255	17,479	0,011	1,944	175,633	10,538	127,733	42,540
Oltre 100 cm	0,238	0,237	3,779	24,809	1,871	21,92 4	0,207	2,239	1,253	85,840	0,051	8,749	29,771	1,786	21,652	7,211
Robinia pseudoacacia																
1-10 cm	0,001	0,001	0,017	0,112	0,009	0,100	0,000	0,000	0,006	0,392	0,000	0,000	10,706	0,642	7,786	2,593

Specie	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
11-20 cm	0,004	0,004	0,057	0,371	0,028	0,326	0,003	0,035	0,019	1,283	0,000	0,000	25,237	1,514	18,354	6,113
21-30 cm	0,011	0,011	0,169	1,112	0,084	0,979	0,008	0,089	0,056	3,865	0,003	0,486	56,269	3,376	40,923	13,629
31-40 cm	0,017	0,017	0,267	1,753	0,131	1,539	0,014	0,154	0,088	6,044	0,003	0,569	84,314	5,059	61,319	20,422
41-50 cm	0,022	0,022	0,354	2,322	0,175	2,045	0,019	0,204	0,117	8,008	0,006	0,972	117,539	7,052	85,483	28,469
51-60 cm	0,026	0,026	0,419	2,751	0,207	2,422	0,023	0,249	0,139	9,538	0,006	0,972	158,884	9,533	115,552	38,484
61-70 cm	0,031	0,031	0,494	3,241	0,245	2,871	0,027	0,289	0,163	11,151	0,006	0,972	206,651	12,399	150,292	50,053
71-80 cm	0,031	0,031	0,491	3,226	0,243	2,846	0,026	0,286	0,163	11,135	0,006	0,972	257,628	15,458	187,366	62,401
81-90 cm	0,028	0,028	0,471	3,089	0,232	2,724	0,026	0,276	0,156	10,681	0,006	0,972	304,031	18,242	221,113	73,640
91-100 cm	0,027	0,027	0,420	2,754	0,207	2,425	0,023	0,245	0,140	9,613	0,006	0,972	303,781	18,227	220,932	73,579
Tilia platyphyllos																
1-10 cm	0,000	0,000	0,017	0,110	0,008	0,089	0,000	0,001	0,006	0,407	0,000	0,000	4,643	0,279	3,377	1,125
11-20 cm	0,004	0,004	0,066	0,430	0,032	0,380	0,004	0,040	0,022	1,485	0,000	0,028	15,375	0,922	11,182	3,724
21-30 cm	0,011	0,011	0,190	1,248	0,095	1,110	0,011	0,117	0,063	4,289	0,003	0,486	33,108	1,986	24,079	8,019
31-40 cm	0,021	0,021	0,337	2,216	0,167	1,959	0,018	0,200	0,112	7,678	0,005	0,810	50,251	3,015	36,546	12,171
41-50 cm	0,030	0,030	0,482	3,163	0,238	2,792	0,026	0,285	0,160	10,959	0,006	1,057	68,986	4,139	50,172	16,709
51-60 cm	0,037	0,037	0,587	3,854	0,290	3,403	0,032	0,348	0,194	13,300	0,009	1,458	89,261	5,356	64,917	21,620
61-70 cm	0,040	0,040	0,626	4,110	0,310	3,635	0,034	0,368	0,207	14,197	0,009	1,458	112,761	6,766	82,008	27,312
71-80 cm	0,043	0,043	0,688	4,514	0,340	3,985	0,038	0,408	0,228	15,604	0,009	1,536	135,716	8,143	98,703	32,872
81-90 cm	0,051	0,051	0,804	5,281	0,399	4,675	0,044	0,475	0,266	18,256	0,011	1,944	164,240	9,854	119,447	39,781
Ulmus glabra																
1-10 cm	0,000	0,000	0,012	0,077	0,007	0,077	0,000	0,000	0,004	0,263	0,000	0,000	6,954	0,417	5,057	1,684
11-20 cm	0,003	0,003	0,051	0,336	0,026	0,299	0,003	0,033	0,016	1,128	0,000	0,000	20,893	1,254	15,195	5,061
21-30 cm	0,011	0,011	0,192	1,258	0,094	1,106	0,011	0,116	0,062	4,269	0,003	0,486	50,706	3,042	36,877	12,282
31-40 cm	0,019	0,019	0,301	1,975	0,149	1,749	0,016	0,177	0,100	6,831	0,004	0,707	73,103	4,386	53,166	17,706
41-50 cm	0,025	0,025	0,402	2,641	0,199	2,331	0,022	0,233	0,134	9,153	0,006	0,972	103,410	6,205	75,207	25,047
51-60 cm	0,028	0,028	0,436	2,863	0,216	2,526	0,023	0,246	0,145	9,908	0,006	0,972	137,506	8,250	100,004	33,306
61-70 cm	0,028	0,028	0,441	2,892	0,217	2,549	0,025	0,266	0,147	10,037	0,006	0,972	171,827	10,310	124,965	41,619
71-80 cm	0,025	0,025	0,400	2,624	0,197	2,312	0,022	0,236	0,132	9,070	0,006	0,972	213,055	12,783	154,949	51,604

Specie	CO (kg/a)	CO (€/a)	O3 (kg/a)	O3 (€/a)	NO2 (kg/a)	NO2 (€/a)	SO2 (kg/a)	SO2 (€/a)	PM10 (kg/a)	PM10 (€/a)	PM2.5 (kg/a)	PM25 (€/a)	CO2 (kg/a)	CO2 (€/a)	O2 (kg/a)	O2 (€/a)
81-90 cm	0,028	0,027	0,441	2,895	0,218	2,558	0,025	0,268	0,147	10,081	0,006	0,972	261,922	15,715	190,489	63,441
91-100 cm	0,034	0,034	0,553	3,629	0,275	3,222	0,031	0,337	0,184	12,624	0,009	1,458	290,725	17,444	211,437	70,417
Ulmus minor ssp. angustifolia																
1-10 cm	0,001	0,001	0,018	0,120	0,009	0,103	0,000	0,000	0,006	0,410	0,000	0,000	7,569	0,454	5,504	1,833
11-20 cm	0,004	0,004	0,055	0,361	0,027	0,319	0,003	0,036	0,018	1,244	0,000	0,000	16,447	0,987	11,961	3,984
21-30 cm	0,012	0,012	0,193	1,268	0,095	1,116	0,011	0,115	0,064	4,366	0,003	0,486	38,751	2,325	28,182	9,386
31-40 cm	0,021	0,021	0,327	2,149	0,162	1,898	0,018	0,194	0,109	7,455	0,005	0,785	41,907	2,514	30,478	10,150
41-50 cm	0,026	0,026	0,412	2,707	0,204	2,389	0,022	0,243	0,137	9,377	0,006	0,972	15,846	0,951	11,524	3,838
51-60 cm	0,028	0,028	0,437	2,867	0,216	2,531	0,023	0,247	0,145	9,917	0,006	0,972	2,406	0,144	1,750	0,583
61-70 cm	0,028	0,028	0,438	2,875	0,216	2,536	0,024	0,262	0,146	9,971	0,006	0,972	3,004	0,180	2,185	0,728
71-80 cm	0,025	0,025	0,395	2,592	0,195	2,288	0,021	0,232	0,131	8,969	0,006	0,972	3,681	0,221	2,677	0,892
81-90 cm	0,026	0,025	0,409	2,686	0,203	2,381	0,023	0,245	0,137	9,387	0,006	0,972	4,158	0,249	3,024	1,007
91-100 cm	0,034	0,034	0,533	3,499	0,264	3,089	0,029	0,319	0,177	12,119	0,007	1,264	5,089	0,305	3,701	1,233
Oltre 100 cm	0,044	0,044	0,695	4,564	0,344	4,036	0,038	0,414	0,230	15,731	0,009	1,458	6,320	0,379	4,596	1,531



E | T | I | F | O | R
v a l u i n g n a t u r e