

POLITECNICO DI TORINO

COLLEGIO DI INGEGNERIA CIVILE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Forestazione urbana al Parco Colonnetti (Torino):
determinazione dei Servizi Ecosistemici

Relatore:

Prof. Roberto Revelli

Candidato:

Ivano Lagonigro

Correlatore:

Ing. Francesco Busca

Anno accademico 2020/2021

«Siamo la prima generazione che ha una chiara idea del valore della natura e dell'enorme impatto che le abbiamo causato. Possiamo però essere anche l'ultima che può agire per invertire questo trend. Ci troviamo in un momento decisivo della storia»

WWF, 2018

Abstract

Il periodo che intercorre tra la fine del ventesimo e l'inizio del ventunesimo secolo è caratterizzato da un legame tra natura e popolazione che si sta via via conducendo verso la rottura. I motivi sono diversi tra cui il sovrasfruttamento di risorse, aumento degli inquinanti atmosferici, cambiamenti climatici, perdita di biodiversità ecc.; tali problematiche influiscono direttamente e indirettamente sul benessere delle persone. Per riuscire a superare questi problemi o quantomeno per mitigarne gli effetti, uno strumento che sicuramente può rivelarsi d'aiuto è rappresentato dalla vegetazione. Un polmone verde immesso in una realtà urbana è in grado di fornire benefici alla comunità: i Servizi Ecosistemici (SE).

Il presente elaborato si presenta con l'obiettivo di effettuare l'analisi e la quantificazione dei servizi ecosistemici forniti dal parco Colonnetti sito in zona Mirafiori sud a Torino. Lo strumento utilizzato è i-Tree, una suite di software progettata e sviluppata dal Servizio Forestale degli Stati Uniti d'America che è in grado di lavorare sia in piccola che larga scala. In particolare, l'applicativo utilizzato è i-Tree Eco, che a partire da dati di campo e dati ambientali (concentrazioni orarie di inquinanti, precipitazioni orarie) è in grado di stimare la struttura della foresta urbana, i SE ambientali e i relativi valori economici.

Dopo aver analizzato lo scenario principale, ovvero quello in cui si presenta oggi il parco Colonnetti, sono stati proposti altri scenari al fine di mostrare sia i punti di forza e/o debolezza del software, sia per considerare scenari potenzialmente realizzabili in futuro, per poi confrontare i risultati. Questo strumento, come si può ben capire, si rivela un valido supporto per le amministrazioni comunali nella pianificazione territoriale.

The period between the end of the twentieth and the beginning of the twenty-first century is characterized by a link between nature and population that is gradually leading to rupture. There are many reasons for this, including overexploitation of resources, increasing air pollutants, climate change, loss of biodiversity, etc.; these problems directly and indirectly affect people's well-being. In order to overcome these problems or at least to mitigate their effects, a tool that can certainly be of help is represented by vegetation. A green lung inserted in an urban reality is able to provide benefits to the community: Ecosystem Services (ES).

The purpose of this work is to analyze and quantify the ecosystem services provided by the Colonnetti Park located in the area of Mirafiori Sud in Turin. The tool used is i-Tree, a software suite designed and developed by the U.S. Forest Service able to work on both small and large scale. In particular, the application used is i-Tree Eco, which starting from field data and environmental data (hourly concentrations of pollutants, hourly rainfall) is able to estimate the structure of the urban forest, the environmental ES and the related economic values.

After analyzing the main scenario, i.e. the one in which Colonnetti Park is today, other scenarios were proposed both to show the strengths and/or weaknesses of the software and to consider scenarios that could potentially be realized in the future, and then compare the results. This tool, as you can well understand, proves to be a valuable support for municipal administrations in territorial planning.

SOMMARIO

Abstract	1
1. INTRODUZIONE	5
1.1 Biodiversità	5
1.2 Incremento demografico e consumo delle risorse	7
1.3 Overshoot Day	9
1.4 Consumo di suolo legato all'urbanizzazione	12
1.5 Verde urbano	15
1.5.1 <i>Excursus sul verde in Europa e in Italia</i>	18
2. SERVIZI ECOSISTEMICI	20
2.1 Definizioni	20
2.2 Valutazione Monetaria dei Servizi Ecosistemici	30
2.2.1 <i>Pagamento dei Servizi Ecosistemici (PES)</i>	32
3. SOFTWARE I-TREE	33
3.1 Presentazione della suite	33
3.2 Breve descrizione degli applicativi di i-Tree	35
4. APPROFONDIMENTO DELL'APPLICATIVO I-TREE ECO	40
4.1 Presentazione dell'applicativo Eco	40
4.2 Accenno sul modello alla base di i-Tree Eco	42
4.3 I-Tree Database	43
4.4 Step per l'utilizzo di Eco (Fonte: Manuale utenti i-Tree Eco v6)	46
5. CASO APPLICATIVO: UTILIZZO DEL SOFTWARE I-TREE PER IL PARCO COLONNETTI DI TORINO	63
5.1 Il verde nella città di Torino	63
5.2 Inquadramento del parco Colonnetti nel contesto Torinese	65
5.3 Applicazione di i-Tree Eco al Parco Colonnetti	68
5.3.1 <i>Pianificazione del progetto e inserimento dei dati su i-Tree Eco</i>	68

5.3.2	<i>Reperimento dei dati di campo</i>	72
5.3.3	<i>Risultati</i>	76
5.4	Valutazione di scenari diversi	100
5.4.1	<i>Scenario 1 – assenza di alberi e arbusti (100% prato)</i>	101
5.4.2	<i>Scenario 2 – unica specie (Salix Babylonica)</i>	102
5.4.3	<i>Scenario 3 – unica specie (Carpinus Betulus)</i>	105
5.4.4	<i>Scenario 4 – assenza di arbusti</i>	109
5.4.5	<i>Scenario 5 – estinzione del Cedrus Atlantica</i>	111
6.	CONSIDERAZIONI FINALI	114
	Ringraziamenti	119
	Bibliografia.....	121
	Siti web.....	126

1. INTRODUZIONE

1.1 Biodiversità

La pandemia COVID-19 è una forte manifestazione del nostro rapporto con la natura, ormai spezzato, ed evidenzia la profonda interconnessione tra la salute della popolazione umana e il pianeta. La natura è fondamentale per l'esistenza umana e per garantire una buona qualità della vita, dal momento che fornisce e mantiene l'aria, l'acqua dolce e il suolo da cui tutti dipendiamo. Regola inoltre il clima, garantisce l'impollinazione, il controllo dei parassiti e riduce l'impatto degli eventi naturali. La natura è la "casa" della biodiversità ed è indispensabile la sua conservazione per la vita di tutti gli esseri viventi del pianeta.

La biodiversità è "Il frutto di miliardi di anni di evoluzione, modellato da processi naturali e, sempre più, dall'influenza dell'uomo. Essa forma la rete della vita di cui siamo parte integrante e da cui dipendiamo in modo completo. La biodiversità comprende anche la vasta gamma di ecosistemi come quelli che si trovano nei deserti, nelle foreste, nelle zone umide, sulle montagne, nei laghi, nei fiumi e nei paesaggi agricoli. In ogni ecosistema, tutte le creature viventi, compresi gli esseri umani, formano una comunità, interagendo tra loro e con l'aria, l'acqua e il suolo che le circonda" (CDB, 2020).

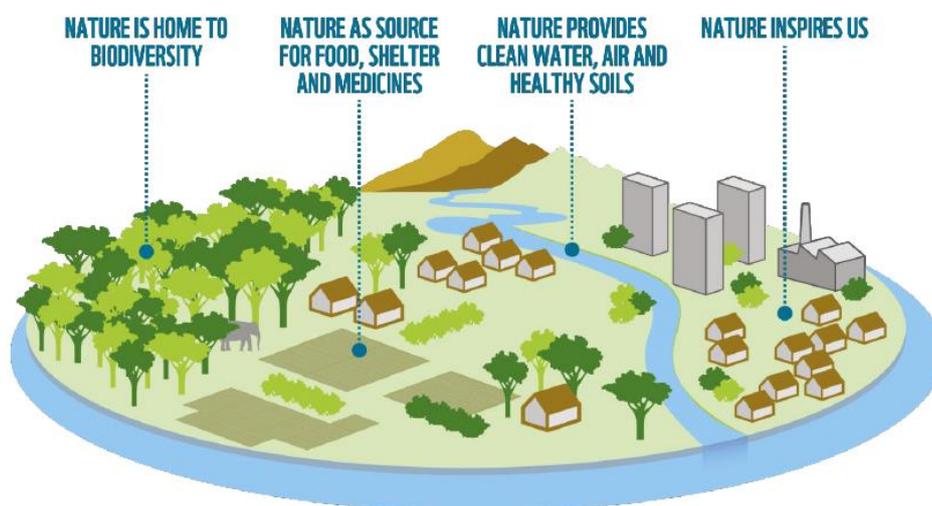


Figura 1.1 – L'importanza della natura per le persone; la natura ci fornisce beni e servizi vitali. (Adattata da Van Oorschot et al., 2016)

Lo sfruttamento eccessivo di piante e animali sta riducendo sempre più la capacità della natura di continuare ad offrirci tutto questo in futuro. Per il bene del nostro Pianeta è giunto

il momento di concordare un New Deal per la natura e l'uomo, con l'impegno di fermare e invertire la perdita della natura entro il 2030 e costruire una società carbon-neutral¹ e nature-positive, cercando di scegliere soluzioni basate sulla natura (NBS)² [1].

A dispetto di tutti gli sforzi che sono stati realizzati fin ora per ridurre e bloccare la perdita di biodiversità attraverso accordi globali, come la Convenzione sulla Diversità Biologica (CDB), si sta comunque fallendo nell'invertire la tendenza di questo trend (figura 1.2). Per ottenere risultati concreti nella lotta al cambiamento climatico, nell'applicazione dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, SDGs) e della Agenda 2030 (figura 1.3), approvata da tutti i paesi del mondo nel settembre 2015, è fondamentale invertire l'andamento della perdita della natura e della biodiversità; a tal proposito, è di fondamentale aiuto comprendere le tendenze della popolazione globale e anticipare i cambiamenti demografici.

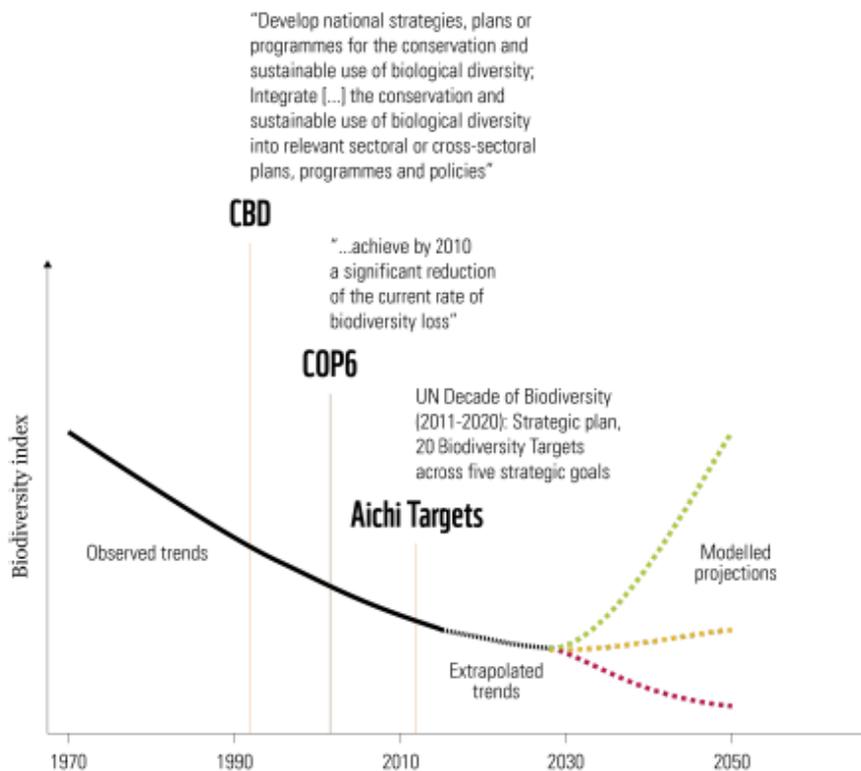


Figura 1.2 – Calo della biodiversità in aumento nonostante i ripetuti sforzi politici volti a mitigare o arrestare il tasso di perdita (Ridisegnato da Mace et al. 2018)

¹ Una società che viene definita “carbon neutral” o “carbon free” sta rimuovendo la stessa quantità di anidride carbonica che emette nell'atmosfera per raggiungere l'obiettivo zero emissioni [1].

² Le soluzioni basate sulla natura o nature-based solution (NBS) sono metodologie atte a risolvere problemi comuni con la differenza che aiutano ad affrontare i cambiamenti climatici fornendo benefici per la conservazione della biodiversità; sono azioni positive in grado di fornire vantaggi combinati a livello ambientale, economico e sociale [1].



Figura 1.3 – Sustainable Development Goals (SDG) (ONU, 2015)

Negli ultimi cinquant'anni il nostro mondo si è trasformato per via dell'esplosione del commercio globale, dei consumi e della crescita della popolazione umana, oltre che da un grandissimo incremento dell'urbanizzazione. Queste tendenze stanno portando alla distruzione e al degrado della natura, nonché al sovrasfruttamento delle risorse naturali. Pochi paesi ormai, conservano la maggior parte delle ultime aree selvagge rimaste e il nostro mondo naturale si sta trasformando più rapidamente che mai (*lpr, 2020*).

Il documento della *Ecological Society of America (2004)* evidenzia come il secolo in cui viviamo sarà caratterizzato da problematiche ambientali, derivanti dal continuo aumento della popolazione umana che provocherà sugli ecosistemi esistenti un impatto antropico devastante mai visto prima [2].

1.2 Incremento demografico e consumo delle risorse

Da quanto reso noto dal WPP (*World Population Prospects, 2019*), la popolazione mondiale continua a crescere, anche se ad un ritmo più lento se confrontato nel tempo a partire dal 1950 ad oggi (*figura 1.4*). La popolazione mondiale ha raggiunto i 7,7 miliardi a metà del 2019, un miliardo di persone in più dal 2007 e due miliardi in più dal 1994. Volendo descrivere il grafico di *figura 1.4*, il tasso di crescita della popolazione mondiale ha raggiunto il picco nel 1965-1970, aumentando in media del 2,1% all'anno. Da allora però il ritmo di crescita della popolazione mondiale si è dimezzato, scendendo al di sotto dell'1,1% all'anno nel 2015-2020, e si prevede che continuerà a rallentare fino alla fine di questo secolo. Secondo lo studio fatto, la popolazione mondiale dovrebbe raggiungere gli 8,5

miliardi nel 2030, passando a 9,7 miliardi nel 2050 e 10,9 miliardi nel 2100. C'è un'incertezza intrinseca nelle proiezioni demografiche, e a livello globale, tale incertezza dipende dalla gamma di tendenze future plausibili in termini di fertilità, mortalità e migrazione internazionale, che sono stati valutati per ogni paese o area utilizzando metodi demografici e statistici. La precisione dei dati si attesta attorno al 95%, pertanto si ha una varianza attorno al valore stimato della popolazione mondiale. In particolare, tra 8,5 e 8,6 miliardi nel 2030, tra 9,4 e 10,1 miliardi nel 2050 e tra 9,4 e 12,7 miliardi nel 2100.

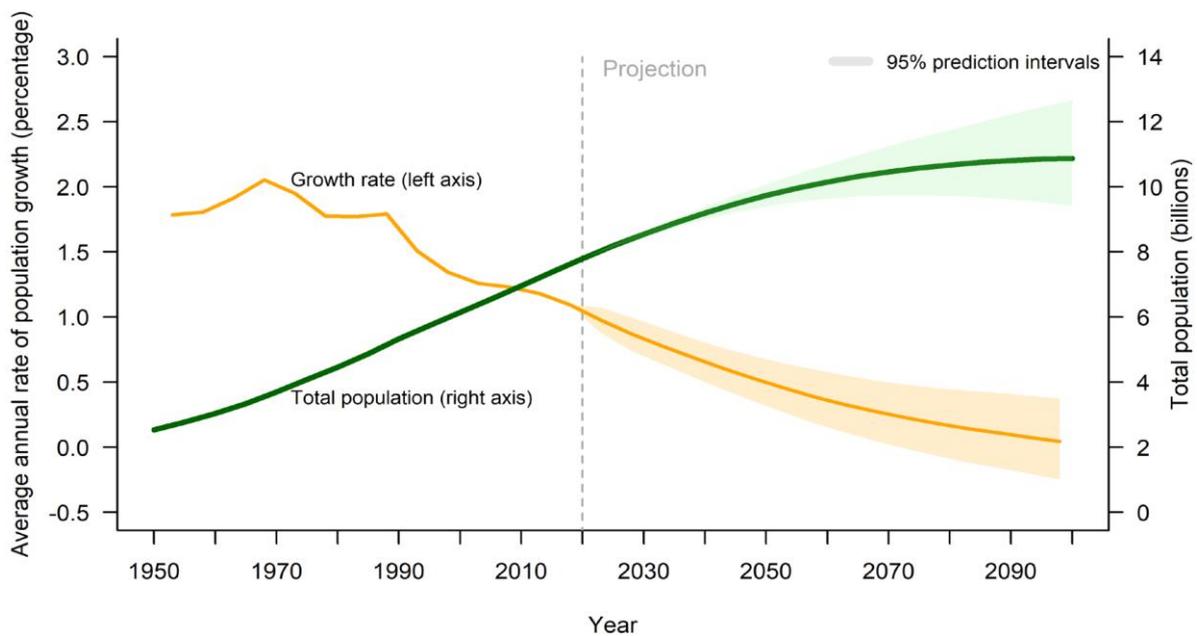


Figura 1.4 – Dimensioni della popolazione e tasso di crescita annuo per le stime mondiali 1950-2020 e proiezione media-variante con intervalli di previsione del 95%, 2020-2100 (World Population Prospect, 2019)

	Population (billions)	Births (millions)	Deaths (millions)
	2030	2030-2035	
Medium variant projection [95% PI]	8.5 [8.5 - 8.6]	139.6 [126.9 - 152.2]	71.8 [68.2 - 75.1]
PI vs. medium variant (% difference)	-1.0% to +1.0%	-9.1% to +9.0%	-5.1% to +4.6%
	2050	2050-2055	
Medium variant projection [95% PI]	9.7 [9.4 - 10.1]	140.0 [120.6 - 161.2]	95.4 [90.3 - 100.0]
PI vs. medium variant (% difference)	-3.5% to +3.5%	-13.8% to +15.1%	-5.3% to +4.9%
	2100	2095-2100	
Medium variant projection [95% PI]	10.9 [9.4 - 12.7]	125.9 [94.2 - 171.3]	121.2 [115.7 - 127.3]
PI vs. medium variant (% difference)	-13.3% to +16.4%	-25.2% to +36.0%	-4.6% to +5.0%

Figura 1.5 – Popolazione globale prevista nel 2030, 2050 e 2100 e nascite e decessi medi annui nel 2030-2035, 2050-2055 e 2095-2100, secondo la proiezione a media variante e intervalli di previsione del 95% (PI) (WPP, 2019)

L'aumento della popolazione comporta un incremento nell'uso antropico del suolo che va a sovra sfruttare le risorse offerte dal pianeta. Di conseguenza, queste diminuiscono prima

che la Terra possa rigenerarle e gli effetti diventano visibili non solamente dal punto di vista ambientale ma anche a livello sociale determinando un aumento disuniforme della povertà. Non a caso, infatti, oltre due miliardi di persone vivono in zone aride del pianeta e soffrono di problemi come la malnutrizione, la mortalità infantile e le malattie connesse alla mancanza di acqua potabile (*Millennium Ecosystem Assessment, 2005*).

La povertà e la degradazione della natura sono dunque due fattori correlati; difatti le comunità povere, hanno spesso minori possibilità di scelta per la conservazione delle proprie risorse naturali, senza considerare che, in molti casi, il loro sfruttamento con la conseguente perdita di servizi, costi ambientali e sociali che ne derivano sono a carico di soggetti o comunità non direttamente coinvolti nello sfruttamento della risorsa (*Costanza, 2008*). Ne consegue che i Paesi sviluppati, sebbene non siano totalmente in grado di proteggersi da catastrofi naturali, risultano comunque avere maggiori capacità nel trovare soluzioni alternative alle risorse naturali, trasferendo le conseguenze del danno in altre regioni o lasciandolo in eredità alle generazioni future.

1.3 Overshoot Day

A proposito dell'impronta ecologica della popolazione sulla Terra, da qualche decennio è stato introdotto l'Earth Overshoot Day [4], che segna la data in cui la domanda dell'umanità di risorse e servizi ecologici in un dato anno supera ciò che la Terra può rigenerare in quell'anno. È calcolato dal Global Footprint Network, un'organizzazione di ricerca internazionale che stima l'impronta ecologica dell'uomo e la capacità del pianeta e delle diverse nazioni di rigenerare le risorse consumate dalle attività antropiche. L'obiettivo è sensibilizzare governi locali e nazionali, investitori, opinion leader e società civili affinché le loro azioni e decisioni siano informate, sostenibili e tengano conto dei limiti di risorse della Terra anche perché è già da un po' di anni, circa dal 1970, che la nostra Impronta Ecologica è stata maggiore rispetto al tasso di rigenerazione delle risorse della Terra. Questo superamento genera ricadute dirette sulla salute del pianeta e, con essa, le prospettive dell'umanità. Sia il consumo umano che le risorse naturali sono distribuiti in maniera non omogenea sul pianeta e il modello di consumo umano non coincide con la disponibilità delle risorse, in quanto esse non vengono necessariamente consumate nel luogo di estrazione. L'Impronta Ecologica pro capite, tra i vari Paesi, fornisce informazioni sull'efficacia nell'uso delle risorse, sui rischi e sulle opportunità per i singoli Paesi. I diversi livelli di Impronta

Ecologica sono dovuti a diversi stili di vita e modelli di consumo, tra cui la quantità di cibo, beni e servizi che i residenti consumano, le risorse naturali che utilizzano e l'anidride carbonica emessa per fornire questi beni e servizi (figura 1.6).

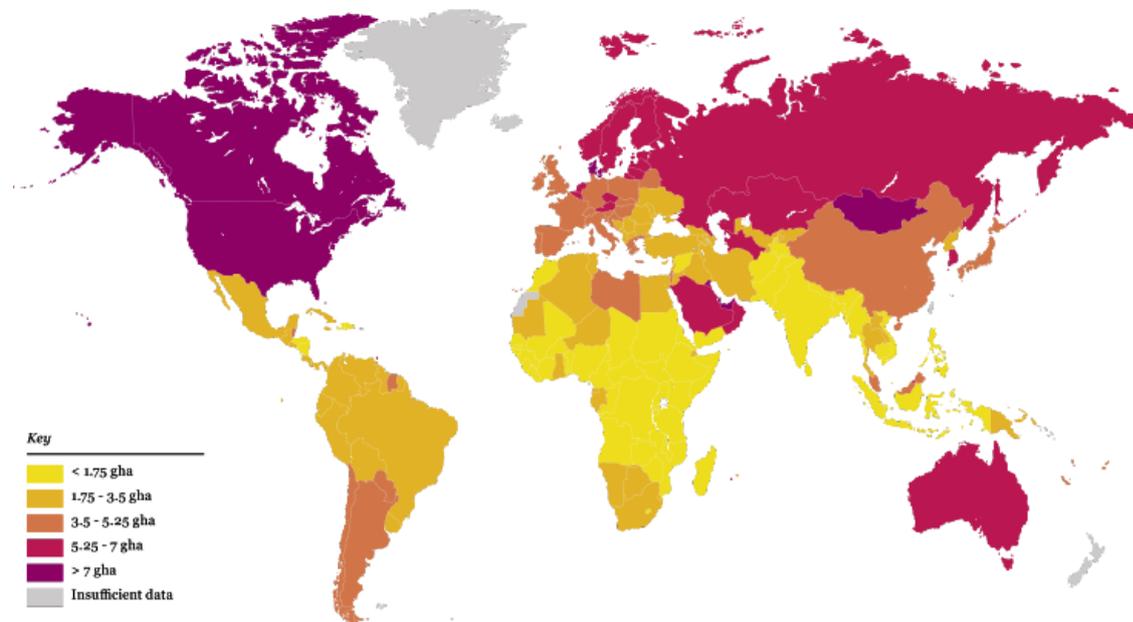


Figura 1.6 – Mappa rappresentante i Paesi debitori e i Paesi creditori nei confronti della biocapacità della Terra.
(Global Footprint Network National Footprint Accounts, 2019) [5]

Gli sforzi dell'umanità per contenere la pandemia di coronavirus e il conseguente rallentamento economico hanno ridotto l'Impronta dell'umanità. Tuttavia, questo cambiamento è lontano dagli obiettivi che si vorrebbero raggiungere. Praticamente, per determinare la data dell'Earth Overshoot Day si divide la biocapacità³ del pianeta per l'impronta ecologica dell'umanità⁴ e poi si moltiplica per 365, il numero di giorni in un anno, o 366 per l'anno bisestile:

$$Earth\ Overshoot\ Day = \left(\frac{Biocapacità\ del\ Pianeta}{Impronta\ Ecologica\ dell'Umanità} \right) \times 365$$

Per l'anno in corso, ovvero il 2021, l'Earth Overshoot Day è stato registrato nella giornata del 29 luglio, anticipando di circa tre settimane quello relativo all'anno 2020 che si è verificato il 22 agosto a causa della pandemia da Covid-19. Come si può notare, la data si sta

³ La biocapacità della Terra è la quantità di risorse ecologiche che la Terra è in grado di generare quell'anno;

⁴ L'impronta ecologica dell'umanità è la richiesta di risorse dell'umanità per quell'anno.

già avvicinando a quella precedente alla pandemia, ovvero il 26 luglio nel 2019, e dev'essere l'obiettivo comune spostarla più avanti possibile.

L'umanità attualmente usa il 74% in più di risorse rispetto a quelle che gli ecosistemi del pianeta possono rigenerare, in altri termini, sarebbero necessarie l'equivalente di 1,7 Terre per soddisfare il fabbisogno dell'umanità (2021). Dall'Earth Overshoot Day fino alla fine dell'anno, l'umanità è in debito ecologico. Tale debito con il passare degli anni sta diventando sempre maggiore se comparato dagli anni '70 ad oggi e lo si può notare in *figura 1.7*:

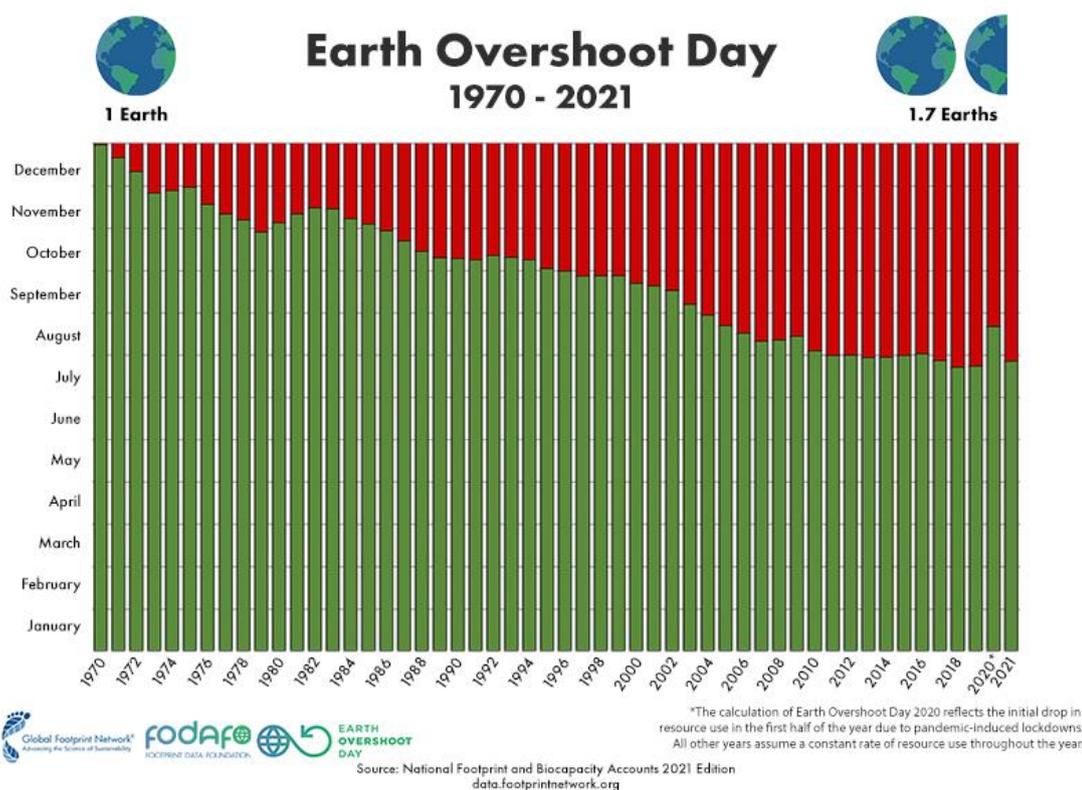


Figura 1.7 – Earth Overshoot Day dal 1970 al 2021 (Global Footprint Network, 2021)

Il Global Footprint Network individua anche il Country Overshoot Day per i diversi Paesi, ovvero la data in cui cadrebbe l'Earth Overshoot Day se tutta l'umanità consumasse come gli abitanti di una determinata nazione. Quest'anno per l'Italia, il Country Overshoot Day è stato il 13 maggio, l'anno scorso (2020) il 14 maggio, mentre nel 2019 il 15 maggio. Per il Global Footprint Network, l'Italia, ha speso tutto ciò che possedeva nel salvadanaio ecologico e avrebbe bisogno di un territorio grande tre volte l'Italia per produrre le risorse necessarie a soddisfare i loro consumi. Se l'umanità, nel 2021, avesse consumato le risorse alla stessa velocità del Qatar, dal 9 febbraio sarebbe stata in debito fino alla fine dell'anno.

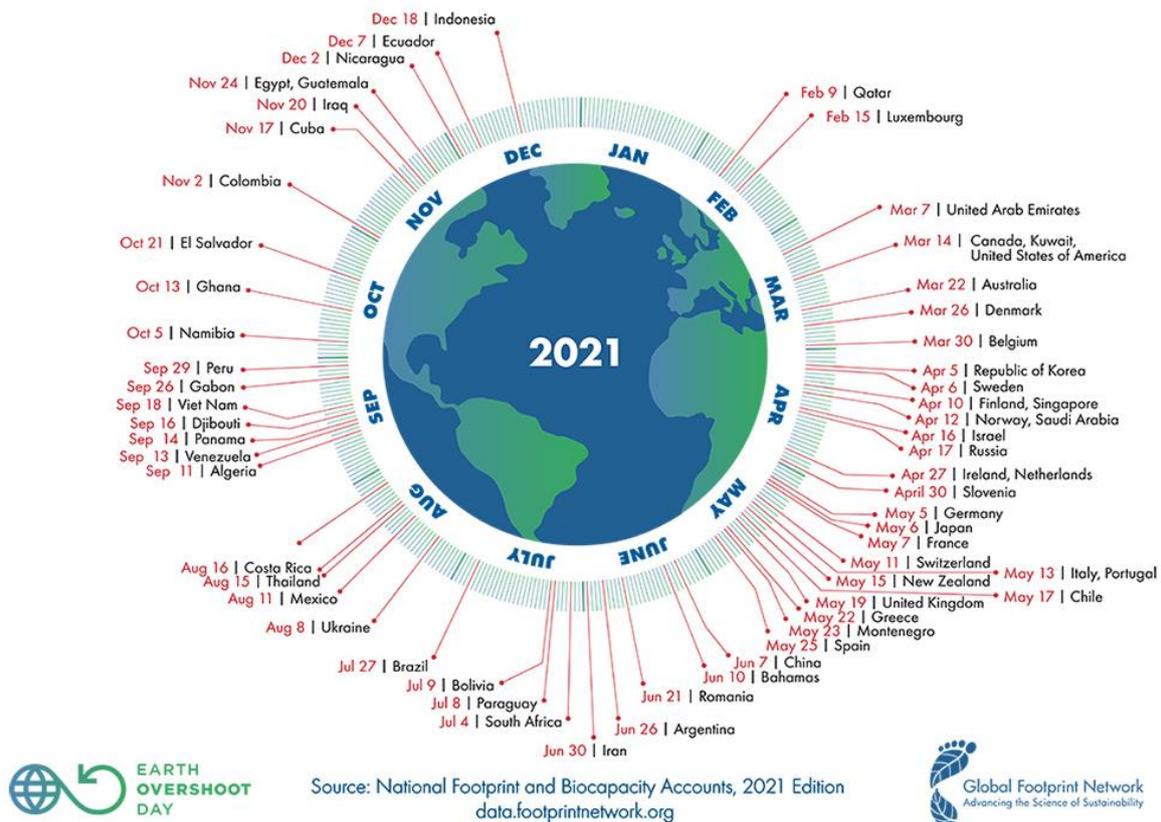


Figura 1.8 – Country Overshoot Day 2021 (Global Footprint Network, 2021)

1.4 Consumo di suolo legato all'urbanizzazione

La crescita urbana è strettamente correlata a tre aspetti dello sviluppo sostenibile: sociale, economico e ambientale. Un'urbanizzazione ben gestita, cioè consapevole dell'andamento della popolazione in un intervallo di tempo abbastanza ampio, può aiutare a massimizzare i benefici degli alti livelli di densità riducendo al minimo il degrado ambientale e altri potenziali impatti negativi dovuti alla crescita del numero di abitanti delle città. Al crescere della popolazione, lo spazio disponibile diminuisce e l'antropizzazione della superficie terrestre aumenta. Oggi più della metà delle terre emerse è interessata, direttamente o indirettamente, dall'antropizzazione ed in particolare: il 13% è adibito alla coltivazione, il 26% per pascoli, l'8% per foreste con fini produttivi, il 4% per infrastrutture ed attività economiche e infine il 3% per insediamenti urbani. Nel complesso, il 54% delle terre emerse è direttamente o indirettamente coinvolto nell'attività dell'uomo. Del rimanente 46% delle terre emerse in stato quasi naturale, buona parte è inadatto alla vita dell'uomo, perché situata nelle zone artiche, desertiche o di alta montagna (LeB. Hooke, 2012).

Osservando nel tempo il fenomeno dell'urbanizzazione, esso ha avuto un trend positivo già nel secolo scorso e sta continuando a crescere secondo quanto asserito nel World Urbanization Prospects del 2018 (United Nations, 2018). A livello globale, oggi, il numero di persone che vivono nelle aree urbane è maggiore di quelle che vivono in zone rurali. Nel 2018, il 55% della popolazione mondiale, circa 4,2 miliardi, risiedeva nelle aree urbane rispetto a 3,4 miliardi nelle zone rurali. Nel 1950, più di due terzi (70%) della popolazione mondiale viveva in insediamenti rurali, mentre dal 2007, per la prima volta nella storia, la popolazione urbana globale ha superato la popolazione rurale globale, e da allora il numero degli abitanti risiedenti in città ha continuato a crescere più veloce della popolazione rurale (figura 1.9). Secondo l'Agenda per lo sviluppo sostenibile del 2030, la popolazione mondiale che vive nelle aree urbane dovrebbe raggiungere il 60%. È previsto che entro il 2050, il mondo sarà più di due terzi urbanizzato (68%), più o meno il contrario della distribuzione globale della popolazione rurale-urbana della metà del XX secolo. Il livello di urbanizzazione dovrebbe aumentare in tutte le regioni, ma con notevole variazione nei diversi paesi del mondo. L'Europa ha registrato che quasi tre quarti della sua popolazione viveva in aree urbane nel 2018, e dovrebbe raggiungere l'80% nel 2040 e quasi l'85% entro 2050.

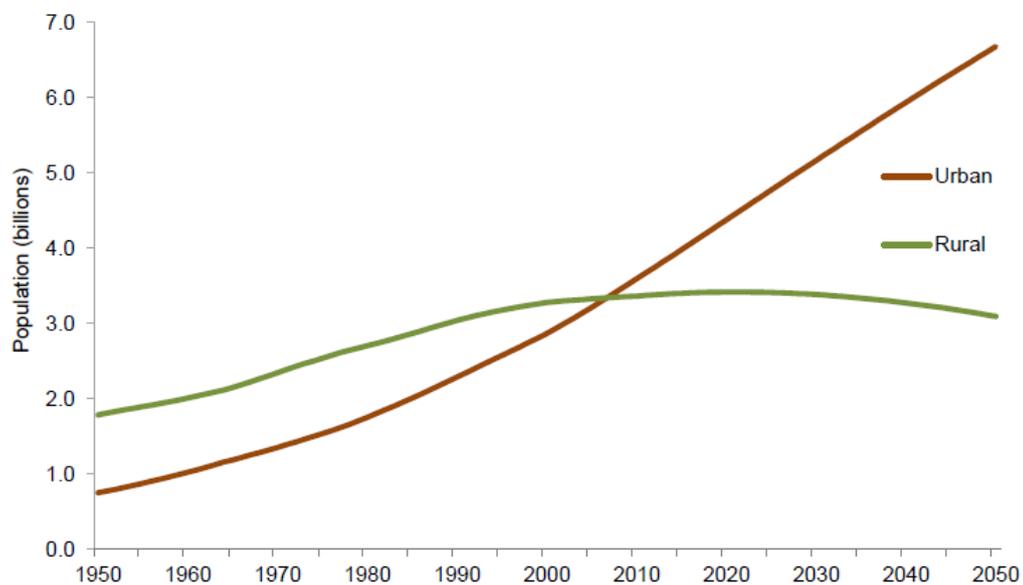


Figura 1.9 – Popolazione urbana e rurale nel mondo dal 1950 al 2050 (World Urbanization Prospects, 2018)

L'esigenza di dover costruire strutture per poter accogliere la grande quantità di persone può portare ad un ampliamento rapido della città e conseguentemente ad una maggiore densità edilizia. Il suolo viene a sua volta convertito in aree industriali e residenziali molto rapidamente, impedendo una adeguata organizzazione degli spazi (Livi-Bacci, 2018).

Il fenomeno di impermeabilizzazione del suolo, noto anche come soil sealing, è quindi causato dalla copertura del suolo con materiali impermeabili o comunque materiali che cambiano le caratteristiche del suolo tali da renderlo impermeabile in modo del tutto irreversibile o quasi. L'EEA (*European Environment Agency*) ha definito il soil sealing come la copertura del suolo derivante sia dall'urbanizzazione che dalla costruzione di infrastrutture, in modo tale che il suolo non riesca più a svolgere la maggior parte delle funzioni proprie. Nonostante tutto, il sealing non ha un impatto del tutto negativo se non fosse per la sua irreversibilità e la perdita delle funzioni del suolo. I terreni impermeabilizzati vengono meno ad altri usi come l'agricoltura, le foreste, ma soprattutto per le funzioni ecologiche del suolo, quali lo stoccaggio di carbonio e la funzione di habitat per la vita vegetale e animale del suolo. L'impermeabilizzazione del suolo può anche causare o favorire la frammentazione degli habitat e arrestare la migrazione di specie selvatiche per via dei mancati corridoi migratori. Il maggiore impatto si ha comunque sul deflusso delle acque che per via delle superfici impermeabilizzate impedisce l'infiltrazione e inoltre può favorire la contaminazione da parte di sostanze chimiche (figura 1.10).



Figura 1. 10 – Impatto dell'impermeabilizzazione dovuta all'urbanizzazione sul ciclo idrologico dell'acqua. (Fonte: Gibelli G., 2015, *GESTIONE SOSTENIBILE DELLE ACQUE URBANE. MANUALE DI DRENAGGIO 'URBANO'*)

Lo scorrimento superficiale aumenta per mancanza d'infiltrazione, e così anche il volume e la velocità, causando evidenti problemi sul controllo delle acque superficiali soprattutto durante eventi intensi. Sebbene le inondazioni possano essere considerate un fenomeno naturale, per quanto detto poc'anzi esse possono essere intensificate dalle azioni direttamente riconducibili all'uomo. Le strategie di pianificazione territoriale sono in gran parte la causa dello sviluppo di superfici impermeabilizzate perché considerano poco la perdita irreversibile di suolo e gli effetti ambientali connessi. È ovvia l'inevitabilità di perdere una

certa quantità di disponibilità di suolo, però non si deve dimenticare il fatto che assieme al suolo si ha la perdita delle sue funzioni produttive, di conservazione della natura e di ricarica delle falde sotterranee, nonché l'aumento del rischio idrogeologico (*figura 1.11*). Pertanto, si può dire che l'impermeabilizzazione del suolo è in contrasto con le politiche di sviluppo sostenibile.

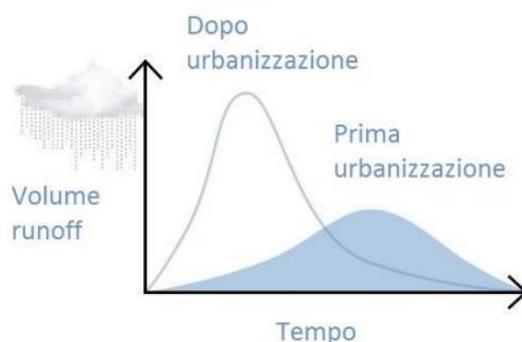


Figura 1.11 – Rappresentazione qualitativa dei volumi di run-off prima e dopo l'urbanizzazione. (Fonte: Huber, J., 2010. Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas (riadattato))

Per quanto descritto precedentemente, si evince che nel XXI secolo la gestione degli spazi e quindi delle città, sia diventata una sfida a livello mondiale. Il motivo si aggira attorno al fatto che le città sono considerate ecosistemi complessi che trasformano, consumano e scambiano energia e materia con l'ambiente.

1.5 Verde urbano

Per poter migliorare la qualità della vita delle persone in città, uno degli elementi su cui fare affidamento è, senz'ombra di dubbio, rappresentato dal verde urbano e periurbano in quanto non solo ha un risvolto paesaggistico, ma anche funzionale per il centro abitato. Col termine *verde urbano* si considerano le porzioni del tessuto cittadino dedicato alla natura. Questa definizione è abbastanza generale, ma si possono fare delle suddivisioni che cambiano in base all'autore e quindi non sono univoche. Una prima distinzione si può fare tra verde pubblico (parchi urbani, aiuole, viali alberati, siepi, bordi stradali e spartitraffico, canali, cimiteri, parcheggi non asfaltati etc.) e verde privato. Un'altra distinzione riguarda le foreste urbane e gli alberi urbani di cui esistono diverse versioni a seconda degli autori; *Escobedo et al.* (2011) hanno definito "foresta urbana" come: "la somma di tutti gli alberi urbani, arbusti, prati e suoli permeabili situati in ecosistemi altamente alterati ed estremamente complessi in cui gli esseri umani sono i principali motori dei loro tipi, quantità e distribuzione". La loro definizione concettualizza la foresta urbana come un tipo di

vegetazione. Secondo *Randrup et al.* (2005), gli alberi urbani sono un sottoinsieme delle foreste urbane, perché le foreste urbane non sono solo la somma degli alberi urbani, ma includono anche arbusti ed erba. Inoltre, *James et al.* (2009) hanno definito lo spazio verde come “superfici non sigillate, permeabili e morbide come terra, erba, arbusti, alberi e acqua”.

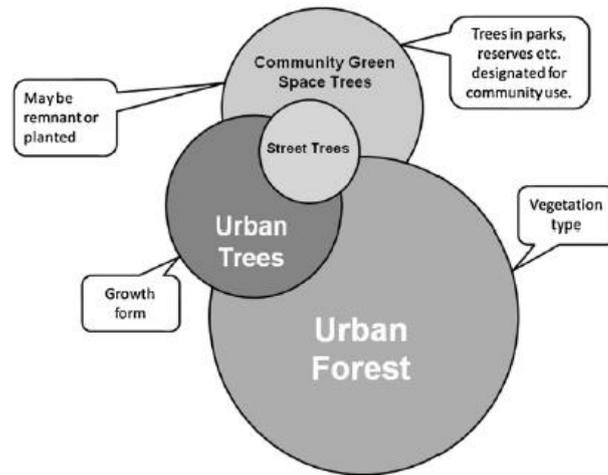


Figura 1.12 – Quadro concettuale che spiega il dominio degli alberi urbani (*S. Roy et al., 2012*)

Non si può nascondere la complessità del sistema costituito dal verde immesso all'interno di una realtà non naturale come la città, però sicuramente ci sono dei benefici sulla qualità della vita, sull'economia e sullo sviluppo delle città stesse. Al verde urbano, quindi, non va attribuita solo la funzione di arredo, ma anche quella di fornire una serie di servizi ai cittadini; questi ultimi, purtroppo, molte volte sono inconsapevoli dei molteplici benefici offerti da un contesto paesaggistico più “green”. Esiste una normativa che regola il verde urbano che si è evoluta nel corso degli anni acquisendo sempre più importanza. A partire dagli anni '60, in Italia, dopo un periodo di rapida urbanizzazione favorita dal boom economico che stava incoraggiando un'espansione non organizzata delle città, fu necessario imporre dei vincoli all'edilizia al fine di ridurre la creazione di spazi degradati e che non offrivano servizi, nonché di città disorganizzate e che non garantivano una buona qualità della vita. A tal scopo venne promulgato il decreto interministeriale 1444/68 che s'ispirava ai pensieri dell'urbanistica razionalista di inizio '900 e introduceva il concetto di spazio minimo da dedicare ai servizi, compreso anche il verde, e al miglioramento della qualità della vita urbana (*Ferrini, 2006*).

Il verde pubblico rappresenta uno degli standard urbanistici che si deve seguire nella pianificazione generale e che fornisce indicazioni su spazi edificabili e spazi riservati a scopi pubblici e sociali. Tali standard urbanistici, come precedentemente detto, sono stati

introdotti con D.I del 2 aprile 1968 e indicano i parametri dimensionali che prevedono un limite minimo inderogabile per ogni destinazione d'uso, con lo scopo di garantire l'equilibrio dell'organizzazione territoriale. Molto spesso per seguire la logica degli standard, si sono riscontrati unicamente effetti quantitativi dimenticandosi dell'aspetto qualitativo delle aree verdi e i risultati ottenuti non sono stati sempre accettabili (*Sanesi e Laforteza, 2002*). In accordo con le politiche ambientali e di sviluppo sostenibile avanzate a livello internazionale ed europeo, l'Italia ha promulgato la Legge 10/2013 "Norme per lo sviluppo degli spazi urbani", che rappresenta il punto chiave per dare importanza al ruolo svolto dagli spazi verdi urbani sia dal punto di vista ambientale che socioculturale. Il verde, se correttamente pianificato, progettato e gestito, riesce ad esercitare molte funzioni e portare molteplici benefici all'ambiente e alla società (Servizi Ecosistemici). La legge 10/2013 colma un vuoto legislativo in materia di verde alla scala urbana, fornendo importanti responsabilità in materia di gestione e pianificazione degli spazi verdi per il miglioramento della qualità della vita nelle città alle amministrazioni comunali ed enti territoriali di competenza. È bene sottolineare che nonostante nella Legge 10 si parli di "Piano", non s'intende un piano territoriale vero e proprio perché non ha ricadute dirette sul territorio ma rende noti i criteri e le modalità che devono seguire le amministrazioni interessate a redigere un piano territoriale. Non si potrebbe nemmeno parlare di un programma perché non prevede né azioni con contenuti applicativi specifici, né finanziamenti per la loro realizzazione. In definitiva, nella Legge 10, il Comitato per lo sviluppo del verde ha deciso di chiamarla Strategia nazionale del verde urbano. La Strategia ha come contenuti specifici i criteri e le linee guida per la realizzazione di aree verdi permanenti attorno alle più importanti conurbazioni e filari alberati lungo le strade, al fine di consentire un adeguamento dell'edilizia e delle infrastrutture pubbliche e scolastiche che garantisca la riqualificazione degli edifici, anche attraverso il rinverdimento delle pareti e dei lastrici solari, la creazione di giardini e orti e il miglioramento degli spazi.

1.5.1 *Excursus sul verde in Europa e in Italia*

La presenza di aree verdi negli spazi urbani, nonché la loro consistenza e fruibilità, ha effetti diretti sulla qualità della vita delle persone. Il verde urbano rende le città più belle e vivibili e contribuisce alla riduzione dei maggiori inquinanti dell'aria. Secondo il rapporto sul territorio 2020 (*Istat*), tra le capitali internazionali considerate dal *World cities culture forum*⁵, Oslo è la città che dedica più superficie a parchi pubblici con circa il 68%. A seguire ci sono le città di Stoccolma, Vienna e Roma con il 39%; quest'ultima possiede una disponibilità⁶ di parchi pubblici molto più estesa rispetto a New York con il 27% o Parigi con meno del 10%. La città turca di Istanbul, nonostante sia settima al mondo per popolazione, è la città che presenta meno spazi verdi (2,2%). In ambito italiano, nei capoluoghi di provincia, vive il 30% della popolazione italiana (più di 18 milioni) e il verde urbano occupa circa il 3% del territorio (590 km²), che equivale a circa 32,8 m²/abitante. Se nel conteggio si tenesse conto delle aree naturali protette (3.800 km² comprese quelle della Rete Natura 2000⁷) la percentuale del verde sarebbe il 19,3% del territorio nei capoluoghi. L'orto urbano è un'altra tipologia di verde che si sta diffondendo nelle città ed è presente in 80 su 109 capoluoghi.

Le città metropolitane hanno una disponibilità pro-capite e un'incidenza del verde urbano in rapporto alla superficie (*densità*⁸) superiori alla media. Le città di Roma, Milano, Torino e Napoli, dove risiede un terzo della popolazione dei capoluoghi (6,1 mln di persone), hanno densità sopra la media ma disponibilità pro-capite modeste.

Nelle città di Genova e nel Mezzogiorno (Bari, Messina, Catania) ci sono valori pro-capite e di densità contenuti. La disponibilità di verde accessibile per abitante e la dislocazione delle aree verdi nei capoluoghi delle 14 città metropolitane rendono possibile la definizione della quantità di verde che caratterizza il territorio delle città.

⁵ Il World Cities Culture Forum (WCCF), fondato nel 2012 a Londra, è una rete di governi locali e leader del settore culturale provenienti da 39 città del mondo.

⁶ La disponibilità di verde urbano è data dal rapporto tra la superficie dei comuni destinata a verde pubblico e la popolazione media residente nello stesso comune.

⁷ Natura 2000 è il principale strumento della politica dell'UE per la conservazione della biodiversità. Sostanzialmente è una rete ecologica diffusa su tutto il territorio dell'Unione, istituita ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali, delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario (Fonte: Ministero dell'Ambiente).

⁸ La densità di verde urbano e delle aree protette rappresenta il rapporto percentuale tra queste aree e la superficie comunale complessiva.

Le città di Venezia e Torino dispongono della più elevata quantità di verde fruibile⁹ in Italia (figura 1.13), rispettivamente con 37 m²/ab e 19 m²/ab (Istat, Rapporto sul territorio, 2020). Nelle medesime città più dell'85% di queste aree verdi fanno parte del verde storico, parchi urbani (grandi e piccoli), aree sportive e altro (orti botanici e urbani, o anche giardini ecc.). In fondo alla classifica italiana si trovano le città di Genova, Messina, Catania e Palermo, le quali presentano meno di 6 m²/ab e questo è anche la conseguenza al fatto che più di metà delle aree verdi non sono direttamente fruibili.

(Fonte: Rilevazione Dati ambientali nelle città (Istat), condotta presso i 109 comuni capoluogo di provincia e città metropolitana. Gli indicatori utilizzati per il confronto internazionale sono pubblicati dal World cities culture forum).

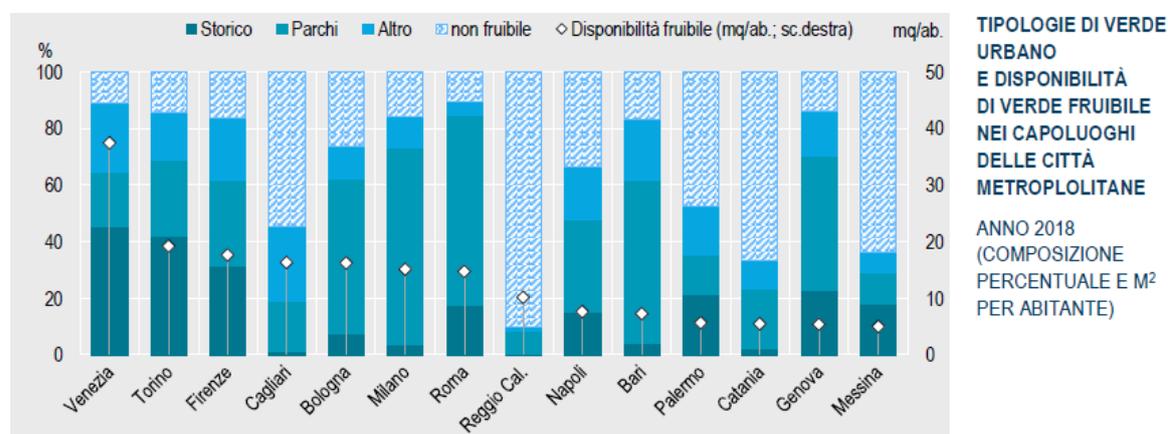


Figura 1.13 – Rilevazione Dati ambientali nelle città (Istat, 2018).

⁹ Le aree verdi fruibili sono le aree verdi pubbliche accessibili ai cittadini sul territorio comunale ad esclusione delle aree di arredo urbano, boschive e aree verdi incolte.

2. SERVIZI ECOSISTEMICI

2.1 Definizioni

Alcune tra le problematiche più importanti legate alla natura, hanno come causa diretta e indiretta l'azione dell'uomo, quali distruzione della biodiversità, consumo di suolo, aumento dell'inquinamento e più in generale il sovrasfruttamento delle risorse (cibo, acqua dolce, energia e materiali) dalle quali tutti dipendiamo. Per quanto l'uomo possa essere tecnologicamente avanzato, continua a dipendere interamente dai servizi che la natura fornisce: i Servizi Ecosistemici (*SE*).

L'uomo sfrutta i sistemi naturali per diverse ragioni che possono essere meramente economiche come estrazione di risorse, l'uso del suolo per l'edilizia ecc..., oppure per bisogni di altro tipo come quelli fisiologici di base tra cui respirare, bere, nutrirsi; parallelamente ci sono bisogni che potrebbero essere considerati secondari di cui spesso non si parla ma che influiscono notevolmente sulla qualità della vita della popolazione: svago, movimento fisico, interazione sociale, benessere psicologico. Gli ecosistemi contribuiscono direttamente e indirettamente a migliorare il livello ambientale dei posti in cui viviamo.

L'idea che la società umana tragga beneficio dall'ambiente o dalla natura in vari modi, sia direttamente che indirettamente, è retrodatata e può essere fatta risalire a diverse migliaia di anni fa, ma il concetto moderno, cioè l'interesse scientifico sulle modalità di interazione tra uomo e natura e dei benefici tratti dall'uomo stesso, si è raggiunto attorno agli anni '70. Questi legami sono stati battezzati come "servizi ambientali" (*Wilson e Matthews, 1970*). Qualche anno dopo, sono stati definiti come "servizi della natura" ed è stato approfondito il valore dei benefici che gli ecosistemi forniscono alla società umana. Al contempo si è anche fatta leva sugli effetti dello sviluppo e della alterazione fisica causata dall'uomo sugli ecosistemi per fornire informazioni utili affinché potessero essere influenzate le decisioni politiche con lo scopo finale di mitigare il degrado dell'ecosistema (*Westman, 1977*). Il concetto di "servizio ecosistemico", così come concepito oggi, è stato introdotto all'inizio degli anni '80 (*Ehrlich e Ehrlich, 1981; Ehrlich e Mooney, 1983*). A metà degli anni '90, per poter impedire la perdita di biodiversità e proteggere gli ecosistemi è emerso l'approccio ai servizi ecosistemici visto come metodo di analisi (*Costanza et al., 1997*). Con l'avvento dei S.E è stato possibile integrare sistematicamente l'economia e l'ecologia, rendendo possibile la ricerca dei rapporti tra sistema economico e ambiente naturale (*Costanza, 1991; Braat e De Groot, 2012*). Dal 2005, il concetto di servizio ecosistemico è

diventato un argomento di ampio dibattito grazie al Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) che è un punto di riferimento saldo in ambito scientifico e politico. Il progetto di ricerca internazionale MEA è stato lanciato dal Segretario Generale delle Nazioni Unite Kofi Annan nel 2000, con lo scopo di valutare le conseguenze che i cambiamenti degli ecosistemi hanno apportato al benessere dell'umanità, e le basi scientifiche per le azioni necessarie a migliorarne la conservazione e l'utilizzo sostenibile. Il MEA ha definito i servizi ecosistemici (SE) come “i benefici multipli forniti dagli ecosistemi¹⁰ al genere umano”. Il riferimento a ciò che percepisce la comunità è un aspetto saliente della definizione in quanto la “funzione ambientale” riguarda genericamente un impatto legato alla presenza di risorse ambientali (indipendentemente da quello che la comunità percepisce), mentre il “servizio ecosistemico” è strettamente connesso alle condizioni di benessere della comunità; per tale motivo, il concetto di “servizio ecosistemico” si associa al problema della sua misurabilità, in ambito fisico ed economico, volto anche ad orientare le scelte di dominio pubblico. A valle di quanto appena detto, gli ecosistemi non possono fornire alcun vantaggio all'uomo senza la presenza di persone (capitale umano), delle loro comunità (capitale sociale) e del loro ambiente costruito (capitale costruito) (Costanza et al., 2014).

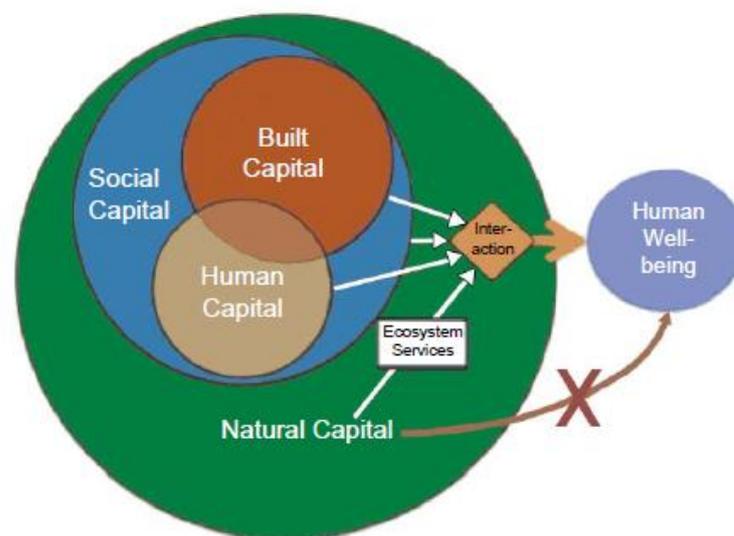


Figura 2.1 – Interazione tra capitale sociale, umano e costruito e capitale naturale (Costanza et al., 2014).

Esistono molte definizioni e classificazioni dei servizi ecosistemici, ma risulta opportuno citare quella data dal MEA, che ha rappresentato una base solida a livello internazionale. Secondo il MEA, i servizi ecosistemici possono essere raggruppati in quattro macrocategorie:

¹⁰ Un ecosistema può essere definito come l'insieme degli organismi viventi e delle sostanze non viventi con le quali i primi stabiliscono uno scambio di materiali e di energia, in un'area delimitata [24].

- *servizi di supporto alla vita*: sono quelli che sorreggono i processi ecologici fondamentali e consentono il mantenimento ed il funzionamento complessivo dei sistemi naturali (ciclo dei nutrienti, formazione del suolo e produzione primaria, etc.);
- *servizi di approvvigionamento*: comprendono tutti i beni che discendono dagli ecosistemi e che sono necessari all'uomo per soddisfare i propri bisogni (cibo, acqua, fibre, legname, carburante, risorse genetiche, medicine naturali, etc.);
- *servizi di regolazione*: derivanti dalla regolazione dei processi ecosistemici (ad esempio processi che regolano il clima, la qualità dell'aria e delle acque, la formazione del suolo, l'impollinazione, le maree, le alluvioni, le malattie, l'erosione, la degradazione dei rifiuti, etc.);
- *servizi culturali*: includono benefici non materiali che risultano intangibili quali l'eredità e l'identità culturale, l'arricchimento spirituale e intellettuale, i valori estetici e ricreativi, valori etici, istruzione, ecc.

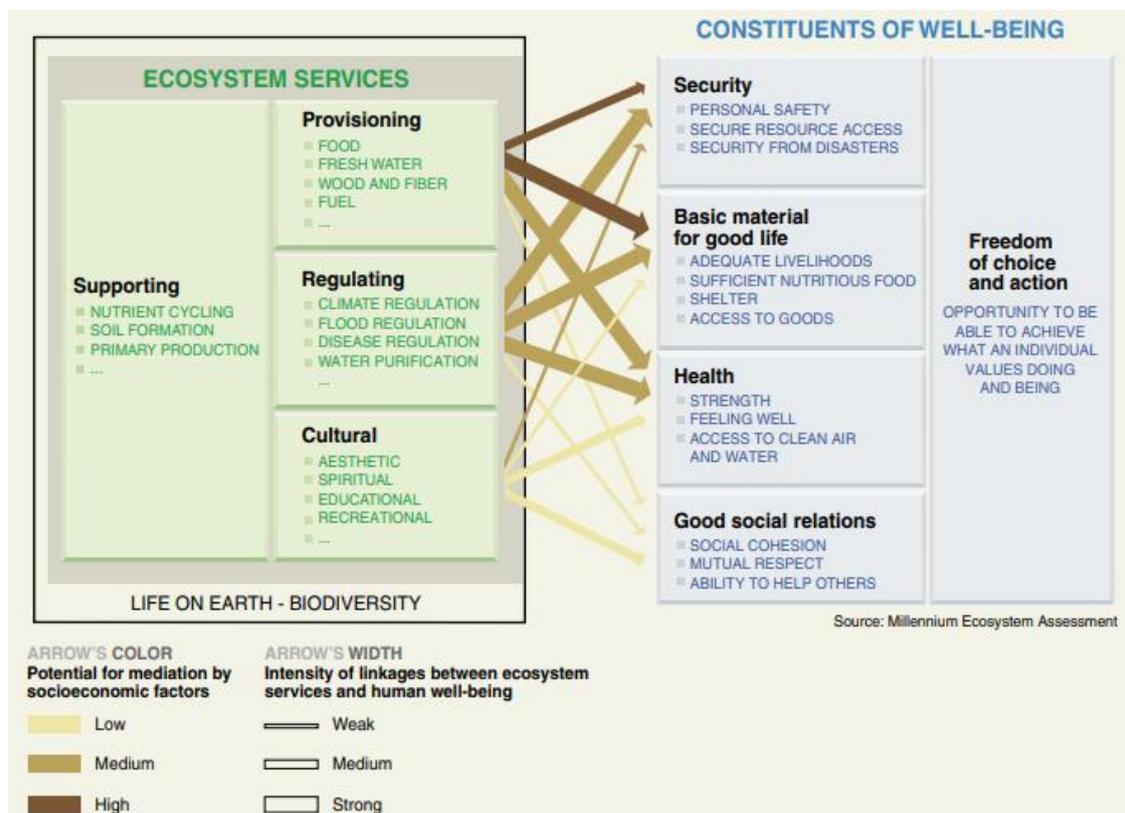


Figura 2.2 – Classificazione dei Servizi Ecosistemici fornita dal Millenium Ecosystem Assessment, 2005.

Con il passare degli anni, la suddivisione dei servizi ecosistemici fornita dal MEA è stata modificata in modo sostanziale dall'EEA¹¹ (*European Environment Agency*), che congiuntamente alla sezione statistica delle Nazioni Unite (*UNSD*) ha elaborato una classificazione internazionale: la Classificazione Internazionale Comune dei Servizi degli Ecosistemi che ha raggiunto ormai la 5° versione (*CICES¹² V5.1, Haines-Young e Potschin, 2018*). Secondo la CICES, i servizi ecosistemici sono “*i contributi che gli ecosistemi apportano al benessere umano e distinti dai beni e dai benefici che le persone successivamente traggono da essi*”. I contributi di cui si parla sono visti in termini di “cosa fanno gli ecosistemi” nei confronti delle persone. Di conseguenza, la definizione di ogni servizio identifica non solo gli scopi o gli usi che le persone hanno per i vari tipi di servizi ecosistemici, ma anche gli specifici attributi o comportamenti dell'ecosistema che li supportano. Ciò detto, è bene fare distinzione tra funzioni (riguardano i fenomeni ecologici), servizi (sarebbero i contributi diretti o indiretti) e benefici (benessere generato). L'obiettivo di CICES è stato quello di fare una classificazione che identifica lo scopo o l'utilizzo che le persone hanno per i diversi tipi di servizio dell'ecosistema e associarli con i particolari attributi o funzioni dell'ecosistema che li supportano. La CICES stabilisce una gerarchia di tipo strutturale avente tre sezioni anziché le quattro categorie utilizzate nel MEA (2005) che sono *approvvigionamento, regolazione, mantenimento e culturale*. Da queste tre sezioni, si ramificano delle Divisioni, Gruppi e Classi per considerare il fatto che gli effetti dell'uso dei servizi ecosistemici si sviluppano su diverse scale tematiche e spaziali e potrebbero richiedere l'aggregazione in modo diverso delle classi (*figura 2.3*). Questi cambiamenti sono frutto di un'evoluzione concettuale manifestata in oltre un decennio di pensiero da parte di esperti in ambito interdisciplinare, riscontrando anche un maggior coinvolgimento delle scienze umane e sociali. Oltre al CICES, anche l'IPBES, acronimo di Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2017) ha adottato una sua classificazione discostandosi dal MEA (2005), ma che è in accordo con CICES e con l'importanza delle funzioni base degli ecosistemi su scale differenti. L'IPBES¹³ rappresenta il

¹¹ L' European Environment Agency (*EEA*) che tradotta in italiano è l'Agenzia europea dell'ambiente (*AEA*) è appunto un'agenzia dell'Unione Europea con il compito di fornire informazioni quanto più veritiere e indipendenti sull'ambiente. Tale fonte di informazioni è molto importante per chi si occupa dell'elaborazione, adozione, attuazione e valutazione della policy ambientale e per il pubblico generale [8].

¹² CICES è l'acronimo di Common International Classification of Ecosystem Services [9].

¹³ L'IPBES (*Intergovernmental Policy-Science Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) è una piattaforma intergovernativa progettata per rafforzare l'interfaccia tra politica e scienza sui temi relativi a biodiversità e servizi ecosistemici [10].

riferimento più aggiornato sia in termini di documentazione sullo stato di salute della biodiversità che dei servizi forniti dagli ecosistemi in modo gratuito all'uomo.

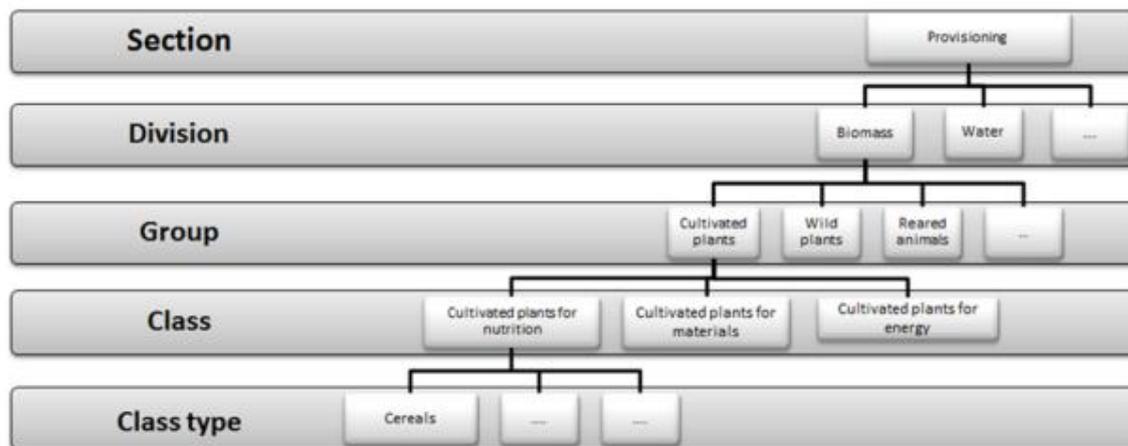


Figura 2.3 – Struttura su cui si basa il sistema CICES. [22]

L'IPBES contempla tutti i contributi della natura che influiscono sulla qualità della vita degli esseri umani e li nomina Nature's Contributions to People (NCP). Sempre per quanto riguarda IPBES (2017), i *servizi di supporto* definiti nel MEA (2005) (es. ciclo dei nutrienti, produzione di ossigeno, produzione del suolo etc.) sono stati considerati proprietà di un ecosistema facenti parte dell'elemento "natura" e non come NCP, in ottemperanza con CICES.

La seguente classificazione dei servizi ecosistemici distingue tre grandi gruppi di contributi della natura:

- *contributi di regolazione*: essi riguardano gli aspetti funzionali e strutturali di organismi ed ecosistemi che modificano le condizioni ambientali dove ci vivono le persone e/o sostengono e/o regolano la produzione di benefici sia materiali che immateriali. I contributi della natura di cui si parla possono essere ad esempio la depurazione delle acque, la regolazione del clima e dell'erosione del suolo etc., e come si può facilmente intuire, non sono vissuti direttamente dalle persone. I servizi ecosistemici (SE) di regolazione, come definito nel MEA ed in CICES, fanno parte di questa categoria.
- *contributi materiali*: essi comprendono sostanze, oggetti o altri elementi materiali della natura che sostengono l'esistenza fisica delle persone e le infrastrutture (ovvero strutture fisiche e organizzative di base, come edifici, strade) necessari per il

- funzionamento di una società o un'impresa. Solitamente vengono “consumati” fisicamente durante il processo di utilizzo, ad esempio piante o animali trasformati in cibo, in energia o in materiali di vario genere. I servizi ecosistemici (*SE*) di approvvigionamento, come definito nel MEA ed in CICES, fanno parte di questa categoria.
- *contributi immateriali*: essi sono il contributo della natura per la qualità soggettiva della vita culturale delle persone, sia individuale che collettiva. Le risorse o funzioni fornite da questi contributi immateriali possono essere consumate fisicamente nel processo (emozioni date dalla pesca ricreativa o dalla caccia) oppure conservate (fonte di ispirazione, di equilibrio emotivo). Molti servizi ecosistemici (*SE*) culturali del MEA fanno parte di questa categoria, mentre altri SE sempre culturali, sono considerati parte di “valori” o di una “buona qualità della vita”.

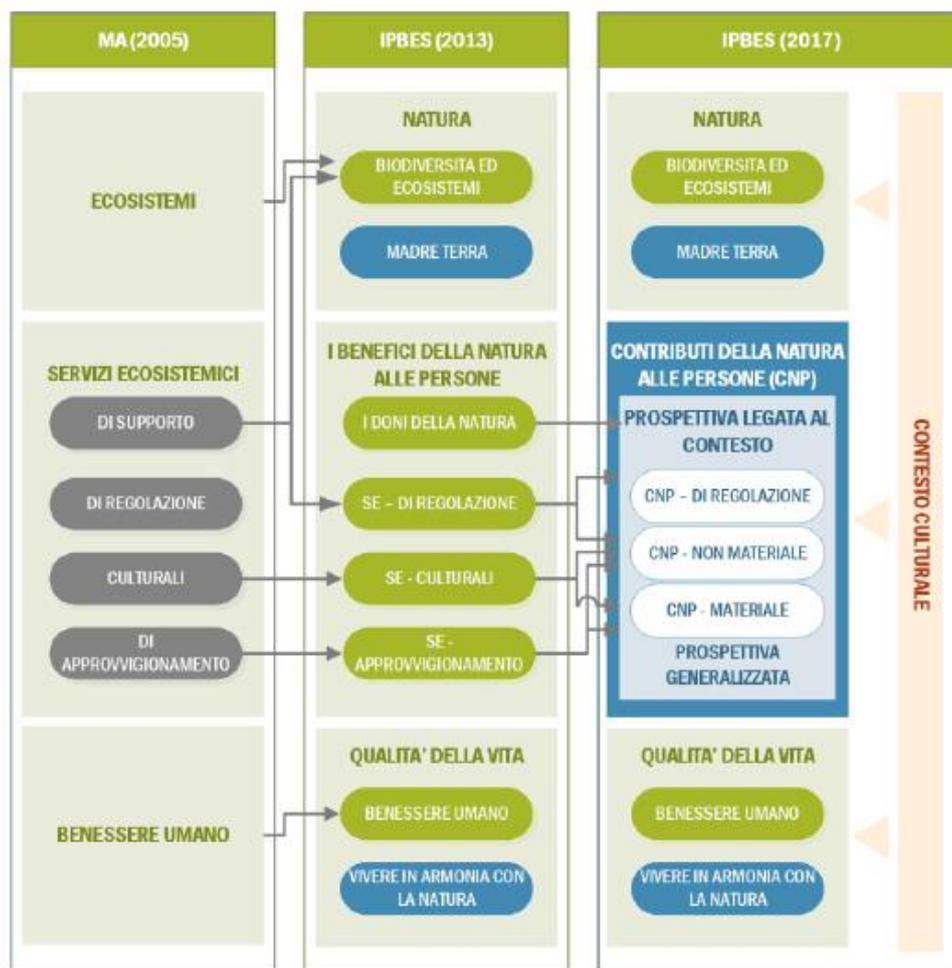


Figura 2.4 – Evoluzione del concetto di “Servizi ecosistemici” dal Millennium ecosystem assessment in “Contributi della natura alle persone” (NCP nature’s contributions to people) proposta nel Global assessment IPBES.

(Fonte: Comitato per il Capitale Naturale, 2019)

Dato che lo scopo di questo elaborato sarà quello di valutare i benefici prodotti dal verde urbano relativamente ad un parco, vengono di seguito raggruppati i servizi ecosistemici in servizi ambientali, servizi socio-culturali e servizi economici.

Servizi Ecosistemici Ambientali

Un ruolo fondamentale è indubbiamente ricoperto dai servizi ambientali considerando anche la tematica del cambiamento climatico che oggi è argomento di ampio dibattito. I servizi ambientali possono essere suddivisi in:

riduzione dell'isola di calore e influenza sul microclima: la presenza di alberi o più in generale del verde, influenza la temperatura e l'umidità presente nell'aria attraverso la traspirazione, inoltre, grazie alla presenza della chioma intercetta i raggi solari non consentendogli di raggiungere il suolo per surriscaldarlo ulteriormente. Un altro effetto positivo delle chiome è quello di ridurre l'intensità del vento lasciando passare comunque l'aria. Dalle affermazioni appena fatte si può dedurre che il verde influenza la meteorologia locale e la concentrazione di inquinanti (Nowak D.J., 1998). È stato dimostrato che in ambito urbano le aree verdi possono raggiungere differenze di temperatura anche fino a 3°C rispetto alle zone prive di aree verdi (progetto GRaBS, [25]).

L'abbassamento della temperatura ha riscontro positivo sulla qualità dell'aria per il fatto che riduce la formazione di ozono. Temperature più basse, favorite dalla presenza di verde in città, portano ad un aumento del comfort percepito dai cittadini. L'altro aspetto positivo legato alla riduzione dell'isola di calore è il risparmio energetico perché si spende meno energia per climatizzare i luoghi chiusi;

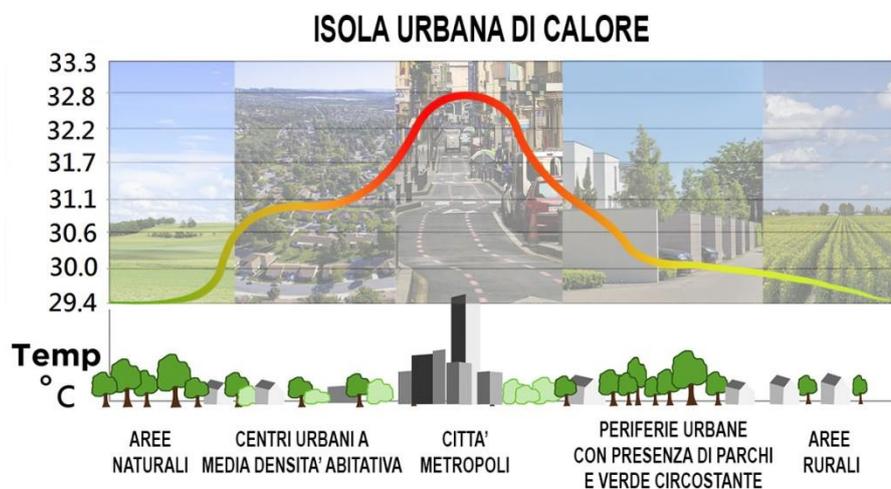


Figura 2.5 – Isola di calore, [26]

rimozione di inquinanti atmosferici: come ben noto da anni, il verde urbano contribuisce al miglioramento della qualità dell'aria rimuovendo gli inquinanti. Questi inquinanti sono di vario tipo, tra cui il particolato atmosferico sospeso nell'aria (PM_{10} e $PM_{2.5}$)¹⁴, il biossido di azoto (NO_2), l'anidride solforosa (SO_2), il monossido di carbonio (CO) e l'ozono (O_3). Il tasso di rimozione di inquinanti e anche la velocità sono fattori che dipendono non solo dalla copertura vegetale, ma anche dalle piogge e dal vento. Distinguendo gli inquinanti in gas e polveri, i primi vengono sostanzialmente sequestrati dalle piante attraverso il processo di assorbimento che avviene sulla superficie fogliare grazie agli stomi, mentre gli altri si depositano sulle superfici fogliari per poi essere dilavati dalle precipitazioni e cadendo al suolo. La maggior parte delle polveri è intercettata dalla chioma degli alberi e il processo di deposizione su rami e foglie è favorito dalla formazione di microturbolenze vicino e all'interno della chioma stessa.

riduzione di inquinamento acustico: il verde urbano ha potere fonoassorbente, non a caso molte volte si creano barriere vegetate attorno ai centri urbani per intercettare rumori derivanti dal traffico veicolare e da attività antropiche.

Sequestro di CO_2 : il verde concretizza il processo di sintesi del carbonio, sia per la crescita della biomassa che per lo svolgimento dei processi fisiologici, impiegando l'anidride carbonica dell'atmosfera. Per la lotta sul cambiamento climatico, molti studi a livello mondiale si sono soffermati su questo servizio ambientale.

Purtroppo, a causa delle piccole dimensioni della popolazione arborea cittadina, il contributo della vegetazione al sequestro di carbonio è abbastanza limitato. Quello che invece è più significativo è il contributo indiretto della vegetazione alla riduzione del gas serra visto come mancata emissione di CO_2 . Secondo lo studio condotto da Nowak (*Nowak, 1994*), la presenza di un albero posizionato correttamente rispetto ad un edificio, riduce il consumo energetico evitando che quell'edificio emetta una quantità di CO_2 pari a quattro volte quella accumulata dall'albero durante la sua vita;

riduzione del deflusso superficiale delle acque: è un altro degli importanti servizi ambientali fornito dal verde urbano in quanto sono ormai all'ordine del giorno eventi alluvionali. Le cause si possono attribuire a diversi fattori, alcuni dei quali, in ambito urbano,

¹⁴ PM_{10} e $PM_{2.5}$: il particolato atmosferico è una miscela complessa formata da particelle solide e liquide di sostanze organiche e inorganiche sospese nell'aria. Possono appartenere al particolato nitrati, solfati, cloruro di sodio, ione di ammonio, particelle carboniose, polveri minerali e acqua. Il particolato si suddivide in base al diametro aerodinamico: PM_{10} ha diametro inferiore a 10 micrometri ed è in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio, mentre il $PM_{2.5}$ ha diametro inferiore a 2.5 micrometri e può raggiungere i polmoni e i bronchi secondari [27]

sono sicuramente soil sealing ovvero l'impermeabilizzazione dei suoli e la distruzione dei sistemi di protezione naturale (aree vegetate, alvei dei fiumi ecc.).

Le superfici impermeabili impediscono all'acqua di potersi infiltrare nel suolo favorendo la formazione di acqua di ruscellamento che va, ad esempio, ad intasare la rete fognaria delle città e a dilavare le superfici dei terreni. Il compito del verde urbano è quello di riequilibrare il ciclo idrologico modificando sia le caratteristiche del suolo (aumento della permeabilità grazie alla presenza delle radici) che i tempi di deflusso delle acque (intercettazione dell'acqua di pioggia dalla chioma);

conservazione della biodiversità: la presenza del verde nelle città risulta essenziale per la conservazione della biodiversità. Come è stato detto nei primi paragrafi, la natura è la casa della biodiversità ed è qui che si crea l'habitat necessario per il mantenimento di molteplici specie viventi e ci sono anche gli elementi necessari per poter svolgere le loro funzioni ecologiche.

Servizi Ecosistemici Socio-Culturali

È ormai noto, grazie anche a numerosi studi di ricerca, che le aree verdi come parchi, giardini, viali etc. forniscono altri servizi oltre a quelli ambientali visti nel paragrafo precedente, tra cui si possono distinguere quelli sociali e culturali. Con l'urbanizzazione sono diminuiti i parchi di grande dimensione rendendo più difficoltoso ai cittadini di poter raggiungere frequentemente tali luoghi per il loro benessere psico-fisico; fortunatamente ci sono ancora molte aree verdi di piccole dimensioni facili da raggiungere.

Una delle funzioni sociali fornite dal verde pubblico è la possibilità di effettuare attività fisica all'aperto, basti pensare a parchi attrezzati o semplicemente a sentieri percorribili nel verde sia a piedi che in bicicletta, o aree con viste piacevoli. Un'altra funzione è quella di antistress ed è stata anche confermata da studi di psicologia ambientale. Le aree verdi sono anche i posti migliori in cui la gente può socializzare e svagare la mente, passeggiare con il proprio cane ecc. Un'ennesimo segno positivo dettato dalla presenza di spazi verdi in ambito urbano che riguarda sempre la salute dei cittadini è la riduzione della mortalità per malattie cardiovascolari e delle vie respiratorie, e anche la riduzione di problemi di salute legati al calore.

Servizi Ecosistemici Economici

I Servizi Ecosistemici economici sono definiti come i benefici che influenzano direttamente o indirettamente il mercato o specifiche attività economiche e produttive, generando ricchezza in termini di flussi monetari.

Il settore turistico è uno di quei settori economici che beneficia direttamente della presenza di aree verdi, in quanto si basa sulla componente naturale paesaggistica. Per quanto riguarda il mercato immobiliare, anch'esso è influenzato positivamente, perché la presenza di aree verdi dà un valore commerciale aggiunto agli immobili. Altri benefici economici, riconducibili alla presenza del verde in ambito urbano, sono legati alla riduzione di inquinamento e anche alla mitigazione delle temperature in termini di risparmio per la collettività. In particolare, la riduzione di inquinamento riduce i costi sanitari dovuti al miglioramento della qualità dell'aria, mentre la mitigazione delle temperature si traduce nella riduzione dei consumi energetici per climatizzare gli edifici. Per quanto riguarda la protezione del territorio, la presenza di spazi verdi apporta un risparmio economico in termini di spese evitate per il ripristino di danni causati da eventi naturali violenti come quello alluvionale.

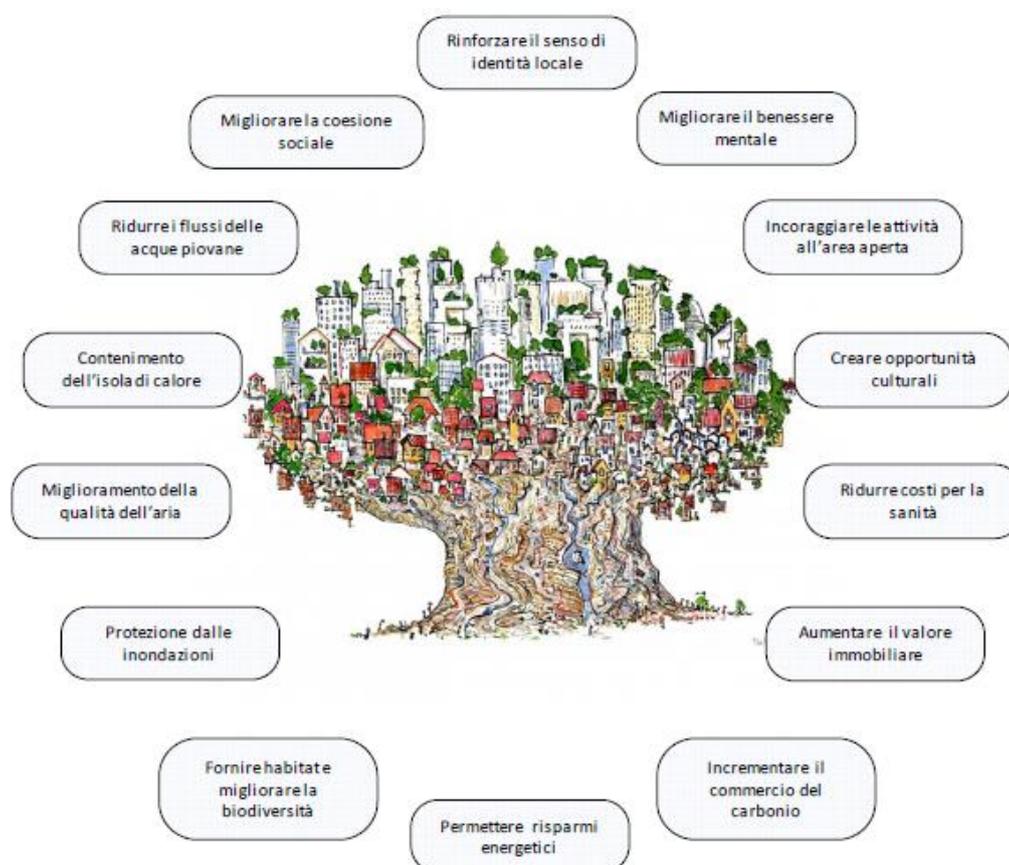


Figura 2.6 – Elenco di alcuni dei servizi ecosistemici offerti dal verde urbano [Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare]

L'analisi di queste tre categorie di SE sottolinea il carattere multifunzionale del verde urbano, i suoi diversi servizi e gli impatti positivi che può fornire facendo apparire in modo abbastanza chiaro l'aspetto interdisciplinare di questo argomento.

2.2 Valutazione Monetaria dei Servizi Ecosistemici

Compresa l'importanza dei servizi offerti dagli ecosistemi, il passo successivo è quello di quantificare tali servizi. Non si parla solo di benefici ambientali, ma di servizi che includono un ritorno economico verso i cittadini e le Pubbliche Amministrazioni (*Commissione Europea, 2011*). Diversamente da quanto si potrebbe pensare, il ritorno economico non è inteso come forma di guadagno diretto ma come mancata spesa, ad esempio si può far riferimento alla riduzione di consumi energetici, riduzione rischio alluvione, riduzione inquinanti ecc.... In alcuni casi c'è un tornaconto economico diretto, come nella vendita di legname, in altri casi ancora, la fornitura del servizio ecosistemico può essere direttamente pagata come nel caso della rimozione di CO₂, fitodepurazione o altro ancora. Questi ultimi sono i cosiddetti PES (*Payment for Ecosystem Services*) e si inseriscono in un settore di mercato ancora poco conosciuto, ma che è in fase di sviluppo in diversi Paesi del mondo (*Ceccon P., 2017*). I SE sono connessi tra loro da legami complessi e la presenza dei fattori ambientali rende ancora più incerte le stime. Non a caso, la valutazione dei servizi ecosistemici risulta un'operazione complessa che può seguire molteplici approcci. I metodi di valutazione dei servizi ecosistemici possono essere raggruppati in quattro grandi tipologie: biofisici (modelli ecologici o idrologici ecc.), socioculturali (analisi narrativa ecc.), monetari (metodi basati sui costi) e integrativi (Multi-criteria Decision Analysis (*MCDA*), Bayesian Belief Networks (*BBN's*)) (*Harrison et al., 2018*).

Sebbene l'importanza degli ecosistemi per la società umana abbia molte dimensioni (ecologica, socioculturale ed economica), esprimere il valore dei servizi ecosistemici in unità monetarie è importante ad accrescere la consapevolezza e trasmettere l'importanza (relativa) degli ecosistemi e della biodiversità ai decisori politici. L'informazione sui valori monetari permette un uso più efficiente dei fondi (presenti in quantità limitate) poiché si riesce ad identificare dove la protezione e il restauro sono economicamente più importanti e possono essere forniti a costo più basso (*Crossman e Bryan, 2009; Crossman et al., 2011*).

Il fatto di poter esprimere i valori dei SE in unità monetarie fornisce anche una guida per capire le preferenze degli utenti e il valore relativo che le generazioni attuali danno a questi

servizi ecosistemici. I valori aiutano a prendere decisioni sull'allocazione delle risorse tra usi diversi in concorrenza tra loro, anche se si deve tener conto che i valori monetari essendo basati solo sui prezzi di mercato, molto spesso trascurano i diritti (valori) delle generazioni future (Farley, 2008). Inoltre, la misurazione della vasta gamma di flussi di servizi ecosistemici e dei loro valori in unità monetarie o altro è un passo fondamentale per migliorare gli incentivi e generare le spese necessarie per la loro conservazione e uso sostenibile, come i sistemi di pagamenti o ricompense per i servizi ecologici (Farley e Costanza, 2010; Leimona, 2011). Tutte queste informazioni sono importanti per l'implementazione del programma di lavoro della Convenzione sulla Diversità Biologica (CDB) su incentivi e misure, così come per promuovere l'integrazione di tali valori nei sistemi di contabilità nazionale (TEEB in Policy, 2011). Si ricorda che la valutazione monetaria non implica che gli incentivi economici siano l'unica soluzione, ma dovrebbe essere vista come un'aggiunta ad altri strumenti come la pianificazione e la regolamentazione del territorio. La ricerca sulla valutazione monetaria dei S.E risale agli anni '60 ma ha ricevuto una grande attenzione con la pubblicazione di Costanza et al. (1997) e da allora c'è stata una crescita nel numero di articoli e rapporti sulla valutazione monetaria delle risorse naturali, dei servizi ecosistemici e della biodiversità (Figura 2.7).

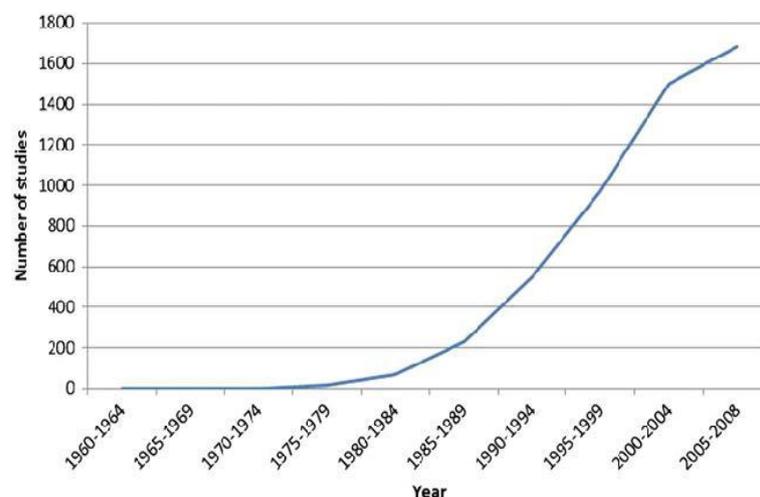


Figura 2.7 – Curva cumulativa degli studi effettuati sui Servizi Ecosistemici dal 1960 al 2008. (Fonte: modificato da Christie et al., 2008)

Queste pubblicazioni coprono un gran numero di ecosistemi, tipi di paesaggi, diverse definizioni di servizi, diverse aree, diversi livelli di scala, tempo e complessità e diversi metodi di valutazione. Concludendo, la valutazione monetaria può essere un potente strumento di valutazione e definizione delle politiche perché fornisce una metrica comune con cui fare confronti (Heal G., 2000).

2.2.1 Pagamento dei Servizi Ecosistemici (PES)

I PES sono nati per rispondere alla perdita di capitale naturale e alla conseguente riduzione della capacità di fornitura dei servizi ecosistemici (soprattutto di regolazione); sono forme di scambio finalizzate al ripristino e alla tutela dei sistemi ecologici e dei servizi da essi forniti. Recentemente, si sono guadagnati l'attenzione di ricercatori, politici e diversi stakeholders¹⁵, che li hanno utilizzati come strumento per migliorare la tutela e conservazione dell'ambiente in tutte le sue forme e funzioni (*Papanastasis et al., 2015; Smith et al., 2015*). I servizi devono essere visti come qualcosa di prezioso e tangibile per essere negoziabili e attirare finanziamenti con cui pagarli. Questa visione sarebbe facilitata se ogni servizio offerto fosse valutato in una UEF¹⁶ (*Unità Ecologica Funzionale*). Più recentemente (*Wunder, 2015*), i PES sono stati considerati schemi in cui utilizzatori/beneficiari pagano i fornitori del servizio che sfruttano entrando nell'ottica innovativa di "chi usa paga". Molto spesso, quando i soggetti coinvolti sono tanti, si affida la gestione contrattuale e l'erogazione del servizio ambientale a un terzo che può essere un'associazione piuttosto che un'autorità pubblica, un'agenzia etc. (*Berardi et al., 2017*). I PES possono essere intesi come un sistema che regola il legame tra il soggetto che produce e mantiene i SE e il soggetto che ne usufruisce pagando, quindi dando la sua riconoscenza al "lavoro della Natura". Tramite questi pagamenti dei SE si può creare un reddito nelle aree rurali socialmente ed economicamente più svantaggiate ed accrescere i livelli di benessere (*Carius et al., 2012*). I PES sono presenti nei cinque continenti (*FAO, 2012*) e riguardano essenzialmente tre servizi ecosistemici: WES (*servizi idrici e relativi al suolo*), regolazione del clima, conservazione della biodiversità. I PES sono stati inseriti nell'elenco dei "Meccanismi finanziari innovativi" per quanto riguarda la strategia per la mobilitazione delle risorse durante la IX Conferenza del Parti della Convenzione sulla Diversità Biologica (*CDB*) con l'obiettivo di aumentare il numero di finanziamenti e favorire il raggiungimento degli obiettivi della CBD (*Ogwal e Schultz, 2014*). L'utilizzo di questa forma di pagamento, come rivelano diverse tipologie di dati (dati di copertura geografica, n° di programmi, valore delle transazioni ecc.), è in continua crescita, però tali dati non danno una misura sull'efficacia per quanto riguarda la fornitura di servizi (*misura biofisica*), misura economica e riduzione di povertà.

¹⁵ Stakeholders: sono quei soggetti, individui o organizzazione coinvolti in modo diretto o indiretto in un'iniziativa economica (progetto o attività) di un'azienda (*Fonte: dizionario di Google*)

¹⁶L'Unità Ecologica Funzionale è l'ambito territoriale eco-geografico a cui si riferisce il sistema di pagamento del SE e ambientale considerato, caratterizzato dal fatto che il verso di flusso dei servizi di regolazione da un'area di origine ad una di utilizzo o trasferimento è noto. (*Santolini e Morri, 2017*)

3. SOFTWARE I-TREE

3.1 Presentazione della suite



I-Tree è una suite di software in continua evoluzione sviluppata e revisionata dall'USDA¹⁷ Forest Service e da numerosi collaboratori, tra cui la Davey Tree Expert Company, l'Arbor Day Foundation, la Society of Municipal Arborists, l'International Society of Arboriculture, Casey Trees e lo State University of New York College

of Environmental Science and Forestry, che sono entrati in una partnership cooperativa per sviluppare ulteriormente, diffondere e fornire supporto tecnico alla suite [15]. Tale software fornisce strumenti di analisi e valutazione dei servizi ecosistemici offerti in ambito urbano, poi grazie ai risultati, gli utenti possono collegare le attività di gestione forestale con la qualità ambientale e la vivibilità della comunità. La suite open source i-Tree è stata lanciata nel 2006 ed è ormai conosciuta e utilizzata da molte comunità, organizzazioni no profit, consulenti, volontari e studenti di ogni parte del mondo per ottenere una valutazione dei S.E forniti dal verde urbano su diverse scale, a partire dai singoli alberi, piccole aree, quartieri, città fino a stati interi. Gli utenti di i-Tree, consapevoli dei S.E forniti dal verde urbano, possono utilizzare questo strumento per dimostrare il valore e stabilire le priorità per un processo decisionale più efficace. Anche se il software è stato sviluppato in USA tenendo conto delle condizioni climatiche, ambientali e sociali del posto, con il passare degli anni è stato adattato per essere fruibile in altri stati come Canada, Australia, Regno Unito, Messico, Corea del Sud, Colombia e gran parte dell'Europa. In *figura 3.1* si può osservare l'integrazione della suite nel mondo. Anche l'Italia è uno degli utilizzatori frequenti della quale si possono anche indicare alcune esperienze come lo studio effettuato sul verde urbano a Forlì da *Buffoni et al., 2008*.

¹⁷ USDA: United States Department of Agricultural è un dipartimento federale degli Stati Uniti, fondato nel febbraio 1889 . Questo atto concesse all'USDA lo status di Cabinet Department; fin dalla prima metà del XIX secolo, tuttavia, furono istituiti enti o sezioni aventi la finalità di tutelare e far progredire l'agricoltura nel territorio degli Stati Uniti. Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Dipartimento_dell'agricoltura_degli_Stati_Uniti_d'America.



Figura 3.1 – Distribuzione di I-Tree nel mondo [17]

Come anticipato, i-Tree offre diverse applicazioni, di cui alcune possono essere utilizzate esclusivamente via web (web) ed altre tramite interfaccia desktop (DT). Inoltre, non tutte le applicazioni sono utilizzabili in Italia. Volendo fare una suddivisione, si possono distinguere cinque categorie riportate nella seguente tabella:

<p><u>Core Programs</u>: sono gli strumenti principali che valutano la popolazione di alberi, i servizi ecosistemici e ne quantificano il valore. Questi programmi principali sono progettati per fornire dati forestali e aiutare a migliorare le decisioni di gestione delle foreste urbane.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ i-Tree MyTree ○ i-Tree Landscape ○ i-Tree Design ○ i-Tree Eco ○ i-Tree Canopy ○ i-Tree Hydro
<p><u>Utilities</u>: sono strumenti autonomi che aiutano i programmi di base o applicazioni specializzate per scopi specifici.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ i-Tree Species ○ i-Tree Projects ○ i-Tree Database ○ i-Tree Glossary ○ i-Tree Eco Mobile Data Collection ○ i-Tree Pest
<p><u>Altri tools sviluppati da i-Tree</u>: sviluppati per specifici partner e disponibili per tutti gli usi.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ County Tree Benefits ○ GHG Planting Calculator ○ Harvest Carbon Calculator (precedentemente noto come PRESTO) ○ UK Highways England

<p><u>Strumenti di ricerca:</u> disponibili per utenti tecnici avanzati. I risultati di questi strumenti sono spesso incorporati negli strumenti Core di i-Tree per rendere questa ricerca più accessibile al pubblico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ i-Tree Buffer ○ i-Tree Energy ○ i-Tree Hydro+ ○ Tree Compensation Calculator
<p><u>Strumenti Legacy:</u> programmi che sono stati incorporati in altri strumenti o utility, o che non vengono più aggiornati da i-Tree.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ i-Tree Storm ○ i-Tree Vue ○ i-Tree Streets ○ MCTI

Tabella 3.1 – Applicativi della suite i-Tree [17]

3.2 Breve descrizione degli applicativi di i-Tree

CORE PROGRAMS

(*Subito dopo il nome del programma si inserisce la parentesi “(web)” per indicare che l’applicazione è utilizzabile in rete oppure “(DT)” per indicare che esiste una versione desktop).

i-Tree MyTree (web) ad oggi, utilizzabile solo in USA e in Canada, è un’applicazione alla quale si può accedere da dispositivo mobile che è in grado di geolocalizzarsi. Essa è in grado di quantificare i benefici provenienti dai singoli alberi a valle della fornitura di una serie di dati come specie dell’albero (o degli alberi), distanza dall’edificio e orientamento rispetto allo stesso, esposizione alla luce del sole e diametro del tronco;

i-Tree Landscape (web) è un’applicazione che dà la possibilità di consultare dati relativamente a un territorio come copertura di suolo, dati demografici, disposizione delle aree verdi e benefici connessi, rischi per la salute umana dovuti a malattie, insetti, incendi, inquinamento ecc. Con l’ausilio dei dati elaborati dallo strumento, si promuovono programmi di piantumazione dedicati ad aree con maggiore priorità al fine di migliorare i servizi forniti dal verde;

i-Tree Design (web) permette a chiunque di fare una semplice stima dei benefici forniti dai singoli alberi in termini energetici. Con gli input di posizione, specie, dimensione e condizione dell'albero, gli utenti possono valutare i benefici degli alberi relativi alla mitigazione dei gas serra, ai miglioramenti della qualità dell'aria e all'intercettazione delle acque meteoriche. Tramite un collegamento a Google Maps si inserisce l’abitazione nel contesto arboreo ed è anche possibile valutare i benefici per diversi scenari, inserendo virtualmente nuovi alberi, modificando la posizione di quelli già presenti, riferendosi anche a

diversi anni (es. stime su benefici futuri). Questo strumento è inteso come un punto di partenza semplice e accessibile per capire il valore dei singoli alberi o di un numero ristretto di alberi per una comunità. Anche l'utilizzo di questa applicazione è limitato agli USA e Canada;

i-Tree Eco è un'applicazione desktop (DT) molto flessibile che in input prevede dati di campo (sui singoli alberi, inventari completi o campionati relativi a un'area di studio) e dati orari di concentrazioni di inquinanti atmosferici e precipitazioni. Tali dati sono elaborati dal software per poi restituire in output la struttura della foresta, i servizi ecosistemici e i valori di qualsiasi popolazione arborea (compreso il numero di alberi, la distribuzione dei diametri, la diversità delle specie, il potenziale rischio di parassiti, le specie invasive, la rimozione dell'inquinamento atmosferico e gli effetti sulla salute, lo stoccaggio e la rimozione del carbonio, la riduzione del deflusso idrico, le emissioni dei *COV* (composti organici volatili), gli effetti delle condizioni energetiche degli edifici. Si ha, inoltre, la possibilità di stimare l'evoluzione della vegetazione nell'area di studio sulla base delle condizioni attuali. L'applicativo Eco è utilizzabile in ogni paese del mondo (non solo in USA o Canada) grazie all'ausilio di *i-Tree Database* tramite il quale gli utenti possono fornire al servizio forestale degli USA i dati relativi alla località di studio non ancora presente nel sistema. Tali dati vengono elaborati e convalidati per poi essere formattati in modo tale che *i-Tree Eco* possa utilizzarli nella sua stima. Il database dispone anche di una sezione dove sono raccolte le specie vegetali in cui vi possono accedere gli utenti per aggiungerne altre. L'accoppiamento tra Eco e Database apre la suite ad un utilizzo mondiale, sebbene talvolta le tempistiche per l'approvazione dei dati possano risultare un po' lunghe.

i-Tree Canopy (web) è uno strumento fruibile in ogni paese del mondo che consente agli utenti di interpretare immagini aeree reperite da Google o shape file in GIS della propria zona, per elaborare stime statistiche delle coperture arboree e di altro tipo assieme a calcoli relativi all'incertezza delle stime. Esso si rivela uno strumento semplice, rapido ed economico che offre alle città e ai responsabili forestali la possibilità di stimare risultati molto precisi. Così come *i-Tree Database* lo è per *i-Tree Eco*, anche *i-Tree Canopy* fornisce dati da utilizzare nell'applicativo Hydro.

i-Tree Hydro (DT) è stato progettato per simulare il deflusso idrico e la qualità dell'acqua relativamente a una zona in funzione della copertura del suolo. L'applicativo utilizza un modello idrologico specifico per la vegetazione contenente come parametro fondamentale la permeabilità superficiale del suolo. Inoltre, contiene funzioni di autocalibrazione che contribuiscono a confrontare le stime del modello con il flusso orario misurato e

produce tabelle e grafici delle variazioni del flusso e della qualità dell'acqua dovute ai cambiamenti degli alberi e delle coperture impermeabili nelle zone di studio. L'utilizzo di questo strumento è preceduto da i-Tree Canopy come anticipato precedentemente.

UTILITIES

i-Tree Species (web) è nato per aiutare in ambito forestale urbano a selezionare le specie arboree più appropriate in base ai potenziali servizi ambientali che si vogliono e all'area geografica di analisi. Gli utenti, per ogni servizio ambientale richiesto, selezionano un range d'importanza che va da 1-10 e di conseguenza, il programma calcola le migliori specie arboree da piantare per raggiungere gli obiettivi;

i-Tree Projects (web) è un'applicazione ancora in via di sviluppo che dà la possibilità di condividere dati relativi al campionamento degli alberi e arbusti, dei loro benefici e dei risultati ottenuti dall'analisi in Eco. L'utenza ha la possibilità di visualizzare i dati, di scaricarli e confrontarli con altri;

i-Tree Database (vedi la descrizione di i-Tree Eco);

i-Tree Glossary (web) è appunto un vocabolario dove poter cercare il significato di tutti gli acronimi e significati di ciò che è contenuto in i-Tree; esempio: DBH è il diametro dell'albero a direzione del petto (convenzionalmente a 1.37 m da terra);

i-Tree Eco Mobile Data Collection (web) è un sistema di raccolta mobile dei dati, disponibile sia in i-Tree Eco che Street; è progettato per funzionare con dispositivi mobili recenti che hanno accesso a internet. Non si tratta di un'applicazione o di un programma che viene caricato su uno smartphone o tablet, ma di un sistema di moduli web aperti dal browser di un dispositivo connesso a Internet. Brevi interruzioni di connessione non causano nessun problema, in quanto alcuni browser registrano comunque i dati nella memoria cache;

i-Tree Pest è un protocollo in grado di dare un quadro informativo sullo stato di salute degli alberi a partire da informazioni reperite in campo (segni, sintomi, etc.). Il protocollo necessita di informazioni sulle cause che hanno potenzialmente provocato l'infezione, ad esempio, uso di concimi inadatti, esposizione eccessiva alla luce del sole, ristagno d'acqua ecc...;

Tree Change Calculator è uno strumento sviluppato per l'assistenza degli utenti nel calcolo dei cambiamenti statistici delle classi di copertura di suolo. Questo è un file excel e lo si utilizza per i-Tree Canopy;

ALTRI STRUMENTI

County Tree Benefits (noto anche i-Tree County) (web) è uno strumento basato sui dati e sui metodi di i-Tree Landscape. Esso permette agli utenti di stimare rapidamente i servizi ecosistemici e i relativi valori forniti dagli alberi per un'intera contea degli Stati Uniti o per un'area più piccola in base agli input forniti riguardanti la superficie di copertura arborea;

Harvest Carbon Calculator (precedentemente noto come PRESTO) (web) consente ai gestori e ai proprietari terrieri di effettuare la stima della quantità di carbonio immagazzinato nei prodotti in legno raccolti. Nella stima viene considerato il volume del raccolto, la regione geografica e il tipo di legno. I risultati dello stoccaggio di carbonio sono forniti dall'applicativo in tonnellate/ettaro (ton/ha);



Figura 3.2 – Ciclo del carbonio considerato dal calcolatore [17]

GHG Planting Calculator (noto anche come i-Tree Planting) (web) è stato sviluppato per stimare i benefici ambientali a lungo termine di una nuova area verde. L'attenzione dell'applicativo verte sui gas serra, ma anche su altri benefici. Le informazioni da inserire riguardano la specie di albero, le dimensioni degli alberi al momento dell'impianto, informazioni sulla distanza e la direzione dell'edificio più vicino (opzionale), informazioni sulle condizioni di crescita dell'albero, mortalità stimata (opzionale), numero di alberi con ogni configurazione, durata del progetto (numero di anni), valori specifici di gas serra (facoltativo). Dopodiché, il software calcola (in unità e valori di dollari associati) per la durata del progetto, il gas serra sequestrato ed evitato, l'energia conservata gli inquinanti dell'aria catturati ed evitati, le acque meteoriche infiltrate, la biomassa totale degli alberi.

STRUMENTI DI RICERCA (Per i successivi strumenti viene omessa la breve descrizione, comunque disponibile sul sito <https://www.itreetools.org>)

i-Tree Buffer

i-Tree Energy

i-Tree Hydro+

Tree Compensation Calculator

STRUMENTI LEGACY

i-Tree Storm

i-Tree Vue (sostituito da i-Tree Landscape)

i-Tree Streets

MCTI

4. APPROFONDIMENTO DELL'APPLICATIVO I-TREE ECO

4.1 Presentazione dell'applicativo Eco

Per poter giungere alla valutazione di alcuni benefici ambientali ed economici offerti dal verde urbano si può utilizzare l'applicativo i-Tree Eco presentato nel paragrafo precedente. Il software necessita l'inserimento di alcuni dati di campo (specie, località), dati orari di concentrazioni di inquinanti atmosferici e precipitazioni per restituire una serie di risultati che riguardano struttura della foresta urbana, effetti ambientali e valori economici. Dato che il suo utilizzo sta crescendo sempre più nel mondo, i-Tree Eco è giunto alla versione Eco v6 ed è lo strumento più evoluto della suite. I-Tree Eco è un aggiornamento del modello Urban Forest Effects (*UFORE*), che è stato sviluppato in collaborazione dalla Northern Research Station (NRS) dell'U.S. Forest Service, dall'USDA State and Private Forestry's Urban and Community Forestry Program and Northeastern Area, dalla Davey Tree Expert Company e dal SUNY College of Environmental Science and Forestry (dal Manuale utenti aggiornato al 2021). Il modello non è dedicato ad una scala spaziale specifica ma è adattabile, e permette non solo lo studio del singolo albero ma anche del verde di parchi, foreste fino a paesi interi. Grazie ai risultati numerici ottenuti a valle dell'analisi con il software, si riesce a mostrare l'efficacia del verde nel contesto urbano e indirizzare le amministrazioni Comunali, managers, ricercatori ecc. a prendere decisioni efficaci di gestione delle risorse, sviluppare politiche e stabilire priorità.

I-Tree Eco per poter essere utilizzato al di fuori di USA e altri paesi partner ha bisogno dell'ausilio di i-Tree Database, un applicazione web che consente l'aggiunta di nuovi dati da parte degli utenti che devono seguire una procedura specifica. Con un progetto in Eco, è possibile simulare i vantaggi offerti dal verde nei pressi di abitazioni, uffici, scuole ecc. adattando il modello il più possibile al caso tramite l'inserimento di dati climatici (intensità di pioggia, temperature), dati ambientali (concentrazioni di inquinanti) e altri dati che saranno elencati durante l'applicazione del software. Prima di procedere alla spiegazione dettagliata sulle funzionalità del software, vengono brevemente descritte le componenti del modello UFORE (*paragrafo 4.2*).

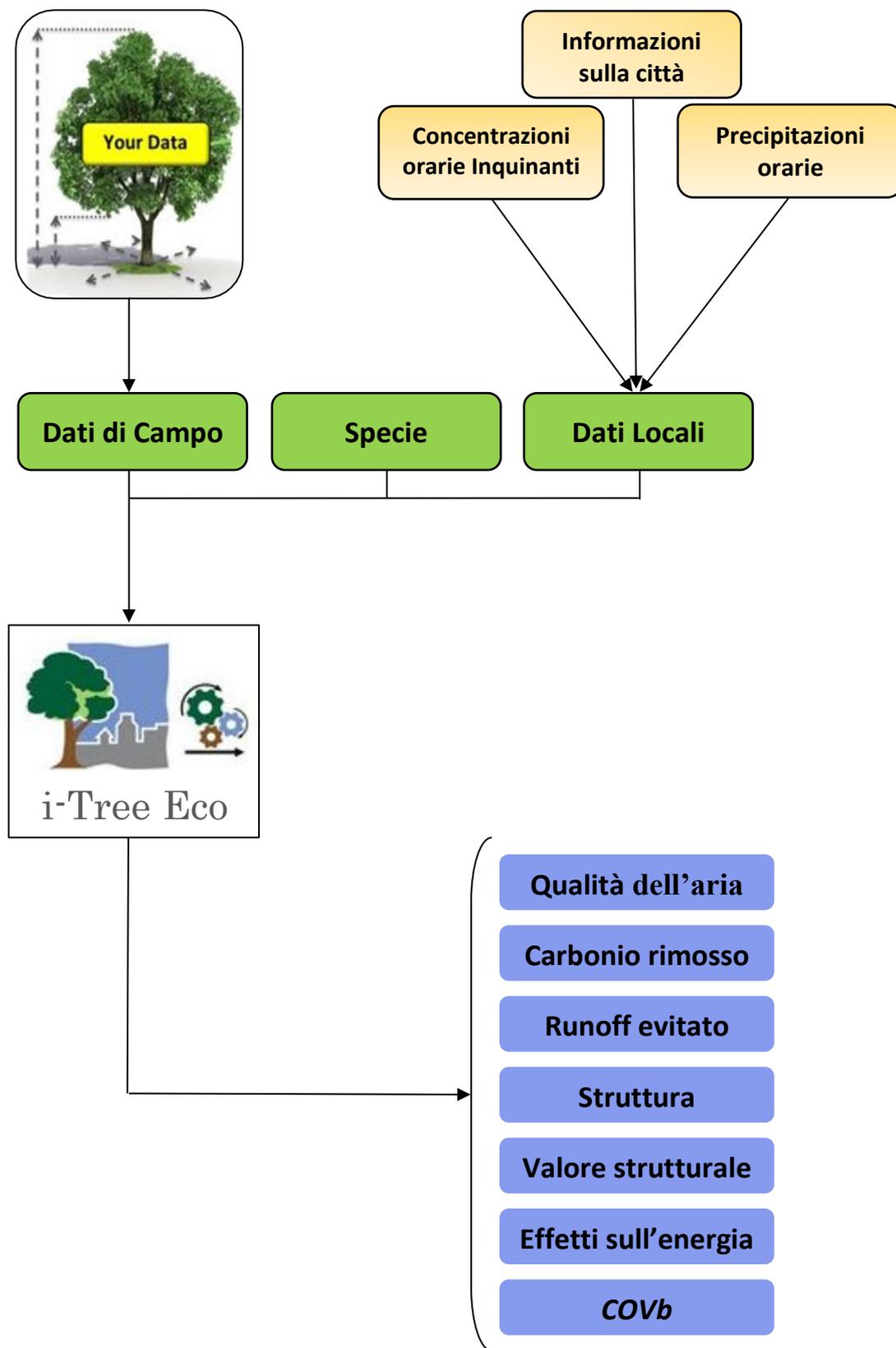


Figura 4.1 – Schema concettuale sul funzionamento di i-Tree Eco (Fonte: [15], rivisitato)

4.2 Accenno sul modello alla base di i-Tree Eco

Ideato negli anni '90 dal servizio forestale del USDA¹⁸, il modello UFORE (Urban Forest Effect) è alla base dell'applicativo Eco. Tale modello è in grado di trattare dati di campo assieme a quelli di inquinamento atmosferico e precipitazioni locali per fornire risultati quantitativi sulla struttura della foresta urbana e sugli effetti ambientali correlati (*Nowak e Crane, 2000*). Il modello è sempre aggiornato e attualmente è composto da cinque parti:

- UFORE-A: *Anatomy of the Urban Forest*: questa parte analizza quantitativamente la struttura delle foreste urbane come la composizione delle specie, densità degli alberi, salute degli alberi, area delle foglie, biomassa delle foglie e degli alberi basandosi sui dati di campo.
- UFORE-B: *Biogenic Volatile Organic Compound (VOC) Emissions*: la seconda parte quantifica sia le emissioni orarie di COV derivanti dalle foreste urbane (isoprene, monoterpeni e altre emissioni di COV che favoriscono lo sviluppo di ozono) basate su dati di precipitazioni e altri dati di campo, sia la formazione di ozono (O₃) e monossido di carbonio (CO) entrambi basati sulle emissioni di composti organici volatili (VOC).
- UFORE-C: *Carbon Storage and Sequestration*: questa sezione è in grado di calcolare il carbonio totale immagazzinato e il carbonio sia lordo che netto sequestrato annualmente dalla foresta urbana avvalendosi dei dati di campo necessari.
- UFORE-D: *Dry Deposition of Air Pollution*: la penultima sezione quantifica la quota parte di inquinamento rimosso ogni ora dalla foresta urbana assieme alla percentuale di miglioramento della qualità dell'aria per un dato anno. Il modello utilizza in questa sezione dati di campo, di concentrazione di inquinante e meteorologici su base oraria per calcolare la rimozione di inquinamento, quali ozono (O₃), anidride solforosa (SO₂), biossido di azoto (NO₂), monossido di carbonio (CO) e particolato (PM₁₀).
- UFORE-E: *Energy Conservation*: valuta gli effetti che gli alberi hanno sul consumo di energia degli edifici e di conseguenza sulle emissioni di carbonio degli impianti di produzione energetica.

¹⁸ USDA Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti d'America

4.3 I-Tree Database

A causa della crescente domanda nel mondo è stato sviluppato i-Tree Database, un'applicazione online che permette agli utenti di fornire i dati relativi all'ubicazione, alle precipitazioni, all'inquinamento e alle specie presenti nell'area di progetto per poi essere convalidati e inclusi nel database alla base del software i-Tree Eco, consentendo a quell'area di progetto di funzionare automaticamente nell'applicazione tramite gli aggiornamenti futuri del software. In passato, i progetti internazionali richiedevano molto tempo e risorse per essere elaborati manualmente dal personale del Servizio Forestale, mentre il nuovo sistema automatizza i processi di convalida e rende i-Tree Eco disponibile a tutti.

Il Database è composto da due sezioni principali, *Specie* e *Località*; la sezione dedicata alle specie contiene una raccolta molto ampia di specie vegetali e per ognuna sono date informazioni su nome del genere, nome della specie, sinonimo, famiglia, ordine, classe, nome comune, codice della specie, forma delle foglie, dimensione foglia, tipo di foglia, tasso di crescita, longevità, altezza alla maturità. Qualora la specie da selezionare non fosse presente nel database delle specie, è possibile inserirla tramite l'applicazione web seguendo una specifica formattazione e aspettando la convalida dei dati dall'U.S Forest Service.

Per quanto riguarda la sezione del Database dedicata alle località, questa viene continuamente aggiornata con nuovi dati, permettendo agli utenti che vorranno fare un'analisi su località di cui si hanno informazioni, di usufruire direttamente di Eco. La prassi da seguire per inserire una nuova località consiste nello specificare latitudine, longitudine e altitudine per poi identificare una regione statunitense che dal punto di vista climatico sia rappresentativa dell'area di studio (*figura 4.2*).

Per individuare la città rappresentativa ubicata in USA della nuova area scelta dall'utente, si fa affidamento all'errore quadratico medio (RMSE, root mean square error) calcolato come segue (*McPherson, 2010*):

$$RMSE = \sqrt{a \cdot (HDD_{SC} - HDD_{RC})^2 + b \cdot (CDD_{SC} - CDD_{RC})^2 + c \cdot (AP_{SC} - AP_{RC})^2 + d \cdot TM_{RC}^2}$$

Dove:

- HDD_{SC} e HDD_{RC} sono rispettivamente gli *Heating Degree Days* della località di studio e della città di riferimento in USA. Questo parametro rappresenta un sunto delle oscillazioni di temperatura dell'aria in funzione del riscaldamento degli edifici [16];

Il programma, arrivati a questo punto, procede con il calcolo dell'albedo¹⁹ medio della località considerando i seguenti dati: massima temperatura estiva, altezza annua di pioggia e neve e percentuale di copertura verde. La trasmissione di questi dati non avviene inserendo una cifra precisa, ma dicendo semplicemente se si è superata una certa soglia o meno ad esempio per quanto riguarda la parte dedicata alle piogge abbondanti si risponderà "sì" qualora l'altezza di pioggia annuale abbia superato 1000 mm. Per avanzare l'inserimento della nuova località nel *Database* si deve anche localizzare lo stato che abbia sia lo spessore di ozono che la latitudine simili a quelli della località nuova. L'informazione riguardo lo spessore dello strato di ozono si può consultare dalla pagina della NASA sul Portale "Giovanni" [19]. I dati discussi finora sono indispensabili per inserire la nuova località, tuttavia, ce ne sono altri facoltativi che riguardano temperatura minima, numero di giorni in cui sono presenti foglie e non, fuso orario e infine chilogrammi di CO₂ emessi su ogni kWh di energia elettrica consumata.

Il Database è propedeutico all'utilizzo di i-Tree Eco, pertanto, per le località nuove si devono ancora inserire dati orari relativi a un anno solare²⁰ delle altezze di pioggia e delle concentrazioni di inquinanti che comprendono particolato PM_{2.5} (polveri sottili), CO (monossido di carbonio), NO₂ (diossido di azoto), O₃ (ozono), SO₂ (anidride solforosa o biossido di zolfo). L'upload di questi ultimi dati è un'operazione che ha bisogno della giusta formattazione su un foglio di calcolo (per i dettagli si consulti il manuale utenti); tali dati verranno controllati e convalidati dall'U.S Forest Service per poi essere fruibili agli utenti successivi direttamente in i-Tree Eco aggiornato. Qualora non si abbiano i valori di precipitazioni e/o agenti inquinanti, Eco non effettua la valutazione dei deflussi idrici in presenza di vegetazione o quantitativi di inquinanti rimossi ma analizza solo la struttura e le caratteristiche della foresta urbana.

L'ausilio di i-Tree Database ha esteso l'utilizzo dell'applicativo Eco a molti paesi nel mondo, con il limite di impiegare un po' di tempo per la convalida di dati nuovi se l'area è molto estesa.

¹⁹ L'albedo (dal latino albēdo, "bianchezza", da albus, "bianco") di una superficie è la frazione di radiazione solare incidente che è riflessa in tutte le direzioni. Essa indica il potere riflettente di una superficie. L'albedo massima è 1, quando tutta la luce incidente viene riflessa. Equivalentemente, l'albedo può essere espressa in percentuale, quindi 1 corrisponde al 100 % [18]

²⁰ L'anno solare è considerato a partire dal 1° Gennaio al 31 Dicembre.

4.4 Step per l'utilizzo di Eco (Fonte: Manuale utenti i-Tree Eco v6)

Dopo aver inserito i dati relativi alla nuova località tramite l'applicativo i-Tree Database, si può passare all'utilizzo della piattaforma Eco. Si identificano diverse fasi fondamentali nello sviluppo di un progetto, tramite le quali è possibile personalizzare il lavoro e ottenere risultati migliori.

PIANIFICAZIONE DEL PROGETTO

Come inizio, si deve identificare il confine dell'area che si vuole studiare, perché come precedentemente anticipato, il software è in grado di sviluppare l'analisi su diverse scale spaziali, da un'intera città a un quartiere, un parco sino a un cortile. Gli approcci di scelta legati alla scala spaziale sono due: Plot-Based Sample Inventory e Complete Inventory; il primo è un inventario per aree di campionamento utile quando si studiano aree vaste per il quale non si specificano i dati di tutti gli alberi, mentre il secondo prevede la raccolta di dati sul singolo albero in modo estensivo ed è utilizzato quando l'area di studio è ridotta (es. cortile vegetato) perché è un'operazione abbastanza impegnativa.

Plot-Based Sample Inventory (PBSI)

Questo inventario è generalmente adottato dagli utenti che hanno intenzione di eseguire un'analisi su larga scala. Seguendo questo approccio si devono generare dei plot o aree di campionamento per le quali si assume che le condizioni presenti al suo interno siano rappresentative dell'intera area. In questo modo si semplifica il lavoro nel caso di aree molto vegetate e/o vaste che comporterebbero altrimenti dispendio di tempo e danaro. I plot sono aree circolari di dimensione definita dall'utente, situate in modo casuale all'interno dell'area di progetto e localizzate tramite coordinate GPS dei rispettivi centri.

Per alcuni studi, oltre alla suddivisione precedente, può essere fatta la stratificazione (suddivisione) dell'area di studio in unità più piccole per riconoscere meglio le differenze in tutta l'area. Per esempio, un inventario campionato stratificato con molte aree piccole può permettere un confronto tra tipi di uso del suolo o quartieri e una maggiore precisione delle stime del modello. Tuttavia, si possono fare considerazioni associate al progetto non del tutto favorevoli quando si sceglie la stratificazione in quanto sono necessarie risorse aggiuntive per creare le mappe, ottenere il permesso d'accesso alle proprietà, raccogliere dati sul campo. Al contrario, un semplice inventario per campioni senza stratificazione non permette di confrontare le sotto-unità, ma può comunque fornire informazioni sufficienti per

raggiungere gli obiettivi del progetto. In definitiva, la decisione di stratificare dovrebbe essere basata sugli obiettivi attuali e futuri del progetto e sulle risorse disponibili.

- *No Stratification*: le aree di campionamento sono disposte a caso nell'area di studio. Questo è un metodo semplice che offre il vantaggio della vera casualità, tuttavia, in casi particolari potrebbe non fornire un quadro reale della foresta urbana. Si consideri, per esempio, il caso in cui una città è divisa in due classi d'uso del suolo: residenziale (10% della superficie totale) e industriale (90% della superficie totale), con tutti gli alberi nel quartiere residenziale. Un campione casuale collocherebbe il 10% dei plot in aree residenziali e il 90% nella zona industriale; così facendo si otterrebbe un quadro errato della foresta urbana. Poiché nella maggior parte delle città gli alberi stessi non sono distribuiti in modo casuale tra gli usi del suolo o i quartieri, il campionamento stratificato può offrire un quadro più accurato della foresta urbana.
- *Stratification*: l'area di studio è suddivisa in unità più piccole come quartieri o differenziate per classi d'uso del suolo. Questa partizione può essere fatta prima della raccolta dati (pre-stratificazione) o dopo (post-stratificazione).

Pre-Stratificazione come suggerisce la parola stessa, rappresenta il caso in cui la divisione in sottoclassi avviene prima della generazione delle aree di campionamento. Il numero di plot in ogni sottoclasse è scelto in funzione alle aree in base alla minore/maggiore variabilità o minore/maggiore interesse.

Post-Stratification: le aree di campionamento sono distribuite casualmente nell'area di progetto e i confini delle sotto aree sono definite dopo la raccolta dei dati di campo. Questo modo di operare analizza le variazioni temporali dell'uso di suolo cambiando i confini degli strati senza rifare misure di campo. Nonostante la maggiore flessibilità della post-stratificazione, le stime potrebbero non essere accurate come un progetto pre-stratificato dove la quantità di aree campionate è predefinita in base ai tipi di terreno esistenti e agli obiettivi desiderati.

Per avere un'idea sul numero di aree di campionamento (plot) si deve tener in conto sia della precisione richiesta nelle stime, sia dei dati disponibili. Generalmente 200 plots (400 m² ciascuno) in un campione casuale stratificato (con almeno 20 plots per strato) generano un errore standard di circa il 10% per la stima del numero di alberi di una città. Man mano che il numero dei plot aumenta, l'errore standard diminuisce fornendo risultati più precisi.

Il grafico seguente fornisce una stima approssimativa di come l'errore standard del numero totale di alberi in una città cambia in base al numero di aree campionate, e in particolare si osserva che per i primi 100 plot, l'errore standard scende più rapidamente rispetto ai successivi 100 plot, anche se l'errore standard continuerebbe a scendere comunque con l'aumentare della dimensione del campione.

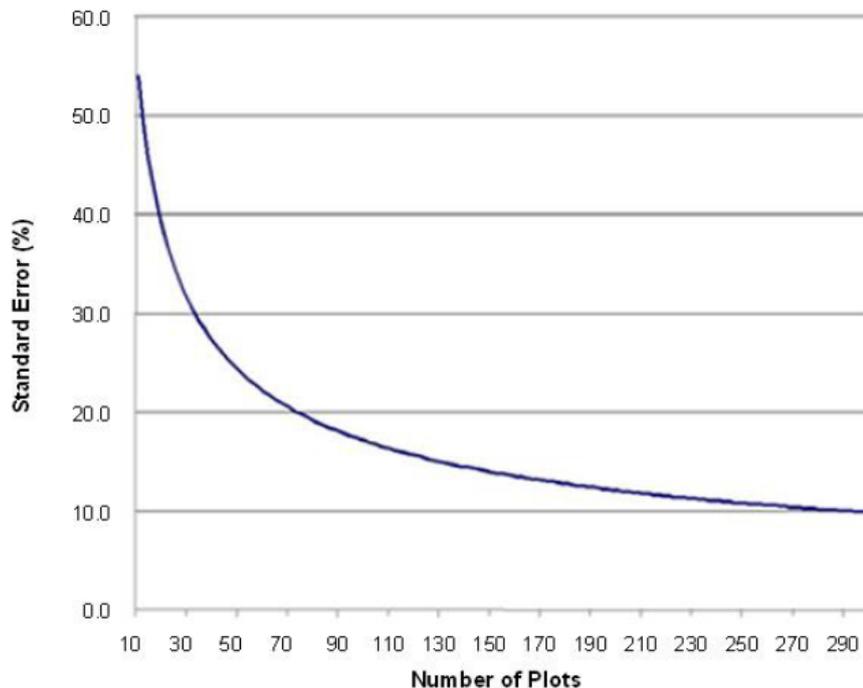


Figura 4.3 – Errore standard del numero totale di alberi in funzione al numero di aree campionate [Fonte: Manuale Utenti i-Tree Eco v6]

Bisogna ancora considerare il fatto che col crescere del numero di plots, aumentano anche il tempo e il costo della raccolta dei dati sul campo. Un team composto da due persone può normalmente misurare 200 aree in un'estate per una città che presenta il 20% di copertura arborea. In conclusione, il numero effettivo di aree di campionamento varia in base a molti fattori, tra cui la dimensione della città e la copertura arborea. È consigliabile aggiungere il 5-10% in più al numero di plots in modo tale da compensare la presenza di aree inaccessibili.

A prescindere dal fatto che si scelga di lavorare con campioni stratificati o meno, i plots possono essere distribuiti casualmente sull'area di studio in diversi modi:

- *Random (Casuale)*: per un campione non stratificato o post-stratificato, i plots sono disposti in modo casuale entro i confini dell'intera area di studio, mentre per un campione pre-stratificato, i plots sono disposti in modo casuale entro i confini di ogni singolo strato predeterminato;

- *Fixed Grid (Griglia fissa)*: come prima cosa, i plots casuali sono creati e disposti secondo una griglia di punti equidistanti e fissi su tutta l'area del progetto; dopodiché tali punti della griglia vengono numerati. Per un campione non stratificato o post-stratificato, i plots sono selezionati per l'intera area di studio scegliendo i punti dalla griglia utilizzando un generatore di numeri casuali, che può essere trovato online o all'interno di strumenti software come Excel, mentre per un campione pre-stratificato, i plots sono selezionati allo stesso modo, ma per ogni strato predeterminato. Un potenziale svantaggio di questo metodo, tuttavia, può verificarsi qualora la griglia coincidesse involontariamente con una griglia stradale esistente in città.
- *Randomized Grid (Griglia random)*: secondo tale metodo, sull'area di studio viene posta una griglia spaziata uniformemente, per poi selezionare i punti del grafico, in modo casuale, all'interno di ogni cella, il che permette una distribuzione più uniforme dei punti in tutta l'area di studio con un maggior grado di casualità rispetto all'uso di una griglia fissa.

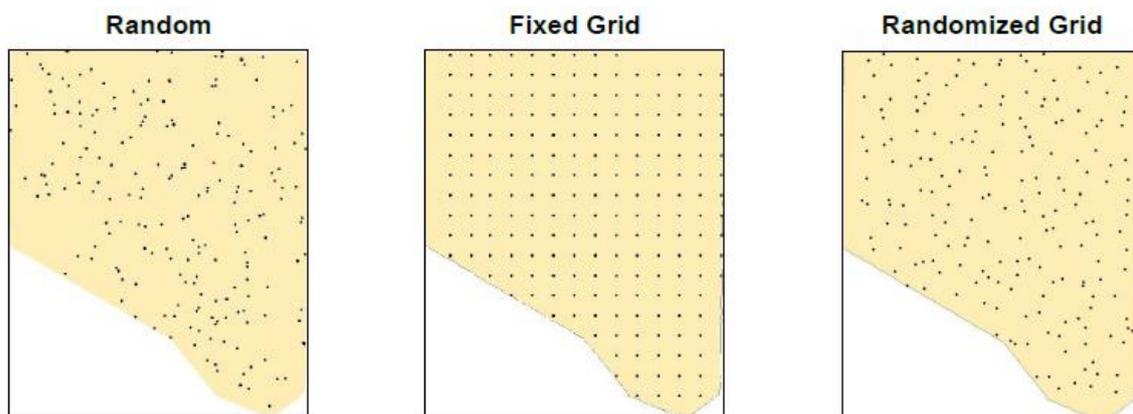


Figura 4.4 – Disposizione dei plots [Fonte: Manuale Utenti i-Tree Eco v6]

Complete Inventory (CI)

Utilizzato per aree con estensione modesta, questo inventario riguarda ogni singolo albero ed è un'operazione più impegnativa rispetto all'approccio plot-based sample inventory con il vantaggio di fornire risultati più precisi. Quando l'utente possiede a priori l'inventario completo per l'area di studio, tale informazione può essere introdotta in *Eco* con un foglio di calcolo Excel, file CSV²¹ o anche con Access²². Anche con questo approccio si può

²¹ Il comma-separated values (o CSV) è un formato di file che si basa su file di testo ed utilizzato per l'importazione ed esportazione (come fogli elettronici o database) di dati [20].

²² Microsoft Access è un'interfaccia software utilizzato per la gestione di basi di dati di tipo relazionale che sfrutta il Microsoft Jet Database Engine e che integra in sé un modulo per lo sviluppo rapido di applicativi gestionali [21].

sviluppare una stratificazione (suddivisione) dell'area di studio in sotto-unità più piccole seguendo lo stesso modus operandi dell'inventario per aree di campionamento.

RACCOLTA DATI DI INPUT

Un passo importante nella pianificazione del progetto in Eco riguarda la raccolta dei dati di campo per il quale è previsto l'inserimento obbligatorio di sole due informazioni riguardanti l'albero:

- SPECIE
- DBH (Diameter at breast height) che sarebbe la misura del diametro del tronco dell'albero a 1.37 m di altezza (letteralmente tradotto vuol dire diametro al petto).

Questa semplificazione permette agli utenti che posseggono dati limitati sugli alberi di eseguire comunque un'analisi con i-Tree Eco, a discapito della bontà dei risultati prodotti che saranno più approssimativi in quanto il software per compilare i dati mancanti utilizza valori predefiniti e quindi uguali per tutti gli alberi oppure in altri casi utilizza equazioni di regressione. Per questo motivo, oltre ai dati minimi di specie e DBH, è consigliabile raccogliere altri dati sugli alberi (dettagli tecnici su come reperire questi dati sono forniti dal manuale di campo e riportati nel paragrafo successivo):

- *Uso del suolo*
- *Copertura del suolo*
- *Altezza totale dell'albero*
- *Altezza della chioma viva (nel caso in cui la cima dell'albero sia appassita)*
- *Altezza alla base della chioma*
- *Larghezza della chioma*
- *Percentuale di chioma mancante*
- *Salute della chioma*
- *Esposizione alla luce della chioma*

Come si può osservare, le nove informazioni altamente raccomandate, assieme alle specie e ai dati di DBH, sono fondamentali per la stima dei servizi ecosistemici. Pertanto, la qualità dei risultati del modello sarà migliore qualora siano disponibili più dati.

Se si segue l'approccio plot-based sample inventory si devono fornire almeno due ulteriori informazioni:

- *percentuale di area accessibile e misurabile*: identifica la frazione di area che la squadra sul campo è in grado di raggiungere e misurare, direttamente o tramite stima;

- *percentuale di copertura arborea*: identifica la frazione di terreno coperta dalla chioma degli alberi o arbusti per ogni area di campionamento.

Oltre a queste due informazioni, per l'approccio *PBSI* si possono raccogliere ulteriori dati:

- *distanza dal centro del Plot*: è la distanza più breve (parallela al suolo) che intercorre tra il centro del plot e il punto più esterno del tronco dell'albero misurata a 1.37 m da terra;
- *direzione della pianta rispetto al centro del plot*: è la direzione dell'albero rispetto al centro del plot misurata in gradi;
- *percentuale di spazio piantabile*: è la percentuale di area di campionamento disponibile per la piantumazione di nuovi alberi (ad esempio la porzione di area che non è già coperta da alberi).
- *Altro*.

Gli altri dati utili sono quelli inseriti tramite i-Tree Database per nuove località e riguardano la concentrazione di inquinanti presenti nell'aria e dati metereologici, entrambi raccolti con cadenza oraria e relativi ad un anno solare. Queste due informazioni sono fortemente legate tra loro ed hanno un ruolo preponderante sui processi biochimici delle piante.

Per passare a una valutazione economica dei servizi ecosistemici offerti dal verde urbano, l'applicativo Eco possiede dei valori predefiniti per gli Stati Uniti riguardo al costo unitario dell'elettricità, riscaldamento, carbonio e deflusso evitato, fornendo anche la possibilità di modificare questi costi qualora si disponga di dati più aggiornati che rappresentano la zona di progetto.

ANALISI SUPPLEMENTARI

Nel progetto su i-Tree Eco è possibile includere diverse analisi supplementari (opzionali) in funzione agli obiettivi che si vogliono raggiungere. Tali analisi aggiuntive richiedono la raccolta di più dati rispetto a quelli descritti prima e sono le seguenti:

- *Energy* (disponibile per PBSI e CI):
gli alberi situati vicino agli edifici possono influenzare la quantità di energia usata per riscaldare o raffreddare la struttura riducendo la temperatura dell'aria, bloccando il vento e fornendo ombra. Di conseguenza, per valutare gli effetti della foresta urbana sul consumo di energia, occorrono informazioni relative agli edifici vicini (cioè, distanza e direzione dagli alberi). (Nota: gli effetti energetici sono calcolati solo per gli edifici residenziali, massimo tre piani, entro 60 piedi dagli alberi).

- *Avian Habitat* (disponibile solo per PBSI):

Eco stima l'idoneità di un'area a sostenere nuove specie di uccelli in base alle caratteristiche dell'habitat che riguardano e influenzano i modelli di stima. Queste stime sono basate sulla diversità delle specie, sulla struttura della foresta locale, dagli arbusti e infine dalla copertura di suolo dell'area di studio. Per valutare l'idoneità della fauna selvatica, è necessario conoscere la percentuale di copertura degli arbusti e la composizione della copertura del suolo. La conoscenza di ulteriori caratteristiche riguardanti gli alberi porterebbe a stime migliori.

- *Forecast* (disponibile per PBSI e CI):

il modello *Forecast* utilizza le stime strutturali generate da Eco (es. numero di alberi, specie) insieme ai tassi di crescita e mortalità della vegetazione per fare delle stime su come potrebbe essere la foresta urbana in futuro. Tra gli scenari futuri è possibile includere anche eventi avversi, come una tempesta o un'infestazione parassitaria, per prevedere il loro impatto sulla foresta urbana. Non c'è bisogno di inserire ulteriori dati rispetto a quelli utilizzati per Eco perché *Forecast* si basa su valori predefiniti o personalizzati. Entrando un po' più nel dettaglio, i parametri che possono essere personalizzati a partire dal loro valore di default sono:

- numero di anni per cui fare la previsione (valore predefinito: 30 anni);
- tasso di mortalità annua percentuale (valore predefinito: 3-50% in base allo stato di salute degli alberi);
- periodo di non gelo (> 0 °C) espresso in giorni (valore predefinito: 150 gg); tale informazione influenza la crescita degli alberi, soprattutto del diametro.

I possibili scenari futuri che può includere *Forecast* sono:

- piantumazione di alberi che prevede l'inserimento del numero di alberi introdotti annualmente, diametro degli stessi, anno di inizio e fine piantumazione. OSS: la specie dev'essere la stessa degli alberi già presenti;
- eventi meteorologici estremi per i quali si deve specificare il tipo di evento, l'anno in cui ricade e il conseguente tasso di mortalità annuo;
- epidemia parassitaria di cui si deve inserire la specie nociva o il nome della malattia, l'anno in cui c'è l'epidemia, la durata e il conseguente tasso di mortalità annuo dovuto all'epidemia.

Si lascia all'utente la scelta di voler considerare o meno tutti e tre gli eventi contemporaneamente.

- *Shrubs* (disponibile per PBSI):
Eco analizza principalmente gli effetti dovuti alla presenza di alberi nell'area di studio, mettendo in secondo piano il contributo degli arbusti. Questi ultimi costituiscono un'importante risorsa e forniscono numerosi benefici. Se si vogliono analizzare gli arbusti nell'area di studio, sono necessarie informazioni sulle specie, l'altezza e la copertura degli arbusti all'interno dei plots.
- *Spazio disponibile per la piantumazione* (disponibile per PBSI):
se si vuole stimare lo spazio di piantumazione disponibile per l'area del progetto, sono necessarie informazioni sulla percentuale di ogni plot disponibile per la piantumazione. Tale informazione rappresenta il complemento a 1 (100%) della percentuale di plot ricoperta da alberi, quindi, lo spazio in cui effettivamente si potrebbero piantumare altri alberi/arbusti.
- *Pests* (disponibile per PBSI e CI):
le aree urbane sono spesso vittime di parassiti esotici che restano inosservati fino a che sono ben insediati e hanno avuto impatti dannosi sulla salute degli alberi che li ha ospitati. Con l'introduzione dello strumento *Pests*, è stata finalmente resa possibile la valutazione del danno arrecato alla foresta urbana da un'ipotetica epidemia parassitaria in base alla suscettibilità delle specie osservate. Per poter fornire risultati, questo strumento necessita di informazioni sulla specie e sul diametro degli alberi.
Oltre a tale strumento supplementare, *Eco* dispone al suo interno del protocollo *IPED (i-Tree Pests Detection)*, indipendente dal precedente, e in grado di sviluppare un quadro informativo sullo stato di salute degli alberi note alcune informazioni di campo riguardo a segni evidenti o sintomi riscontrati. Il protocollo ha bisogno di informazioni inerenti alle cause che hanno scatenato l'infestazione, ad esempio, uso di concimi inadatti, esposizione eccessiva alla luce del sole, ristagno d'acqua ecc.
Ritornando all'applicativo *Pests*, questo è uno strumento in grado di fornire conoscenze in modo da poter attuare le giuste misure di prevenzione contro le epidemie parassitarie o limitando i danni tramite interventi mirati come trattamenti e/o sostituzioni di alberi in cattivo stato di salute.

ISTRUZIONI PER LA RACCOLTA DEI DATI DI CAMPO (fonte: Manuale di Campo i-Tree Eco v6)

Noti i dati da raccogliere per effettuare l'analisi con Eco, risulta doveroso descrivere le modalità con la quale questi dati devono essere acquisiti. Per rendere questa operazione più semplice, i-Tree ha sviluppato un protocollo standardizzato per la raccolta dati a disposizione di tutti gli utenti. L'attività di rilevamento dei dati dendrometrici può essere fatta seguendo due approcci: complete inventory o plot-based sample inventory; il primo consiste nel rilievo di dati per ogni singolo individuo presente nell'area di studio, mentre il secondo prevede la raccolta dati dei soli individui presenti all'interno delle aree di campionamento (plots) per poi estendere queste informazioni a tutta l'area studio.

La registrazione dei dati necessari all'analisi può essere fatta in più modi: uno è il classico rapporto cartaceo (*paper forms*) da trascrivere successivamente sul software, mentre il secondo tramite il servizio Mobile Data Collector; quest'ultima modalità consiste in una pagina web a cui bisogna accedere dal browser del dispositivo mobile per inserire i dati. Grazie a questo strumento i dati sono allocati all'interno del database nel formato idoneo risparmiando tempo e consentendo di effettuare modifiche qualora siano necessarie. Con browser come Firefox, Chrome, Safari etc. è possibile inserire i dati anche con brevi interruzioni di connessione a internet fino a che la cache del browser non sia piena e sarà necessaria la connessione per inviare i dati immagazzinati e proseguire con l'acquisizione.

A partire dai parametri fondamentali della vegetazione utili per il funzionamento di Eco descritti nel paragrafo precedente, vengono di seguito descritte le modalità di raccolta di tutti i parametri.

Specie: questa informazione va reperita dalla lista presente nell'applicativo Database, oppure se non è presente bisogna aggiungerla secondo le modalità descritte nei paragrafi precedenti. In ogni caso la conoscenza in materia agroforestale da parte dell'utenza gioca a favore nel reperimento di questo tipo di dato. La specie può anche essere cercata su portali comunali disponibili in rete relativi all'area di studio. Tuttavia, esistono anche delle applicazioni che tramite una foto di una parte della pianta (fiore, corteccia, frutto, foglia ecc.) riescono a risalire alla specie.

DBH: il diametro del fusto dell'albero, assieme alla specie, costituisce la coppia di dati fondamentali per l'utilizzo di Eco. Per misurare il DBH si può utilizzare una cordella metrica con la quale si rileva la circonferenza del tronco e poi si ricava indirettamente il diametro, oppure un calibro forestale che restituisce direttamente la misura del diametro.

La misurazione del DBH deve essere acquisita ad un'altezza di 4.5 piedi dal piano campagna o equivalentemente a 1.37 m nel S.I.²³ nel caso in cui l'albero sia costituito da un unico fusto. Tuttavia, si possono trovare alberi con più fusti, per i quali l'acquisizione del DBH cambia un po'; nel caso in cui l'intersezione delle diramazioni è fuori terra, si misurano tutti i diametri a 1.35 m da terra fino a un massimo di sei valori. Se l'albero ha più di sei steli con DBH maggiore di 1 pollice (2.54 cm), allora la misurazione si effettua ad un'altezza di 0.30 m (1 piede) registrando al massimo sei valori scelti tra quelli maggiori. I germogli con diametro inferiore a 1 pollice (2.54 cm) si possono trascurare. Un'altra situazione si verifica quando l'intersezione dei fusti è sotto il piano campagna, allora ogni tronco è catalogato come albero singolo. Le situazioni appena descritte sono rappresentate in *figura 4.5*, ma oltre a queste ci sono altri casi particolari; se si è in presenza di un rigonfiamento al piede del tronco che si eleva oltre i 3 piedi (1 m), allora il diametro si misura a 1.5 piedi (0.5 m) al di sopra del rigonfiamento. Un rigonfiamento o altro tipo di irregolarità come la presenza di un ramo, può verificarsi anche in altre parti del tronco, e in tal caso la misurazione del diametro viene fatto subito al di sopra dell'anomalia. In presenza di piano campagna inclinato, il DBH si misura a 1.35 m mettendosi a monte dell'albero, oppure se ad essere inclinato è il tronco, la misura viene fatta dal lato in cui pende l'albero alla stessa distanza da terra del caso precedente. Il diametro va anche misurato agli alberi che per qualche motivo sono stati abbattuti e tale misurazione è fatta a 1.35 m dalla fine delle radici. Questi ulteriori casi sono rappresentati in *figura 4.6*:

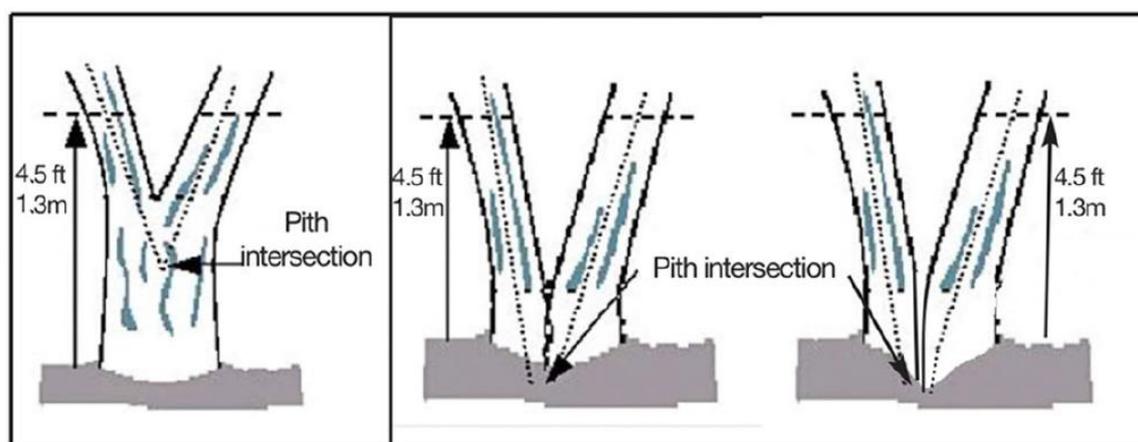


Figura 4.5 – Misura DBH in casi particolari [Fonte: Manuale di Campo i-Tree Eco v6]

²³ S.I. è l'acronimo di Sistema Internazionale di Unità di Misura ed è il sistema di unità di misura più diffuso. Per quanto riguarda la lunghezza, l'unità di misura internazionale è il metro [22].

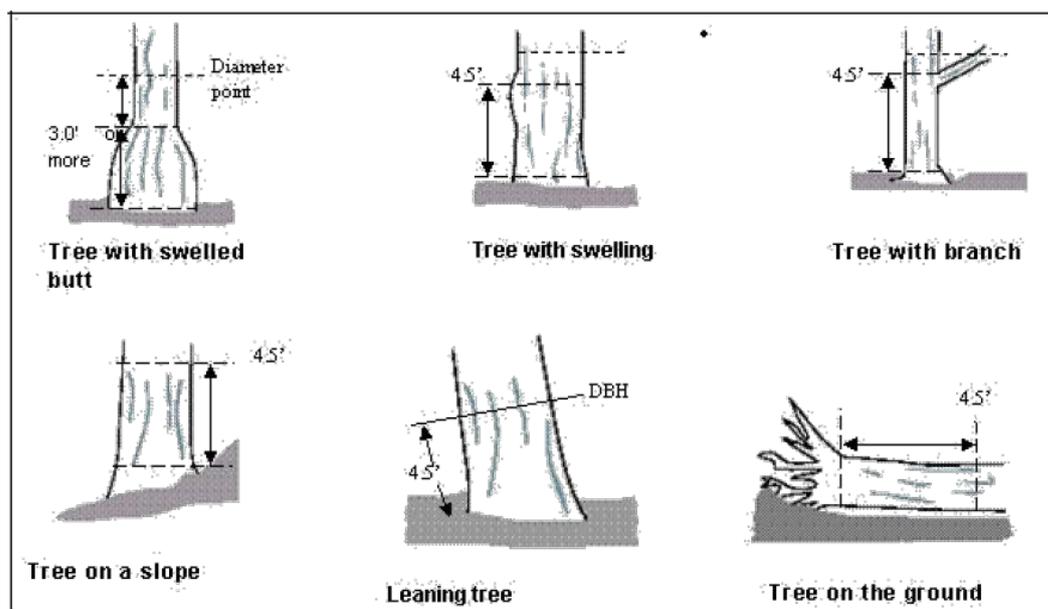


Figura 4.6 – Misura DBH in casi particolari [Fonte: Manuale di Campo i-Tree Eco v6]

Uso del suolo: questa informazione descrive come viene utilizzato il suolo ed è reperita direttamente in campo. Gli utenti possono classificare l'uso di suolo secondo 13 classi predefinite previste dal software:

- agricoltura (A): comprende terreni coltivati, pascoli, frutteti, vigneti, vivai, cascine e relativi edifici, terreni da foraggio, pascoli e terreni/pianti di legname che mostrano segni di attività di gestione per una specifica coltura o produzione di alberi.
- Cimitero (E): comprende qualsiasi area di piccole dimensioni all'interno del cimitero.
- Commerciale/Industriale (C): include terreni utilizzati per attività commerciali, quali vendite al dettaglio, i servizi e le attività professionali. Sono anche compresi terreni adibiti ad usi industriali standard, come la produzione o la lavorazione, le aree di stoccaggio e spostamento all'aperto, e infine i parcheggi in città non riconducibili a un uso istituzionale o residenziale.
- Campo da golf (G): comprende tutto l'appezzamento di terreno, comprese le parti incolte.
- Istituzionale (I): include scuole, ospedali, college, edifici religiosi, edifici governativi, ecc....
- Residenziale multifamiliare (M): include strutture con più di quattro unità residenziali.
- Parco (P): di questa classe d'uso di suolo fanno parte tutti i parchi a prescindere dal loro stato di mantenimento.

- Residenziale (R): include strutture fino a quattro unità abitative. (OSS: la differenza dalla classe M sta solo nel numero di unità abitative).
- Trasporto (T): questa classe racchiude tutte le strade ad accesso limitato e relativi spazi verdi, o anche stazioni ferroviarie, cantieri, cantieri navali, aeroporti, ecc.
- Utilità (U): ricadono in questa classe impianti energetici, impianti di trattamento delle acque reflue, serbatoi coperti e scoperti, e aree vuote per il contenimento delle acque piovane (casse d'espansione).
- Vuoto (V): classe d'uso solitamente scelta per terreni senza una chiara destinazione d'uso.
- Acqua/terra umida (W): ricadono in questa classe d'uso i Ruscelli, fiumi, laghi e altri corpi idrici, naturali o costruiti.
- Altro (O): classe attribuita a suolo che non rientrano in una delle categorie precedenti.

Altezza totale dell'albero: consiste nel misurare l'albero dal piano campagna fino alla cima tramite qualsiasi strumento a disposizione dell'utente. Alcuni strumenti utili sono:



Figura 4.7 – Principio trigonometrico alla base dell'ipsometro
[Fonte: Wikipedia]

l'ipsometro, che in base alla distanza dell'albero dalla stazione (cateto noto) e la linea di mira dello strumento (ipotenusa), assieme ai principi di trigonometria riesce a misurare l'altezza dell'albero (Figura 4.7); questo principio di funzionamento è utilizzato anche da applicazioni installabili su dispositivo mobile; tuttavia, in funzione dell'esperienza dell'utente, questa misurazione può essere fatta ad occhio prendendo come riferimento alcuni oggetti vicini all'albero di cui si conosce la dimensione, ad esempio un palazzo vicino (considerando 3 m per piano circa).

Altezza della parte viva dell'albero: questa misura coincide con quella dell'altezza totale dell'albero quando non ci sono parti secche, invece, sarà sicuramente minore quando la parte alta dell'albero è secca e di conseguenza si potrà calcolare come differenza tra altezza totale dell'albero e altezza della chioma morta.

Altezza alla base della chioma: è la distanza che intercorre tra il piano campagna alla base dell'albero e il punto individuato proiettando sul tronco la posizione del fogliame vivo più basso appartenente alla chioma. Questa misura può essere fatta con una cordella metrica o ad occhio.

Larghezza della chioma: è il parametro che si determina misurando l'ampiezza della chioma lungo due direzioni ortogonali quali nord-sud/est-ovest. Dopo aver individuato i punti estremi della chioma e le relative proiezioni al suolo, se ne misura la distanza tra loro tramite utilizzo di una cordella metrica. I due valori ottenuti sono utili per la stima del volume della chioma.

Per misurare la larghezza della chioma, il manuale suggerisce le posizioni che i campionatori devono assumere per avere buoni valori (*figura 4.8*).

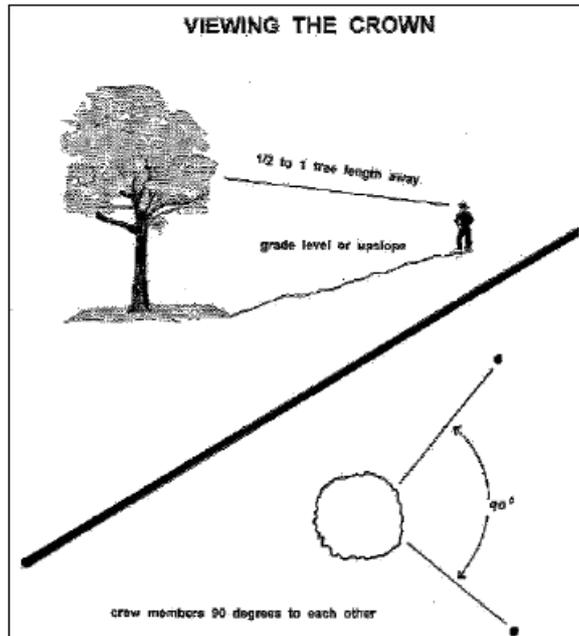


Figura 4.8 – Posizioni da assumere per misurare i parametri relativi alla chioma

[Fonte: Manuale di campo i-Tree Eco v6]

Percentuale di chioma mancante: è un parametro un po' difficile da valutare e può rivelarsi soggettivo se non vi è una buona preparazione e un po' di esperienza sul campo dell'operatore. Con il termine "mancante" ci si riferisce alla percentuale di chioma non occupata né da rami né da foglie dovuta per esempio a potature, defogliazioni e appassimento di alcune parti della chioma stessa (*figura 4.9*). Sono esclusi i vuoti fisiologici dovuti all'ombreggiatura naturale e alla natura stessa della specie. Per l'acquisizione di questi dati è preferita la presenza di due campionatori posti perpendicolarmente tra loro, così come visto per la determinazione dell'ampiezza della chioma. I campionatori devono individuare una sagoma ideale della chioma in funzione della larghezza e altezza della chioma viva e dell'altezza totale dell'albero, tenendo in considerazione che questa può variare in base alla specie dell'albero (*figura 4.8*). La percentuale di chioma varia da 0 a 100 %, con intervalli del 5 % (es. 3, 8, 13 % ecc.). Avere una percentuale pari a zero vuol dire che la chioma è

interamente presente, d'altra parte il 100 percento rappresenta il caso in cui l'albero è morto.

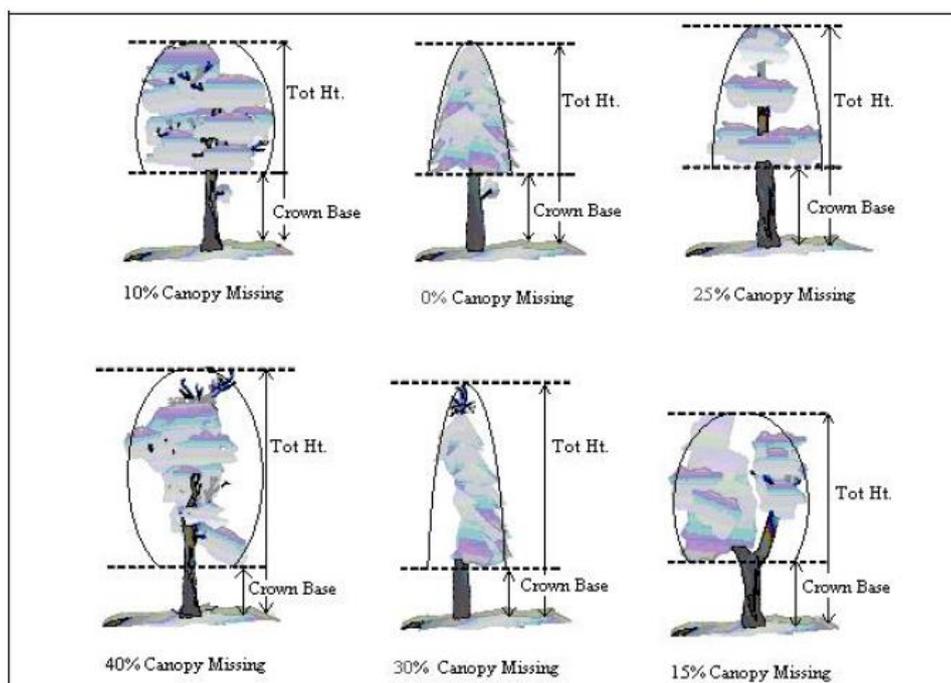


Figura 4.9 – Casistica relativa a: i) forma naturale della chioma al variare della specie, ii) modalità di misura della percentuale di chioma mancante, iii) l'altezza della base della chioma [Fonte: Manuale di campo i-Tree Eco v6]

Salute della chioma: lo stato di salute della chioma si basa su una valutazione visiva della quantità di rami secchi della chioma di un albero e può essere espresso come percentuale di condition (condizioni di buona salute) o dieback (condizione in cui un albero inizia a perire a partire dalle estremità, come foglie o radici, al tronco, a causa di malattie o condizioni sfavorevoli di altro tipo). Per registrare il dieback (chioma morta), gli utenti devono inserire la percentuale di chioma composta da rami morti; la condition, può essere valutata a partire dal dieback in quanto è il suo complemento a 1 (esempio: condition 100% vuol dire che l'albero è in perfetto stato di salute e di conseguenza il dieback sarà 0%). Come nella percentuale di chioma mancante, gli intervalli di valutazione valgono il 5%. Altri fattori da tenere in conto sono la condizione di illuminazione presente e il posizionamento degli utenti, in particolare questi ultimi devono essere posti perpendicolarmente tra loro per rendere più oggettiva la stima. Al momento della creazione del progetto in Eco, sono suggerite delle classi predefinite sulla salute della chioma per poter ottenere osservazioni standardizzate.

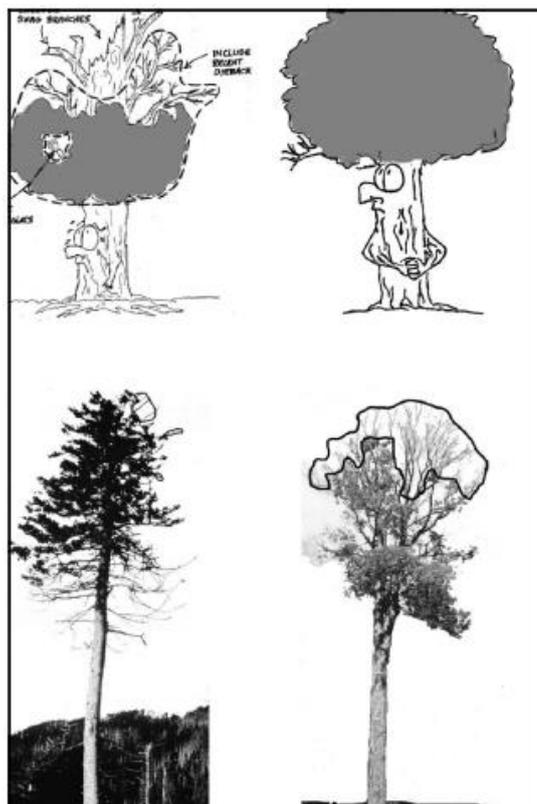


Figura 4.10 – Esempi di valutazione del dieback [Fonte: Manuale di campo i-Tree Eco v6]

Esposizione alla luce della chioma (CLE, crown light exposition): è un parametro che descrive il numero di lati della chioma che riceve direttamente la luce solare dall'alto e varia da 0 a un massimo di 5 lati. Per effettuare la valutazione, si ipotizza di osservare la chioma dall'alto verso il basso e di dividerla in quattro parti; il valore del CLE corrisponderà al numero di lati che riceve luce diretta (luce non intercettata da oggetti vicini) (figura 4.11), considerando anche la cima come un lato. Affinché rientri nel conteggio, un lato deve essere illuminato per almeno un terzo della sua estensione. Suddivisione della scala dei valori:

- 0 → luce diretta assente sull'albero
- 1 → luce diretta solo da 1 dei 5 lati
- 2 → luce diretta solo da 2 dei 5 lati
- 3 → luce diretta solo da 3 dei 5 lati
- 4 → luce diretta solo da 4 dei 5 lati
- 5 → luce diretta da tutti e 5 i lati

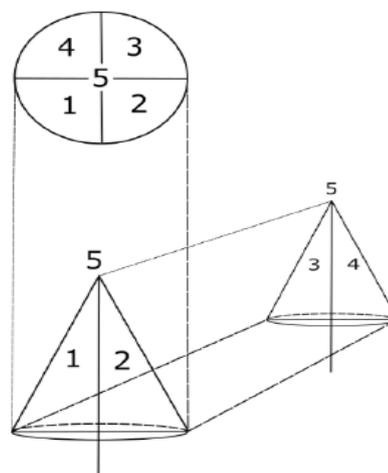


Figura 4.11 – A destra c'è lo schema illustrativo per la suddivisione della chioma in cinque parti [Fonte: Manuale di campo i-Tree Eco v6]

Copertura suolo: non è necessario fare una classificazione dei terreni in funzione alla granulometria e nemmeno in funzione alle proprietà meccaniche dei sedimenti, ma semplicemente si devono distinguere i tipi di copertura del suolo. Da informazioni prelevate in campo durante la campagna di misure (o anche precedenti) si possono stimare le percentuali per ogni classe di copertura con passi del 5%. L'applicativo Eco predispone di undici classi predefinite a cui se ne possono aggiungere altre; tali classi sono: terra nuda, edifici, superfici cementate, superfici bituminose, roccia permeabile (materiale a grana grossa o lapideo senza malte aggiunte), materiale organico sciolto, erba coltivata, erba non coltivata, specie erbacee, altre superfici impermeabili (massi ciclopici, erba sintetica, piscine artificiali), acqua (ne fanno parte tutti i corpi idrici naturali a meno dell'acqua stagnante temporanea).

Nel caso in cui si scelga di procedere con l'inventario per aree di campionamento (PBSI), dovranno essere acquisiti ulteriori dati:

percentuale di superficie accessibile e misurabile: rappresenta la percentuale dell'area di campionamento accessibile e misurabile dalla squadra di campo sia direttamente che tramite una stima. Per esempio, se il 10% dell'appezzamento è nascosto dietro un edificio o un'alta recinzione su un terreno a cui non è stato possibile ottenere il permesso di accesso, si registrerebbe il 90%.

Percentuale di superficie coperta dalla chioma di alberi e arbusti: tale informazione è espressa in termini percentuali di area di campionamento coperta dalla chioma degli alberi ed ha passi intermedi del 5% (3%, 8%, 13%, 18% e così via). Per la determinazione si possono utilizzare immagini aeree perché tale percentuale può essere vista come la porzione di area ombreggiata dagli alberi quando il sole assume la posizione verticale. Talvolta, la superficie può essere oscurata da altri alberi esterni al plot e di conseguenza può anche avvenire che in plot privi di alberi ci sia comunque una percentuale di copertura da parte della chioma di un albero vicino maggiore dello 0%.

Tra i dati opzionali c'è

Percentuale di spazio piantabile: è misurata come la percentuale di area di campionamento disponibile per la piantumazione di nuovi alberi con intervalli che vanno da 0 a 100% con passo 5%.

ANALISI DEI RISULTATI

Dopo aver completato la parte di configurazione del progetto tramite la sezione Project Configuration e aver inserito i dati di campo, è possibile lanciare l'analisi su i-Tree Eco. Gli output del modello sono forniti sotto forma di grafici, tabelle e rapporti e riguardano diversi aspetti, in particolare la struttura della foresta urbana, effetti ambientali (S.E), valori economici e servizi aggiuntivi se previsti. Questi ultimi, sono stati presentati nel paragrafo relativo agli input, e come è stato spiegato, necessitano di ulteriori dati rispetto a quelli standard. Nella tabella seguente è riportato un elenco degli output forniti da *Eco*:

Struttura della foresta urbana	Composizione delle specie, numero di alberi, densità degli alberi, salute degli alberi, area e biomassa fogliare.
Riduzione dell'inquinamento	Quantità oraria di inquinamento rimosso dalla foresta urbana e percentuale associata al miglioramento della qualità dell'aria durante un anno. La rimozione dell'inquinamento è calcolata per l'ozono, il biossido di zolfo, il biossido di azoto, il monossido di carbonio e il particolato 2,5 (<2,5 micron).
Impatti sulla salute pubblica	Riduzione dell'incidenza sulla salute e beneficio economico basato sull'effetto degli alberi sul miglioramento della qualità dell'aria solo per gli Stati Uniti.
Carbonio	Quantità totale e netta di carbonio immagazzinato e sequestrato annualmente dalla foresta urbana.
Effetti energetici (Energy)	Effetti degli alberi sul consumo energetico degli edifici e conseguenti effetti sulle emissioni di anidride carbonica.
Deflusso evitato	Riduzione del deflusso idrico superficiale attribuito agli alberi secondo processi di evapotraspirazione e intercettazione.
Previsione (Forecast)	Modella la crescita degli alberi e delle foreste nel tempo; considera fattori come i tassi di mortalità, piantumazione di alberi, impatti di parassiti e malattie, effetti di potenziali tempeste.
Emissione dei VOC	Emissioni orarie di composti organici volatili delle foreste urbane e l'impatto relativo delle specie di alberi sulla formazione netta di ozono e monossido di carbonio durante l'anno.
Valori	Stima del valore economico dei servizi ecosistemici.
Impatti potenziali dei parassiti (Pests)	basati sulla suscettibilità delle piante, sulla gamma di parassiti/malattie e sulla struttura della foresta urbana.
Sostenibilità dell'avifauna (Avian Habitat)	Le stime sono basate sulla diversità delle specie, sulla struttura della foresta locale, dagli arbusti e infine dalla copertura di suolo dell'area di studio.
Benefici offerti dagli Arbusti (Shrubs)	Le stime si basano sulla specie, l'altezza e la copertura degli arbusti all'interno dei plots.
Spazio disponibile per la piantumazione	Fornisce lo spazio a disposizione per nuove piantumazioni considerando la percentuale di plot già occupato.

Tabella 4.1 – Risultati forniti da i-Tree Eco

Il software, per quanto riguarda i benefici ambientali prodotti dal verde (S.E), fornisce risultati espressi in unità funzionali (ad esempio tonnellate di carbonio sequestrato) e vi associa il valore monetario ottenendo così un bilancio in termini di costi-benefici.

5. CASO APPLICATIVO: UTILIZZO DEL SOFTWARE I-TREE PER IL PARCO COLONNETTI DI TORINO

5.1 Il verde nella città di Torino

Le Corbusier definì Torino come “*La città con la più bella posizione naturale*”. Non a caso, la città di Torino è immersa in una realtà naturale affascinante, circondata dalle Alpi e attraversata da quattro fiumi: Po, Dora Riparia, Stura e Sangone. Il patrimonio ambientale di cui vanta la città è considerevole, inoltre è dotata di uno dei più alti standard urbanistici di superficie verde per abitante (m^2/ab): ci sono oltre 20.871.633 m^2 di aree verdi pubbliche in continua espansione [29]; oltre 60.000 alberi piantati lungo 300 km di strade e altri 280.000 alberi tra parchi, giardini e boschi collinari [12]. Il patrimonio verde della città di Torino oltre ad essere esteso, è variegato, complesso, prezioso e delicato. Per citare alcuni esempi si può pensare ai giardini storici (Giardini Reali, Parco del Valentino ecc.), ai parchi in collina (Parco della Maddalena, Parco Europa, Parco Leopardi, Parco del Nobile), al complesso di alberi secolari. Una peculiarità del verde della città di Torino è quella di essere stato studiato e dopo realizzata adottando una certa organizzazione. Partendo dai giardini storici situati nel centro dell'area urbana, il sistema del verde si è espanso verso le zone periferiche. Tra le due zone, centrale e periferica, il collegamento è stato realizzato con viali alberati. A partire dagli anni '70 ad oggi, il verde urbano si è espanso passando da circa 4 milioni a 20.8 milioni di m^2 , inoltre, se si considera anche il verde privato si hanno a disposizione 32.929.419 mq che corrispondono a una disponibilità di 38 m^2/ab [29].

Con lo scopo di ottimizzare la gestione del verde urbano, un po' di anni fa, è stata fatta una classificazione per tipologia di verde che ha anche permesso di attribuire diverse forme di manutenzione e gestione. In seguito, con la deliberazione della giunta comunale del 27 marzo 2007, è stata data un'altra definizione delle tipologie del verde urbano, allo scopo di avviare una gestione più razionale e consentirne un miglior sviluppo della città, ed una maggiore complicità delle persone, dando più valore ai grandi viali alberati, ai giardini di interesse circoscrizionale e alle aree verdi di quartiere.

Per avere un'idea quantitativa dettagliata sul verde urbano a Torino si riportano i seguenti dati (Fonte: Comune di Torino [12]):

- superficie totale territorio comunale: mq. 130.170.000;
- abitanti: 848196;

- superficie totale aree verdi a gestione pubblica (*comunale, provinciale, statale, ecc.*) nel territorio comunale: m² 20.871.633 circa (*oltre 1.908.237 mq. di aree agricole*);
- superficie totale aree verdi pubbliche a gestione comunale, diretta o indiretta: mq. 23.246.248 (*oltre a 1.908.237mq. di aree agricole*);
- verde pubblico e privato: mq 32.929.419;
- superficie di verde a gestione pubblica sul totale della superficie comunale: 16,5%;
- verde per abitante (pubblico e privato): mq. 38;
- verde extraterritoriale di proprietà comunale: mq. 1.450.000 circa;
- parchi e giardini: mq. 12.733.000 circa;
- aiuole fiorite: mq. 2.700 circa;
- Orti urbani e aree agricole: mq. 1.968.237;
- bosco a gestione comunale: mq 1.636.000 circa;
- aree boscate totali: mq. 7.925.186;
- aree gioco: n. 277 (aggiornamento settembre 2015);
- aree cani: n. 54 (aggiornamento giugno 2016);
- patrimonio arboreo urbano: circa 110.000 esemplari;
- patrimonio arboreo collinare: oltre 50.000 esemplari;
- aree protette a livello europeo (*Rete Natura 2000*) + Aree Naturali Protette da normativa regionale in territorio comunale (*proprietà sia pubblica che privata*): mq. 5.913.500.

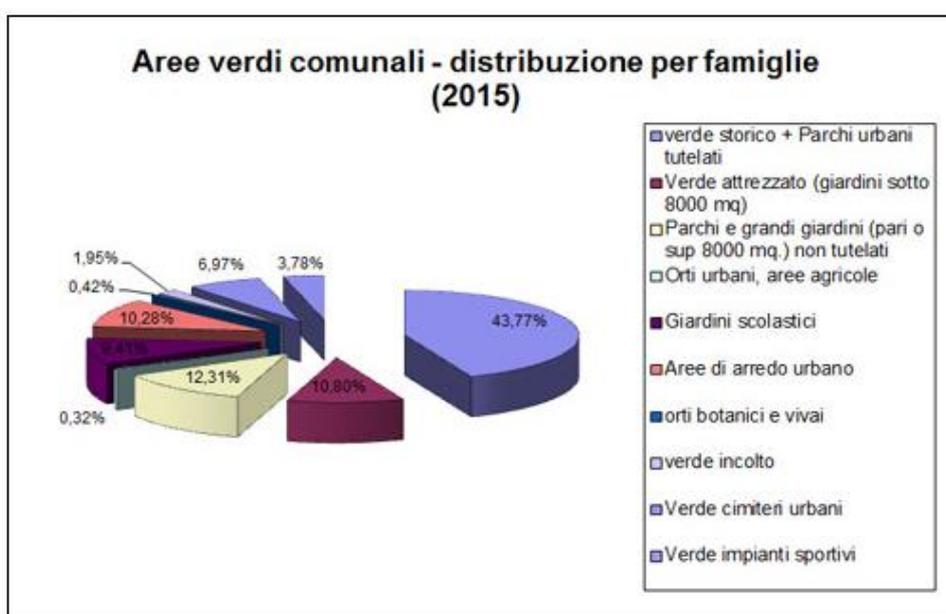


Figura 5.1 – Aree verdi comunali - distribuzione per famiglie. (Fonte: Comune di Torino [12])

5.2 Inquadramento del parco Colonnetti nel contesto Torinese

L'area di studio che è stata scelta per svolgere l'analisi con l'applicativo i-Tree Eco è il Parco Colonnetti. Il parco è situato nella città di Torino e si estende per circa 385.800 m² nel quartiere Mirafiori Sud, periferia a sud del paese [13]. Esso confina su tre lati con la strada, a nord con via Panetti, a est via Artom, a sud la strada Castello Mirafiori, e sul lato ovest con il Centro Nazionale di Ricerca e l'Istituto Galileo Ferraris (*vedi figura 5.4*). Nelle zone limitrofe ci sono anche Parco Sangone, Parco Piemonte e parco Boschetto di Nichelino che assieme al Parco Colonnetti costituiscono un importante polmone verde di oltre 60 ha²⁴ [13] (*vedi figura 5.3*). Dove oggi sorge il parco, nel giugno del 1911 fu inaugurato l'aeroporto di Mirafiori che restò operativo fino al secondo dopo guerra (1951) [13]. Negli anni successivi, il parco venne restituito alla municipalità e fu aperta l'area di ricerca del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) presente ancora oggi e fondata dal matematico Gustavo Colonnetti a cui è stato dedicato il parco. L'anno ufficiale d'istituzione del parco è il 1977, però in quegli anni fu lasciato in uno stato di abbandono e di degrado per un po' di tempo fino a che è stato riqualificato in tempi più recenti.

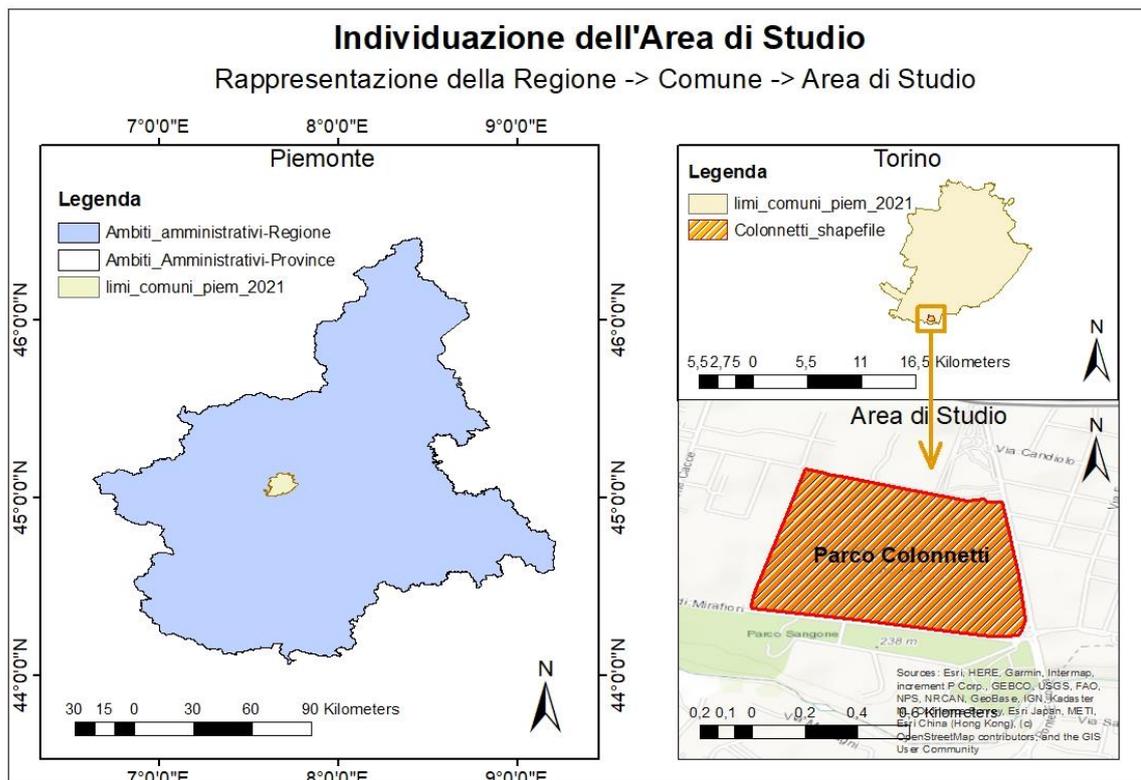


Figura 5.2 – Localizzazione del Parco Colonnetti in quel di Torino

²⁴ ha: ettaro 1 ha = 10000m²

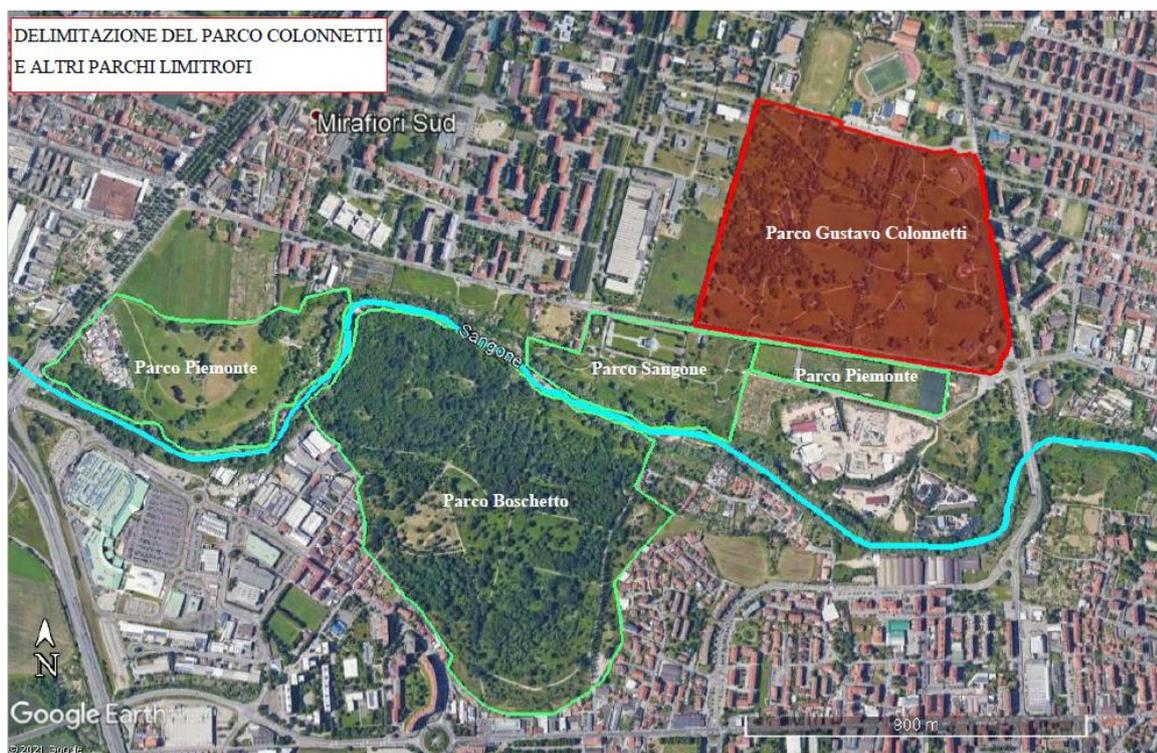


Figura 5.3 – Rappresentazione dell'area di Studio e aree limitrofe (Fonte: Google Earth [14])

Oggi, il parco si presenta completamente ristrutturato, provvisto di numerosi percorsi interni, aree gioco per bambini, percorso ginnico, impianti sportivi (CUS), fontane e aree che permettono lo sviluppo naturalistico in cui vive la fauna locale anche grazie alla presenza di circa 3000 tra alberi e arbusti [13].

Il CUS Torino ha qui i suoi impianti sportivi principali, quali una pista di atletica leggera, un campo da golf, campi da calcio, beach volley, tennis e una palestra per pallavolo/pallacanestro. Nel 2011 è stata inaugurata, sul lato di via Artom all'angolo con via Panetti, la *Casa del Parco*, che rappresenta un riferimento socioculturale e di aggregazione del quartiere [13]. La Casa del Parco è gestita dalla fondazione della comunità di Mirafiori Onlus e oltre a fungere da porta d'ingresso al parco, è uno spazio di accoglienza per sostenere le associazioni portatrici di nuove proposte e risorse che accrescono e stimolano il tessuto socioculturale della zona. La Casa offre anche servizi gratuiti ai cittadini come lo Sportello Sociale, lo Sportello Tecnico-Giuridico, il doposcuola per allievi della Scuola Media Inferiore, un Corso di Italiano per donne straniere, uno Sportello per i Diabetici, una Banca del Volontariato. Nella stessa struttura vi è anche una locanda che permette ai cittadini di fermarsi a pranzo e/o cena distaccandosi momentaneamente dalla realtà urbana. Il sito del comune fornisce una mappa virtuale del Parco Colonnetti che mostra tutto quello

che si trova all'interno del parco come le aree attrezzate per bambini, i percorsi interni (storico e naturalistico), aula didattica, stagni, ponticelli in legno e geyser. (vedi figura 5.4).



Figura 5.4 – Mappa del Parco Colonnetti [14]

Dopo aver compreso il contesto in cui il parco è immerso, si passa alla parte operativa, cioè all'utilizzo del software i-Tree. L'applicativo Eco è utilizzato per la valutazione dei benefici forniti dal verde del parco sottoforma di riduzione di inquinanti atmosferici, di sequestro e stoccaggio di carbonio, riduzione del deflusso superficiale e altro già descritto nel paragrafo descrittivo dell'applicativo.

Grazie a questo tipo di analisi si potrà capire che le aree verdi, in questo caso particolare il parco Colonnetti, assumono un ruolo importante nelle città e non se ne può fare a meno.

5.3 Applicazione di i-Tree Eco al Parco Colonnetti

Con l'utilizzo dell'applicativo Eco per il Parco Colonnetti è possibile valutare una serie di aspetti come la struttura della foresta urbana, effetti ambientali e valori economici legati al verde urbano. Per sviluppare il progetto in Eco, come visto nel *paragrafo 4.4*, si devono seguire degli step che saranno affrontati nel dettaglio: pianificazione, reperimento dati, analisi, analisi dei risultati.

Come preannunciato nei paragrafi precedenti, poiché il progetto ha come località di studio Torino (Italia), che è una città al di fuori degli stati americani per cui è stato creato originariamente il software Eco, si deve verificare se nel database ci siano o meno informazioni su Specie, Località, Precipitazioni, Inquinamento. Nel caso in oggetto è stato verificato che le specie e la località sono già disponibili nel database, pertanto, si può eseguire direttamente l'analisi su i-Tree Eco.

5.3.1 Pianificazione del progetto e inserimento dei dati su i-Tree Eco

Il progetto inizia subito con la definizione dell'approccio che s'intende seguire tra inventario completo e inventario per aree di campionamento. Poiché l'area di studio in oggetto è il Parco Colonnetti, con una superficie di circa 385800 m², si sceglie l'approccio PBSI (*Plot-Based Sample Inventory*) consigliato per aree estese per la quale risulterebbe faticoso e costoso raccogliere informazioni per ogni albero. Assieme al tipo di inventario, viene richiesto subito l'inserimento del titolo, della località, del numero di abitanti (848196, Istat 2020), l'anno di riferimento di dati metereologici e di inquinanti aerei (2015) prelevati dalla stazione metereologica più vicina al luogo di analisi. La stazione metereologica selezionata è *Bric della Croce*²⁵ (*figura 5.5*) e possiede entrambi i dati ambientali richiesti solamente fino all'anno 2015. Individuata la stazione meteorologica, il software chiede di selezionare quali dati si desidera raccogliere in campo perché in base a questi cambierà il dettaglio di stima e il numero di servizi ecosistemici stimabili.

²⁵ *Bric della Croce (ID 160610-99999)*: stazione metereologica di riferimento per il Servizio meteorologico dell'Aeronautica Militare situata a Torino alle coordinate 45°02' N 07°44' E e 710 m s.l.m. [23]

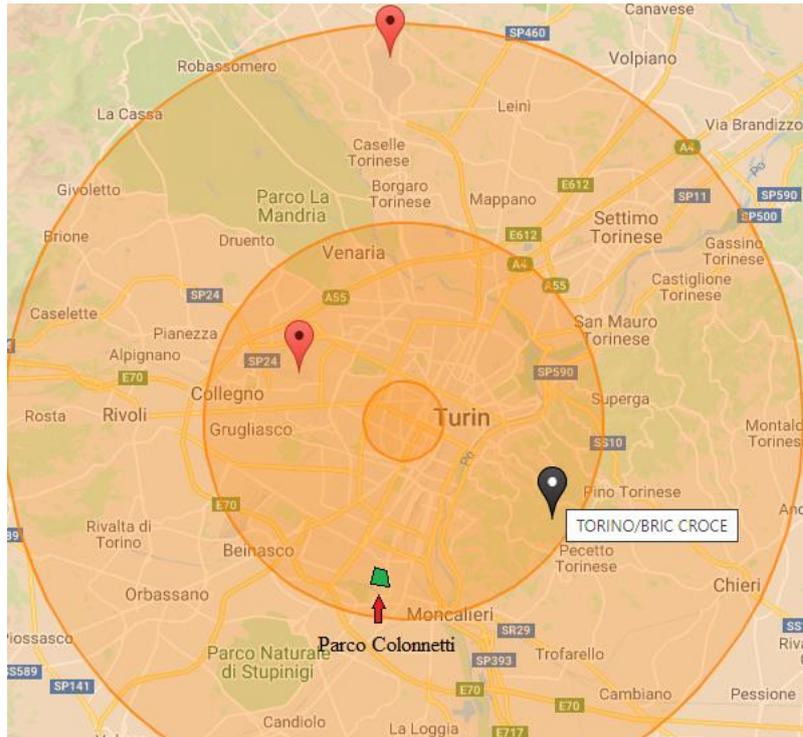


Figura 5.5 – Stazione Meteorologica Bric della Croce, Torino.

In particolare, per eseguire il modello si chiedono solamente due informazioni riguardo alle aree di campionamento (percentuale di superficie accessibile e misurabile e percentuale di superficie coperta degli alberi) e altre due informazioni riguardo agli alberi (specie e DBH); ovviamente questo dà la possibilità a chi ha pochi dati di eseguire comunque l'analisi ma ne penalizza l'accuratezza dei risultati. Come si può bene intuire, se si forniscono altri dati tra quelli presenti nell'elenco mostrato dal software, si migliora la stima dei servizi ecosistemici. Avendo scelto di seguire l'approccio d'inventario per aree di campionamento, si deve anche scegliere se stratificare (suddividere) o meno l'area di studio in sottounità; la scelta risulta facile in quanto non c'è differenza d'uso del suolo sul territorio del parco, quindi, l'approccio scelto è quello d'inventario per aree di campionamento non stratificato (*Unstratified Plot-Based Sample Inventory*).

Per definire le aree di campionamento (plots) all'interno del parco, Eco prevede tre metodi:

- *Caricamento da file*: prevede la definizione dei plots con strumenti esterni come *ESRI ArcGis* e poi l'importazione in Eco;
- *tramite Google Maps*: genera le aree di campionamento direttamente nell'applicazione Eco usando la funzione di generatore casuale di Google Maps (questo metodo necessita la definizione dei confini dell'area di analisi da farsi manualmente o da fornire tramite shapefile);

- *definito dall'utente*: secondo questo terzo metodo, è l'utente a definire manualmente la dimensione e il numero di aree di campionamento nell'area di studio.

Data la distribuzione non regolare degli alberi all'interno del parco, si sceglie di utilizzare la disposizione dei plot a griglia fissa (*fixed grid*), dopodiché si deve individuare uno dei tre metodi precedentemente elencati con cui generare la griglia (i plots); il metodo manuale viene scartato, il metodo che utilizza la funzione di Google Maps e lavora direttamente sull'applicazione Eco non è adatto per generare la griglia fissa, quindi, per esclusione, si utilizza il primo metodo dell'elenco precedente, che si basa sull'ausilio di *ESRI ArcGis*. I passaggi dettagliati per ottenere i plots sono descritti nel file fornito da i-Tree "Ecov6Guide_UnstratifiedSamples". Le fasi principali sono tre:

- preparazione dell'area d'interesse (AOI);
- generazione dei plot;
- esportazione dei dati da importare su i-Tree Eco.

Per la definizione dell'area di progetto, è stato costruito un poligono che identifica l'area e quindi anche i confini del parco. Poiché per lavorare su ArcMap è necessario impostare un sistema di coordinate cartografiche (o proiettate²⁶), è stato scelto il sistema WGS 1984 UTM Zone 32 N. Il passo successivo è stato quello di creare una griglia di punti con interasse di 42 m. La scelta dell'interasse è stata fatta in modo da ottenere un numero di punti (quindi anche di aree di campionamento) tali da generare un errore standard nella stima del numero degli alberi prossimo al 10% (*vedi figura 4.3*). In tal modo, sono stati identificati 193 punti. Noti i punti, con l'ausilio dello strumento *buffer* presente in *ArcToolbox*, sono stati definiti i plots come aree circolari attorno ad ogni punto. L'area dei plots, seguendo la guida di i-Tree, è stata scelta pari a 1/20 di *ha* (500 m²) alla quale corrisponde un raggio di 12,62 m. Nella figura seguente si possono vedere le aree di campionamento ottenute:

²⁶ Un sistema di coordinate proiettate utilizza le informazioni di un sistema di coordinate geografiche e le traduce su una superficie piana [28]

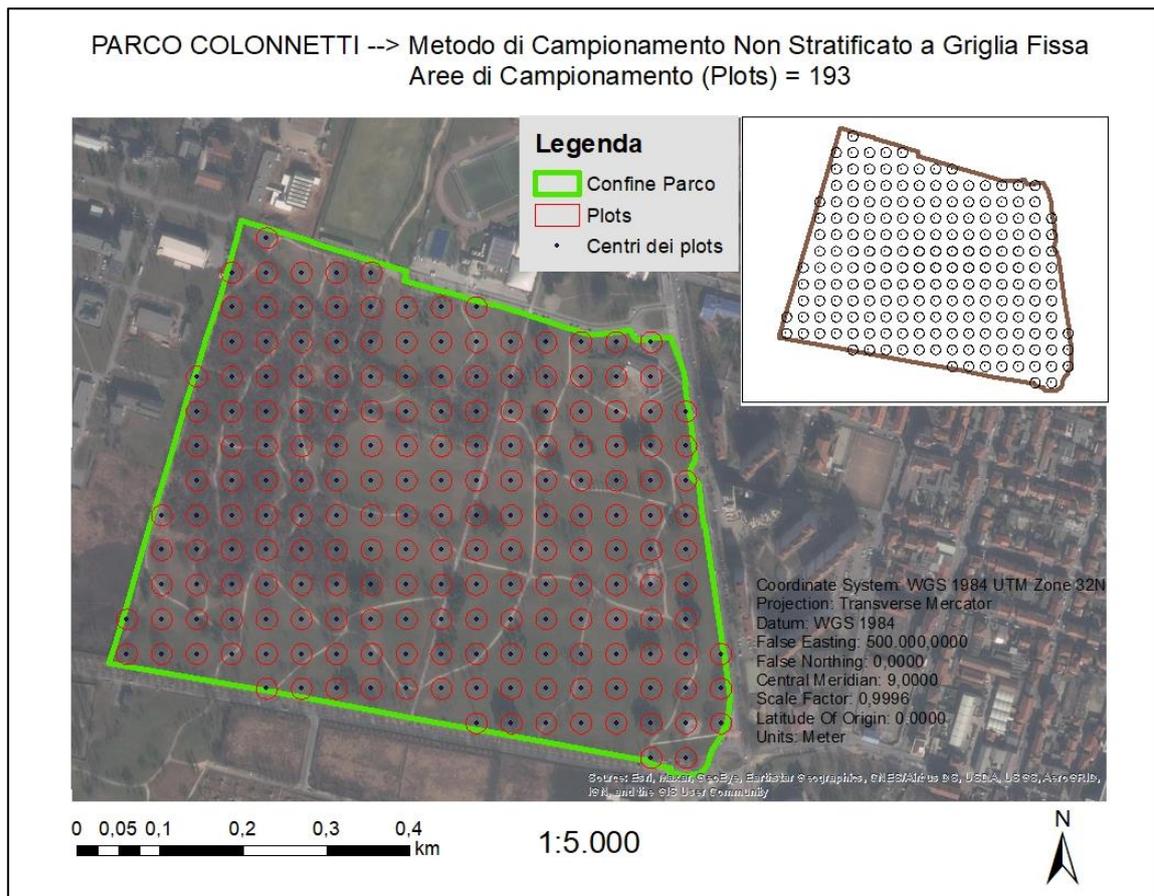


Figura 5.6 – Aree di campionamento (o Plots)

Grazie alla generazione dei plots con ArcMap, questi sono caricati direttamente in Eco generando una tabella di 193 righe (corrispondenti al numero di plots) nella sezione plot. Per ogni plot dovranno essere collezionati e trascritti i dati relativi agli alberi presenti (DBH, specie, altezza, ampiezza chioma ecc...), la percentuale di plot misurabile, la percentuale di copertura arborea, la percentuale di arbusti, la copertura e l'uso del suolo.

5.3.2 Reperimento dei dati di campo

Al fine di poter inserire più dati possibili per eseguire l'analisi su i-Tree Eco, nel mese di settembre, si è proceduto alla raccolta dei dati di campo. Tale operazione sarebbe risultata molto faticosa considerando che l'area del parco è di circa 38 ha, ma fortunatamente, l'analisi PBSI permette di riferirsi anziché all'area di studio totale, a delle aree di campionamento con numero definito dall'utente in base alla precisione che si vuole raggiungere (193 plot nel nostro caso), per poi estendere i risultati all'intera area. Per la raccolta dei dati ci sono voluti 4 giorni di una squadra composta da due persone e sono stati campionati 3 o 4 alberi per plot visto che dall'analisi visiva, le specie vicine si presentavano del tutto simili nella maggior parte dei casi. Prima di recarsi in loco, sono stati preparati i paper form, ovvero delle tabelle di raccolta dati suddivise in due parti, una dedicata alla raccolta di informazioni del plot e l'altra parte dedicata alla raccolta di informazioni per ogni singolo albero:

informazioni sul PLOT:

- ID plot;
- percentuale di plot ricoperta da alberi (dato obbligatorio per progetti PBSI);
- percentuale di plot piantabile;
- percentuale di plot accessibile e misurabile (dato obbligatorio per progetti PBSI);
- presenza di oggetti di riferimento;
- copertura del suolo;
- uso del suolo;

informazioni sull'ALBERO:

- ID plot di appartenenza;
- specie;
- altezza totale dell'albero;
- diametro;
- distanza dal centro del plot;
- direzione rispetto al centro del plot;
- salute del fogliame (percentuale di chioma morta);
- altezza della chioma viva;
- altezza della base della chioma;
- ampiezza della chioma nelle due direzioni N/S e W/E;
- percentuale di chioma mancante;

- esposizione della chioma alla luce;
- percentuale di arbusti e/o superficie impermeabile sulla copertura arborea;
- albero lungo la strada o in aree verdi (street o non street);
- albero pubblico o privato.

Questo elenco non racchiude tutta la gamma di dati che si possono inserire in Eco, tuttavia, sono state inserite molte informazioni opzionali in più rispetto a quelle minime utili a stimare altri servizi ecosistemici.

Per quanto riguarda gli strumenti utili a raccogliere i dati in campo, sono stati utilizzati una rotella metrica di 20 m e poi alcune app scaricate su cellulare, in particolare:

- *app Coordinates*: utile per cercare la posizione del centro del plot tramite l'inserimento delle coordinate ricavate con ArcMap;
- *app bussola*: utile per stabilire la direzione dell'albero rispetto al centro del plot
- *app PlantNet*: utile a riconoscere la specie dell'albero; tramite questa applicazione, si può scattare una foto ad una parte dell'albero (foglia, frutto, corteccia, albero intero ecc.), dopodiché essa riconosce la specie;
- *app Arboreal*: utile a stimare l'altezza dell'albero;
- *bindella metrica*: è stata utilizzata per misurare la distanza dal centro del plot, la circonferenza dell'albero (da questa, indirettamente, è stato ricavato il diametro) e l'ampiezza della chioma.

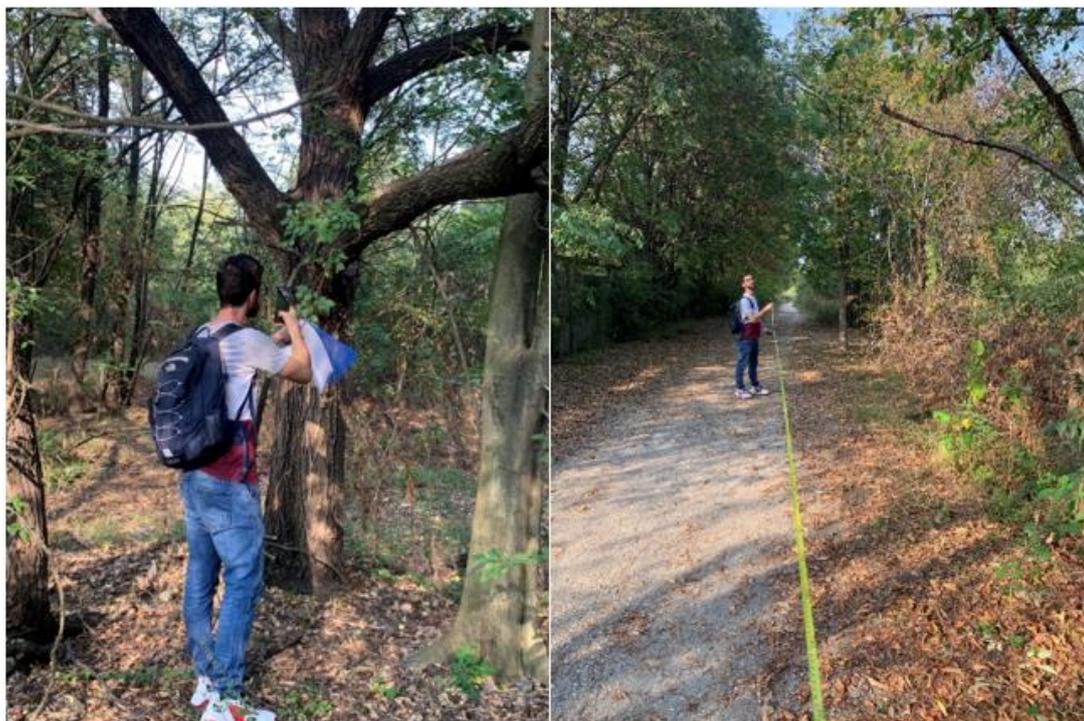


Figura 5.7 – A sinistra il riconoscimento dell'albero con l'app PlantNet; a destra, la misurazione dell'ampiezza della chioma dell'albero mediante bindella metrica (24 Settembre 2021).

Per la stima degli altri dati, quali percentuale di plot ricoperta da alberi, percentuale di chioma morta, percentuale di chioma mancante, esposizione alla luce, è stata fatta una stima visiva.

Grazie all'attività di campo, è stato notato che il parco ha una popolazione arborea abbastanza variegata. Lo stato degli alberi è in generale molto buono, anche se ci sono alcuni fusti secchi nella porzione di parco meno curata e ricca di arbusti (zona ovest del parco). Tale aspetto non è da considerarsi negativo, perché le piante secche e gli arbusti sono il rifugio di molte specie di animali (scoiattoli, conigli, varie specie di uccelli ecc.) e sono anche importanti per la conservazione della biodiversità. Una parte del parco è anche ricca d'acqua, infatti sono stati identificati più di uno stagno e qualche canale con acqua corrente (*figura 5.8*).



Figura 5.8 – Fotografie scattate durante il sopralluogo al Parco Colonnetti che ritraggono ciò che si può ammirare lungo il percorso naturalistico.

Finita l'attività in campo, i dati ricavati sono stati inseriti manualmente in Eco. Le informazioni dei plot sono state scritte nella tabella importata dal file di ArcMap e poi per ogni plot, Eco dà la possibilità di inserire uno o più alberi con le relative informazioni.

Prima di lanciare l'analisi, Eco fornisce agli utenti la possibilità di inserire i Benefits Prices, ovvero i valori commerciali di risorse come costo medio dell'elettricità (nel nostro caso dell'Italia), del riscaldamento, del carbonio, dei deflussi evitati e anche del tasso di cambio €/\$, allo scopo di poter quantificare economicamente i servizi ecosistemici. Se non si hanno

a disposizione i valori relativi alla zona di studio o comunque dello Stato di appartenenza, si possono utilizzare dei valori predefiniti, in questo caso però, essi sono riferiti agli Stati Uniti e aggiornati al periodo in cui è stato scaricato il software. I valori indicativi scelti per il presente progetto sono stati in parte reperiti dal web e sono i seguenti:

- energia elettrica: 0.297 €/kWh [30]
- carbonio: 60.69 €/ton [32]
- deflussi evitati: 1.902 €/m³ (default)
- riscaldamento: 2.89 €/Therm²⁷ (ricavato dalla trasformazione da therm a kWh della media tra i due valori 0.087-0.11 €/KWh [31])

Oltre ai “Benefits Prices”, il software contiene un altro campo da compilare che riguarda il tasso di cambio dollaro-euro. Poiché questo cambia di giorno in giorno, ed è un dato facilmente reperibile, il software dà la possibilità all’utente di inserirlo manualmente oppure cliccando sul pulsante “Get today’s rate” che reperisce il valore automaticamente. In data 14/10/2021, il tasso di cambio consultato è 0.862 € = 1\$ US.

Tutti i dati di campo importati o inseriti manualmente in Eco, quali alberi, arbusti, plot ecc., possono essere convalidati utilizzando la funzione Verifica dati (check data). Quando si clicca sul pulsante, Eco verifica la presenza di dati non validi e segnala problemi che devono essere corretti prima di poter inviare i dati al server e recuperare i risultati.

²⁷ Therm è l’unità di misura anglosassone di quantità di calore che corrisponde a $1,055 \cdot 10^8$ Joule; inoltre 1 Therm equivale a 29.3001 kWh.

5.3.3 Risultati

I risultati forniti da Eco possono essere scaricati dopo la ricezione di una mail da i-Tree che attesta l'avvenuta elaborazione dei dati dal server. Tali risultati sono disponibili sia sotto forma di relazione riassuntiva, che come singoli grafici da scaricare separatamente. Di seguito, vengono mostrati i risultati analizzati uno per uno.

I. COMPOSIZIONE E STRUTTURA DELLA FORESTA URBANA

SPECIE PRESENTI

Nel parco Colonnetti sono stati campionati 232 alberi appartenenti a 42 specie e 21 generi diversi. La relativa superficie campionata è di 9,65 ha (193 plot x 0,05 ha/plot). Partendo da questi dati, l'applicativo Eco ha stimato che nel parco ci sono 1124 ± 72 alberi e una copertura arborea del 33,2 % della area totale del parco. La densità complessiva degli alberi nel Parco Colonnetti è di 33 alberi/ettaro. Nella tabella seguente sono elencate tutte le specie con il relativo numero stimato e la percentuale.

Specie		N°	%	Specie		N°	%
<i>Tilia</i>	<i>platyphyllos</i>	208	18,5%	<i>Prunus</i>	<i>avium</i>	15	1,3%
<i>Celtis</i>	<i>australis</i>	97	8,6%	<i>Fagus</i>	<i>sylvatica</i>	10	<0.1%
<i>Cedrus</i>	<i>atlantica</i>	78	6,9%	<i>Pinus</i>	<i>resinosa</i>	10	<0.1%
<i>Ulmus</i>	<i>minor</i>	63	5,6%	<i>Pinus</i>	<i>wallichiana</i>	10	<0.1%
<i>Acer</i>	<i>saccharinum</i>	58	5,2%	<i>Platanus</i>	<i>occidentalis</i>	10	<0.1%
<i>Fraxinus</i>	<i>excelsior</i>	58	5,2%	<i>Populus</i>	<i>alba</i>	10	<0.1%
<i>Cedrus</i>	<i>deodara</i>	48	4,3%	<i>Prunus</i>	<i>cerasifera</i>	10	<0.1%
<i>Quercus</i>	<i>rubra</i>	39	3,4%	<i>Salix</i>	<i>alba</i>	10	<0.1%
<i>Populus</i>	<i>nigra</i>	39	3,4%	<i>Acer</i>	<i>negundo</i>	5	<0.1%
<i>Prunus</i>	<i>serotina</i>	39	3,4%	<i>Pterocarya</i>	<i>fraxinifolia</i>	5	<0.1%
<i>Pinus</i>	<i>nigra</i>	34	3,0%	<i>Prunus</i>	<i>domestica</i>	5	<0.1%
<i>Aesculus</i>	<i>hippocastanum</i>	29	2,6%	<i>Morus</i>	<i>nigra</i>	5	<0.1%
<i>Salix</i>	<i>babylonica</i>	29	2,6%	<i>Liriodendron</i>	<i>tulipifera</i>	5	<0.1%
<i>Acer</i>	<i>platanoides</i>	29	2,6%	<i>Liquidambar</i>	<i>styraciflua</i>	5	<0.1%
<i>Acer</i>	<i>campestre</i>	24	2,2%	<i>Fraxinus</i>	<i>ornus</i>	5	<0.1%
<i>Pinus</i>	<i>strobus</i>	24	2,2%	<i>Celtis</i>	<i>occidentalis</i>	5	<0.1%
<i>Tilia</i>	<i>tomentosa</i>	24	2,2%	<i>Carpinus</i>	<i>betulus</i>	5	<0.1%
<i>Tilia</i>	<i>cordata</i>	15	1,3%	<i>Acer</i>	<i>saccharum</i>	5	<0.1%
<i>Juglans</i>	<i>nigra</i>	15	1,3%	<i>Quercus</i>	<i>robur</i>	5	<0.1%
<i>Ostrya</i>	<i>carpinifolia</i>	15	1,3%	<i>Acer</i>	<i>buergerianum</i>	5	<0.1%
<i>Ulmus</i>	<i>pumila</i>	15	1,3%	<i>Acer</i>	<i>tataricum</i>	5	<0.1%
TOTALE						1124	100,00%

Tabella 5.1 – Specie arboree censite al parco Colonnetti

Come si può notare dall'elenco (Tabella 5.1), le prime dieci specie di alberi sono quelle che prevalgono nel parco totalizzando il 65% della popolazione. In prima posizione si trova la *Tilia platyphyllos* (Tiglio nostrano) con il 18.5%, che è una tipica pianta da viale alberato; infatti, non a caso tale specie è stata trovata oltre che in varie zone del parco, anche lungo tutto il percorso storico che attraversa da nord a sud il parco. Come seconda specie più presente c'è il *Celtis australis* (Bagolaro) con l'8.6%, poi proseguendo in ordine c'è il *Cedrus atlantica* (Cedro dell'atlante) con 6.9%, l'*Ulmus minor* (Olmo campestre) con il 5.6%, l'*Acer saccharinum* (Acero argenteo) con il 5.2%, il *Fraxinus Excelsior* (Frassino comune) con il 5.2%, il *Cedrus deodara* (Cedro dell'Himalaya) con il 4.3%, la *Quercus rubra* (Quercia rossa) con il 3.4%, il *Populus nigra* (Pioppo nero) con il 3.4%, il *Prunus serotina* (Prugnolo tardivo) con il 3.4%. Le altre specie del parco sono presenti in percentuali inferiori al 3% e sono riportate nella tabella precedente.

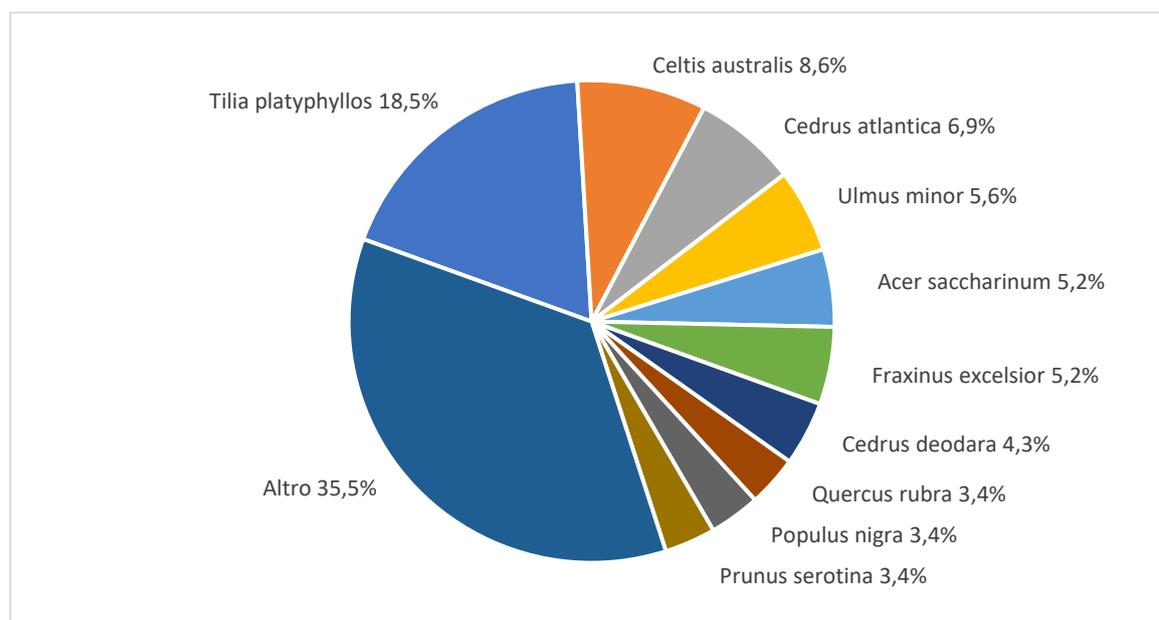


Figura 5.9 – Grafico a torta delle specie prevalenti al Parco Colonnetti

Al fine di ottenere risultati completi che considerano anche la presenza degli arbusti, sono state scelte tre specie molto presenti nel territorio piemontese: *Corylus avellana*, *Cornus mas* e *Euonymus europaeus*. Tale scelta è stata fatta in ritardo perché durante le misure di campo non sono state riconosciute le specie arbustive ma solamente la % di copertura.

ORIGINE DELLA SPECIE

Secondo molti studi (McKinney et al., 2006; Aronson et al., 2015), l'urbanizzazione è considerata una delle cause dello sviluppo di specie non autoctone nelle foreste urbane, nonostante esse ricoprano un ruolo importante negli ecosistemi urbani. Considerando ciò, i

gestori del verde urbano dovrebbero comunque prediligere la gamma di specie autoctone e non limitarsi a conservare solo le specie già presenti. Le foreste urbane sono generalmente composte da un mix di specie arboree native ed esotiche. Tuttavia, tale diversità arborea risulta in alcuni casi positiva e in altri negativa; l'aspetto positivo si riscontra nel caso in cui ci fosse una malattia o un attacco da insetti su una specie specifica, mentre il riscontro negativo lo si ha quando c'è la presenza di specie invasive, le quali potrebbero prevalere su quelle autoctone. Nel Parco Colonnetti, circa il 7% della popolazione arborea è composta da specie native dell'Europa, mentre la maggior parte degli alberi ha un'origine euroasiatica (45% degli alberi). C'è anche una presenza non indifferente di specie originarie del nord America con il 19.7%, poi a seguire ce ne sono anche altre originarie dell'Asia e dell'Africa con percentuali rispettivamente del 10.1% e 7%.

DBH (Diameter at Breast Height)

Un altro parametro importante è rappresentato dalla distribuzione dei diametri degli alberi della foresta urbana, perché è grazie a questi che si riesce a stimare la superficie fogliare, l'età della pianta e anche l'andamento di crescita. Il modello matematico alla base di Eco, *UFORE*, tramite i valori dei diametri degli alberi, calcola la biomassa e la quantità di carbonio stoccato (Nowak, Crane, 2002). Ricordando che nella campagna di misura i DBH sono stati misurati ad un'altezza di 1,30 metri da terra e con diametro maggiore di 2,5 cm, secondo la stima di Eco, la distribuzione relativa al parco Colonnetti risulta essere quella mostrata nella figura seguente:

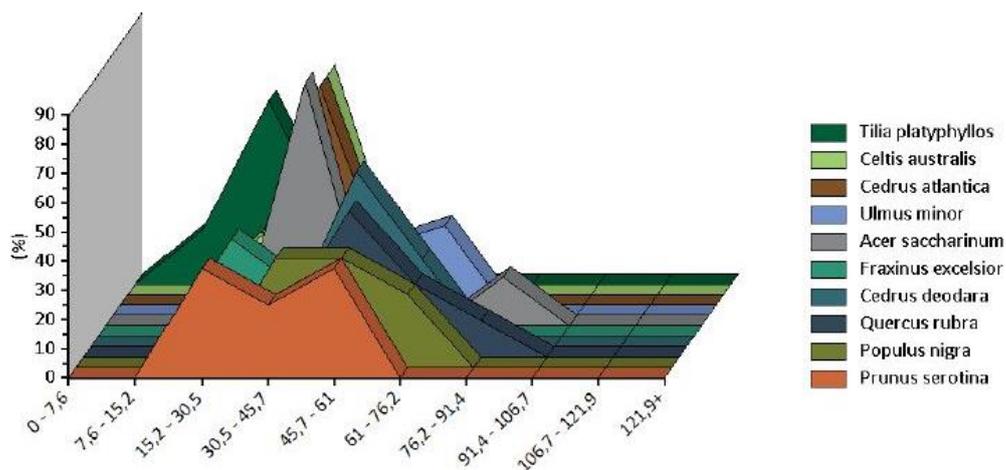


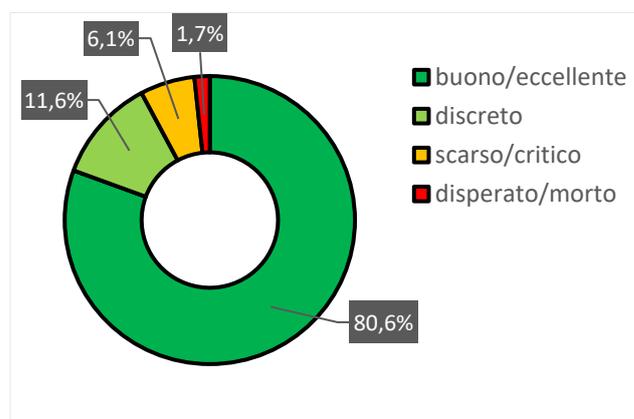
Figura 5.10 – Distribuzione di frequenza dei diametri delle 10 specie più presenti al parco Colonnetti

Premettendo che sono rappresentate solamente le 10 specie più presenti nel parco Colonnetti, si può osservare che la maggior parte dei diametri ricade nelle classi 15.2-30.5 cm, 30.5-45.7 cm e 45.7-61 cm. Tuttavia, anche se in minoranza, ci sono piante con diametri

più piccoli che ricadono nella classe dimetrica 7.6-15.2 cm come nel caso della *Tilia Platyphyllos*, e piante con diametri maggiori come *Ulmus Minor*, *Cedrus Deodara*, *Quercus Rubra* e *Populus Nigra* che ricadono nella classe 61-76.2 cm, e *Acer Saccharinum* e *Quercus Rubra* nella classe 76.2-91.4 cm.

SALUTE DEGLI ALBERI

Un importante indicatore di qualità del verde urbano è lo stato di salute degli alberi che è stato osservato quando è stata fatta l'attività di campo e poi esteso all'intera popolazione dalla stima del software *Eco*. Tramite la condizione degli alberi si possono indirizzare nel



modo migliore le scelte di gestione e di specie selezionate per il parco. Dal report del parco Colonnetti si vede che l'80.6% degli alberi è in condizioni buone o eccellenti, l'11% è in uno stato di salute discreto, il 6% in condizioni di salute critiche per le quali sarebbe necessario l'intervento forestale allo scopo di poterli salvare e infine solo il

Figura 5.11 – Stato di salute degli alberi al parco Colonnetti

2% degli alberi risultano morti. Questo quadro è riassunto nel grafico a torta di figura 5.11. Sugli alberi in stato di salute non ottimale sono stati osservati i segni più comuni come ingiallimento del fogliame e decimazione della chioma, mentre sulle foglie di alcune piante di olmo campestre sono stati osservati dei fori quasi sicuramente praticati da insetti.

AREA E BIOMASSA FOGLIARE

Dare importanza maggiore alle specie presenti in maggior numero, potrebbe risultare superficiale, ma se ci si aggrega il valore della superficie fogliare o anche la biomassa prodotta può portare a una ridefinizione dell'ordine d'importanza. Infatti, come si potrà vedere a breve dal report, la specie più presente al parco Colonnetti, *Tilia Platyphyllos*, non possiede la superficie fogliare più grande (vedi figura 5.12).

La superficie fogliare dell'albero la si ricava sommando le superfici delle sole foglie che sono raggiunte dalla luce solare; tale area è proporzionale alla capacità dell'albero di catturare l'anidride carbonica (CO_2), produrre ossigeno e ridurre gli inquinanti atmosferici. Sia per le latifoglie decidue che per alberi sempreverdi e conifere, il modello di i-Tree è in grado di calcolare la superficie fogliare; per le prime (*latifoglie*) utilizza equazioni di

regressione (Nowak, 1996) e per le altre specie (ad esempio *sempreverdi*) ci aggiunge coefficienti di correzione. L'area fogliare sviluppata dagli alberi del parco Colonnetti, secondo la stima risulta essere pari a $49,131 \pm 4,90$ ha, mentre la densità pari a $14450,2 \pm 1429,5$ m²/ha. Tenendo conto anche dell'area fogliare degli arbusti, si totalizza un valore di $85,7 \pm 7,8$ ha. Facendo un confronto tra aree, la superficie fogliare totale è maggiore della superficie calpestabile del parco Colonnetti (circa 38 ha) di più del doppio.

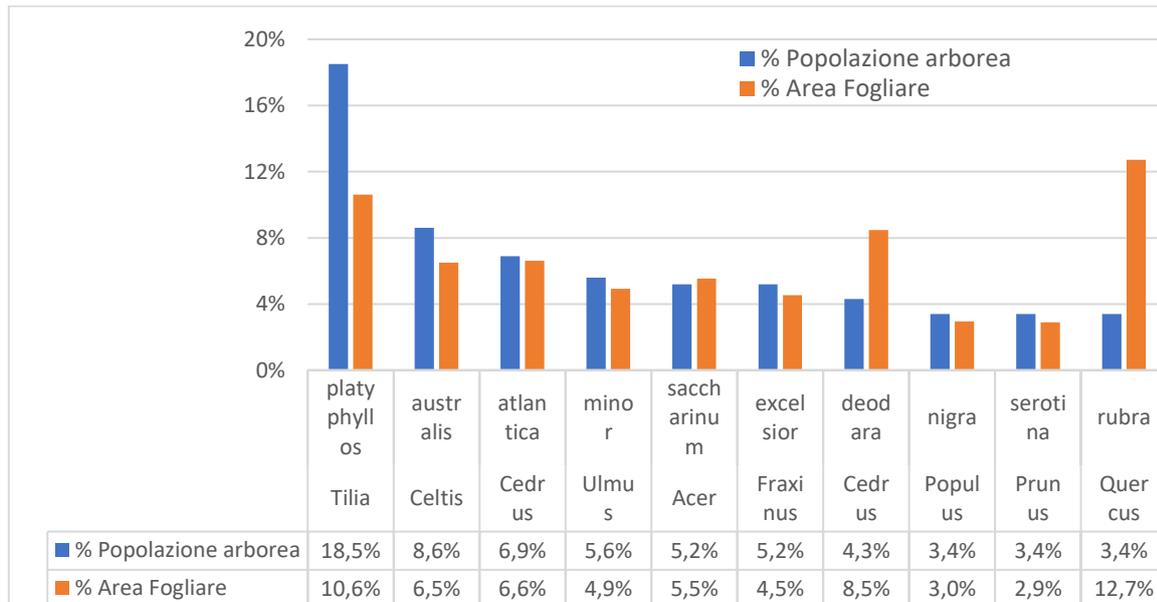


Figura 5.12 – Confronto tra n° di individui e superficie fogliare per le prime 10 specie più presenti al parco Colonnetti.

Nella figura 5.12 si vuole rimarcare il fatto che la *Tilia Platyphyllos*, specie con più individui nel parco, non è quella che possiede la superficie fogliare più grande, ma è addirittura inferiore, seppur di poco, a quella sviluppata dalla *Quercus Rubra* che rappresenta il 3.4 % della popolazione (decima posizione per numero di individui) contro il 18.5% della *Tilia*. Si precisa che in figura sono rappresentate le prime dieci specie con numero di individui maggiore confrontate con le relative superfici fogliari. Dopo la *Quercus Rubra*, in seconda posizione per sviluppo di superficie fogliare c'è la *Tilia P.*, e proseguendo nell'ordine c'è il *Cedrus Deodara*, *Cedrus Atlantica*, *Celtis Australis*, *Acer Saccharinum*, *Ulmus Minor*, *Fraxinus Excelsior*, *Ulmus Pumila* e *Tilia Tomentosa*.

Il software fornisce in output un dato definito *valore d'importanza (V.I)*, il quale dà informazioni sulle specie che contribuiscono maggiormente ad abbattere l'inquinamento atmosferico e quelle che producono più ossigeno. Questo valore viene facilmente calcolato facendo la somma tra la percentuale di popolazione arborea e quella di superficie fogliare per ogni specie (tabella 5.2).

	Specie	% Popolazione	% Area fogliare	V.I
Tilia	platyphyllos	18,5	10,6	29,1
Quercus	rubra	3,4	12,7	16,2
Celtis	australis	8,6	6,5	15,1
Cedrus	atlantica	6,9	6,6	13,5
Cedrus	deodara	4,3	8,5	12,8
Acer	saccharinum	5,2	5,5	10,7
Ulmus	minor	5,6	4,9	10,5
Fraxinus	excelsior	5,2	4,5	9,7
Populus	nigra	3,4	3,0	6,4
Prunus	serotina	3,4	2,9	6,3

Tabella 5.2 – Specie con Valori d'importanza maggiori

A partire dalla *Tilia P.*, le altre specie con *V.I* più importanti sono la *Quercus rubra*, *Celtis australis*, *Cedrus atlantica*, *Cedrus deodara*, *Acer saccharinum*, *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra* e *Prunus serotina*. È bene ricordare che i *V.I* non devono incentivare la piantumazione delle sole specie con valori maggiori in una pianificazione per la gestione a lungo termine, ma questo deve solo far capire la maggiore capacità nel fornire alcuni servizi ecosistemici.

La biomassa prodotta dagli alberi, che altro non è che la sostanza organica contenuta negli alberi, è un dato prezioso per il calcolo dell'assorbimento e fissazione del carbonio, quindi utile per la stima dei servizi ecosistemici. In questo caso ci si riferisce solamente alla biomassa fogliare. L'applicativo Eco è in grado di ottenere una stima della biomassa di ogni albero a partire dai dati di campo (DBH, altezza) e utilizzando equazioni allometriche (*Nowak et al, 2002*) opportunamente modificate in base alle caratteristiche degli alberi. Per quanto riguarda il parco Colonnetti, il software ha stimato che la biomassa fogliare degli alberi è di $46,5 \pm 6.2$ tonnellate mentre quella totale relativa agli alberi e arbusti è di $72,2 \pm 7,6$ t. Nella *tabella* seguente sono elencate le specie più rappresentative per quanto riguarda la biomassa fogliare. Con sole 10 specie si totalizza il 75% della biomassa totale.

	Specie	%Popolazione	Biomassa fogliare (ton)	% Biomassa fogliare
Cedrus	deodara	4,3%	9,761	21%
Cedrus	atlantica	6,9%	7,623	16%
Quercus	rubra	3,4%	4,982	11%
Tilia	platyphyllos	18,5%	3,086	7%
Fraxinus	excelsior	5,2%	2,372	5%
Celtis	australis	8,6%	1,884	4%
Ulmus	minor	5,6%	1,646	4%
Acer	saccharinum	5,2%	1,434	3%
Ulmus	pumila	1,3%	1,138	2%
Prunus	serotina	3,4%	1,105	2%

Tabella 5.3 – Specie con biomassa fogliare maggiore

Come si può osservare in *tabella 5.3*, anche nel caso della biomassa fogliare, la *Tilia platyphyllos* che è la specie con numero di individui maggiori, si classifica quarta.

II. S.E DEL PARCO COLONNETTI

In natura, il metodo più efficiente ed economicamente più vantaggioso per ridurre l'anidride carbonica presente nell'aria è il processo di fotosintesi delle piante. Non a caso, le amministrazioni pubbliche puntano molto sulle foreste urbane, le quali oltre a rimuovere la CO_2 , sono anche in grado di rimuovere altri inquinanti atmosferici come ozono troposferico, biossido di azoto, anidride solforosa, monossido di carbonio e polveri sottili. I processi di rimozione del carbonio e degli inquinanti atmosferici sono trattati dal modello *UFORE* nelle parti "C" e "D", che rispettivamente permettono di stimare il sequestro-immagazzinamento del carbonio e la rimozione tramite deposizione a secco di O_3 , NO_2 , SO_2 , CO , $PM_{2.5}$. In questo paragrafo sarà analizzata anche la riduzione di deflusso superficiale, la produzione di ossigeno e l'emissione dei *COV* (Composti Organici Volatili) del parco Colonnetti; questi ultimi costituiscono un disservizio e meritano di essere stimati.

Il software *Eco*, in merito agli inquinanti atmosferici, fornisce risultati in termini di quantità totali mensili di inquinante rimosso e non relative alle singole specie, di conseguenza non permette agli utenti di capire quale specie rispetto alle altre dà un apporto minore/maggiore rispetto ad un certo inquinante. Per poter sopperire alla mancanza di risultati divisi per specie, nella sezione dei risultati individuali, il software fornisce i quantitativi di inquinanti rimossi per ogni albero campionato durante l'attività di campo. Dal momento che si vuole effettuare una comparazione dei benefici forniti dalle diverse specie presenti, si è provveduto alla manipolazione dei dati di inquinanti sottratti da ogni individuo campionato, aggregandoli in funzione della specie di appartenenza ed estendendo la stima al numero di alberi previsti dal software appartenenti a ciascuna specie. In seguito a quanto detto, i confronti tra quantitativi rimossi da ogni specie sono stati ricavati per estrapolazione e non direttamente prodotti da *Eco*.

Prima di mostrare i risultati per il parco Colonnetti è ancora opportuno precisare che in questo lavoro sono state fatte delle stime economiche sui *Servizi Ecosistemici* alla quale si deve dare un significato prettamente indicativo in ragion del fatto che tale valutazione è al centro di un dibattito internazionale, in quanto non si è ancora arrivati ad una formulazione univoca.

OZONO (O₃)

L'O₃, simbolo dell'ozono troposferico, è un inquinante secondario che occupa gli strati bassi dell'atmosfera e viene prodotto da comuni reazioni chimiche tra ossidi di azoto e composti organici volatili, catalizzate dalla luce (propriamente detti processi fotochimici). Questo può aiutare a capire la diversa concentrazione di O₃ durante la giornata e soprattutto durante i mesi, con massimi in estate in cui l'irraggiamento solare è massimo.

(N.B i COVb, disservizi prodotti dagli alberi, sono una delle cause della formazione di ozono troposferico). I reagenti del processo chimico, NO_x e COV, sono inquinanti primari e si sviluppano rispettivamente da tutte le reazioni di combustione e dalla vegetazione.

Il D.Lgs 155/2010 recepisce in Italia la normativa europea per il contrasto all'inquinamento e fissa delle soglie di concentrazione di ozono (tabella 5.4), in quanto l'esposizione a concentrazioni elevate può provocare irritazioni e/o allergie.

	Valore	Periodo di mediazione
Soglia di informazione	180 µg/m ³	1 ora
Soglia di Allarme	240 µg/m ³	1 ora
Obiettivo a lungo termine per protezione della salute umana	120 µg/m ³	Media max giornaliera calcolata su 8 ore
Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione (AOT40v)	6000 µg/m ³ *h	1 ora cumulativa da maggio a luglio

Tabella 5.4 – Soglie di ozono troposferico in Italia [Fonte: Min. Ambiente]

Secondo la stima fatta dal software, grazie ad alberi e arbusti presenti al Parco Colonnetti, vengono rimossi in media 556.6 kg di ozono all'anno (404 kg solo dagli alberi), alla quale corrisponde un valore economico di 19329,8 € dato che il prezzo unitario è di 34.73 €/kg.

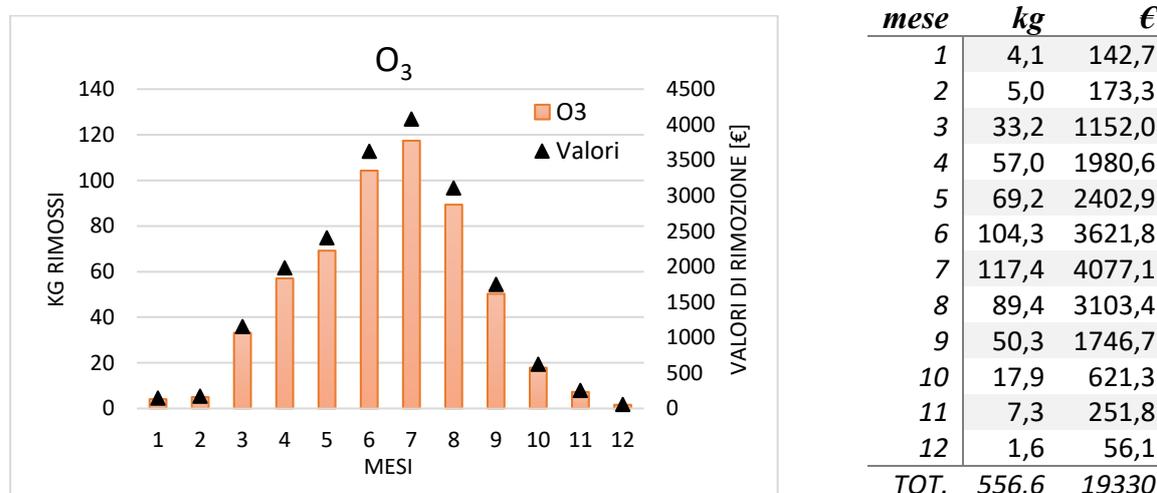


Figura 5.13 – Rimozione mensile di O₃ e relativo valore economico

Per quanto riguarda le specie, quelle con maggiore capacità di neutralizzazione dell'ozono sono la *Quercus rubra* (51,5 kg/aa), la *Tilia platyphyllos* (42,9 kg/aa) e *Cedrus deodara* (34,3 kg/aa). La prima prevale per superficie fogliare mentre la seconda è la specie con maggior numero di individui anche se è seconda come area fogliare (vedi figura 5.21).

BIOSSIDO DI AZOTO (NO₂)

Questo inquinante atmosferico gassoso si può formare in diversi modi: trasformandosi dall'ossido di azoto (NO), prodotto dal traffico stradale, da attività industriali ecc.... Il biossido di azoto è anche propulsore alla formazione di ozono se si combina con i COV. Anche per questo inquinante ci sono delle soglie, ad esempio quella di allarme è di 400 µg/m³. Il meccanismo di rimozione dall'atmosfera dell'NO₂ si manifesta con l'assorbimento attraverso la superficie fogliare grazie all'azione degli stomi che regolano i flussi di gas e vapore acqueo tra l'ambiente interno ed esterno alla pianta. Nel parco Colonnetti la capacità di rimozione di questo inquinante dalla vegetazione è stata stimata essere di 246,5 kg/anno con relativo valore economico di 1280 €/anno (5.19 €/kg). A tal proposito, le specie con rimozione maggiore sono la *Quercus rubra* (22,9 kg/aa) e la *Tilia platyphyllos* (19,1 kg/aa). Il motivo per cui sono le specie con maggiore rimozione è dovuto alla superiorità numerica per il tiglio e alla grande superficie fogliare per la quercia (vedi figura 5.21).

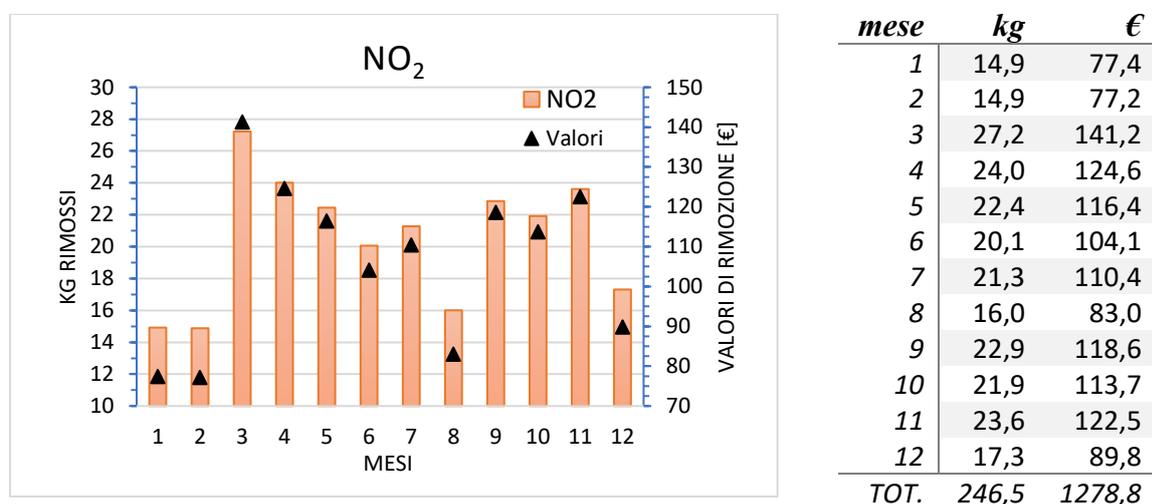
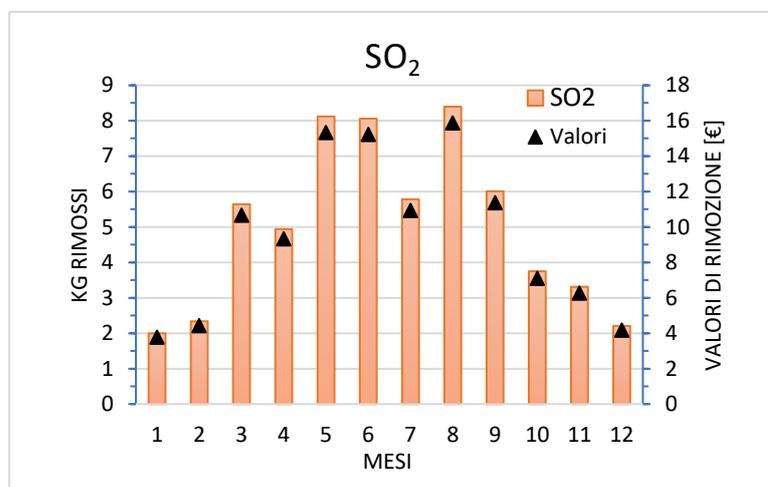


Figura 5.14 – Rimozione mensile di NO₂ e relativo valore economico

ANIDRIDE SOLFOROSA (SO₂)

L'SO₂ è rilasciata dalla combustione di materiali che hanno zolfo al loro interno, ad esempio i derivati del petrolio. Molti dei vecchi impianti di riscaldamento sono una delle fonti di anidride solforosa. Questo gas, oltre a essere dannoso per la vegetazione e gli ecosistemi in generale in quanto genera le cosiddette piogge acide, è anche tossico per le persone.

Grazie ad alberi e arbusti del parco Colonnetti, è stata stimata una rimozione di 60,5 kg all'anno di inquinante a cui corrisponde un valore economico di 114,4 €/anno (1.89 €/kg). Le specie con maggiore rimozione di SO₂ sono ancora la *quercia rossa* (5,7 kg/aa) e il *tiglio nostrale* (4,8 kg/aa) (vedi figura 5.21).

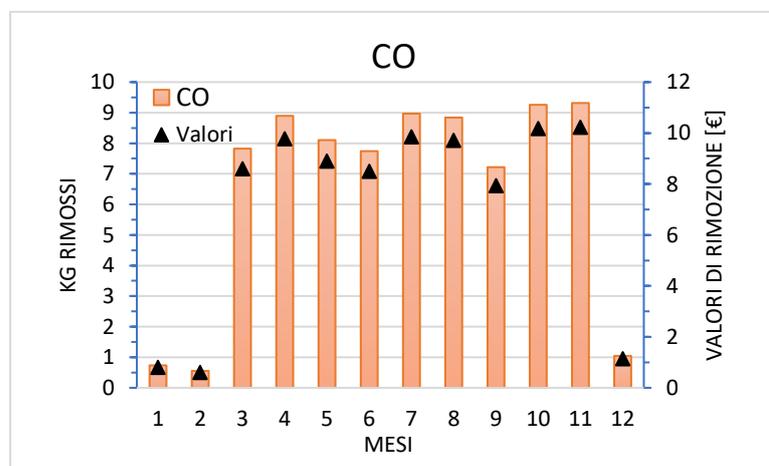


<i>mese</i>	<i>kg</i>	<i>€</i>
1	2,0	3,8
2	2,3	4,4
3	5,6	10,7
4	4,9	9,3
5	8,1	15,3
6	8,1	15,2
7	5,8	10,9
8	8,4	15,9
9	6,0	11,4
10	3,7	7,1
11	3,3	6,3
12	2,2	4,2
TOT.	60,5	114,4

Figura 5.15 – Rimozione mensile di SO₂ e relativo valore economico

MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

Il CO è un gas tossico che si produce per combustione incompleta di qualsiasi materiale organico quando il contenuto di ossigeno in ambiente è scarso. Per le sue caratteristiche, l'inalazione avviene in modo impercettibile ma causa gravi problemi in quanto si lega con l'emoglobina, che normalmente dovrebbe legarsi con l'ossigeno, formando un legame molto più stabile ma molto dannoso. Impedendo il normale trasporto di ossigeno ai tessuti periferici, l'esposizione a valori elevati di CO provoca danni al sistema respiratorio e nervoso. Grazie al verde del parco Colonnetti, si stima che vengono rimossi dall'atmosfera 78,5 kg di monossido di carbonio all'anno, corrispondenti ad un valore economico di 86 €/anno (1.10 €/kg).



<i>mese</i>	<i>kg</i>	<i>€</i>
1	0,7	0,8
2	0,6	0,6
3	7,8	8,6
4	8,9	9,8
5	8,1	8,9
6	7,7	8,5
7	9,0	9,9
8	8,8	9,7
9	7,2	7,9
10	9,3	10,2
11	9,3	10,2
12	1,0	1,2
TOT.	78,5	86,3

Figura 5.16 – Rimozione mensile di CO e relativo valore economico

Le specie che contribuiscono maggiormente alla rimozione di questo inquinante sono la *quercia rossa* (7,6 kg/aa) e il *tiglio nostrano* (6,3 kg/aa) (vedi figura 5.21).

POLVERI SOTTILI (PM_{2.5})

Il PM_{2.5} è rappresentato da tutte le polveri sospese in atmosfera con diametro inferiore a 2.5 micrometri. Sono originate sia in natura che da attività umane industriali e non; alcuni esempi sono la combustione fossile/legnosa, l'usura di superfici, oggetti ecc...

Come gli altri inquinanti atmosferici hanno un effetto negativo sulle persone in quanto possono provocare problemi respiratori di vario genere, ed è per questo che vi sono delle soglie per l'esposizione. Questo tipo di inquinante è neutralizzato dagli alberi attraverso la deposizione secca sulla superficie fogliare ed è tanto più efficiente quanto più le foglie presentano peluria. Il modello alla base della stima della rimozione di PM_{2.5} da parte degli alberi (*UFORE "D"*), tiene conto del fatto che le particelle possano tornare in sospensione o essere dilavate dalle piogge dopo essersi depositate sulle foglie (parte del PM_{2.5} dilavato torna anche in sospensione). Ci sono mesi in cui addirittura ci si può trovare nella situazione in cui la rimozione di PM_{2.5} da parte degli alberi sia negativa, ovvero che la (ri-)sospensione delle particelle depositate in precedenza superi la rimozione. Tale scenario si verificherebbe nel caso in cui ci fosse un lungo periodo asciutto. Al parco Colonnetti, secondo le stime, si è verificata una situazione del genere nel mese di novembre e dicembre per l'assenza di piogge (vedi figura 5.17 e 5.18). Riferendosi al valore totale, il parco Colonnetti trattiene 36,1 kg/anno di PM_{2.5} a cui corrisponde un valore economico di 43570 € all'anno (1205,40 €/kg).

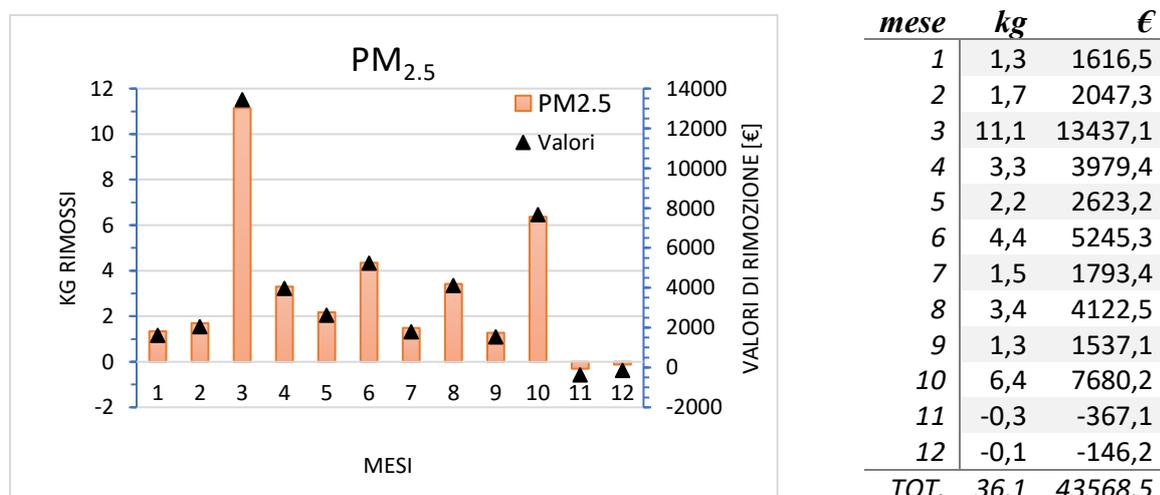


Figura 5.17 – Rimozione mensile di PM_{2.5} e relativo valore economico

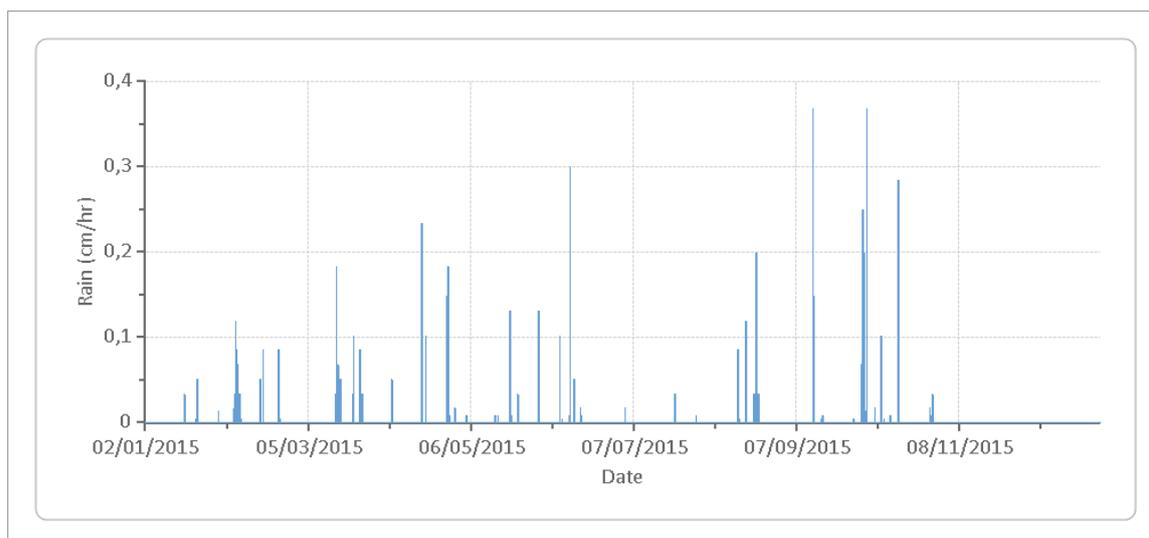


Figura 5.18 – Intensità di pioggia dell'anno 2015 misurata dalla stazione meteorologica Bric della Croce

Anche per il $PM_{2.5}$, le specie in grado di rimuovere quantitativi maggiori sono ordinatamente: *Quercus rubra* (3,1 kg/aa), *Tilia platyphyllos* (2,6 kg/aa) e *Cedrus deodara* (2,1 kg/aa) (vedi figura 5.21).

Osservando i grafici dei cinque inquinanti analizzati si può facilmente notare che la capacità della vegetazione nel rimuovere gli inquinanti non è costante durante tutto l'anno, anzi, può variare anche sensibilmente. I valori più grandi di rimozione dell'ozono troposferico, così come quelli dell'anidride solforosa sono registrati a cavallo dei mesi estivi, mentre quelli di polveri sottili e biossido di azoto nelle stagioni primaverile e autunnale (più piovose). Per il monossido di carbonio si leggono valori minimi di rimozione nella stagione invernale mentre per il resto dell'anno si raggiungono valori più o meno uguali. Tali variazioni sono dettate principalmente da due fattori, la fenologia degli alberi e la diversa concentrazione di inquinanti nell'aria durante l'anno.

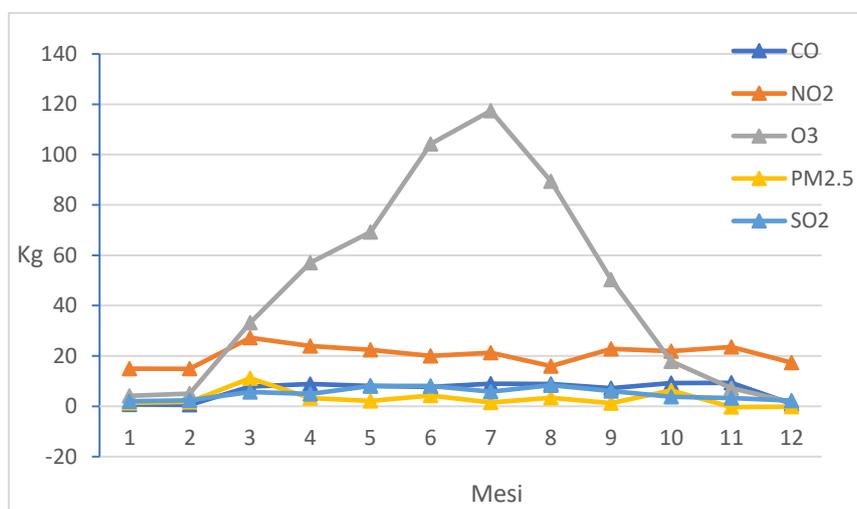
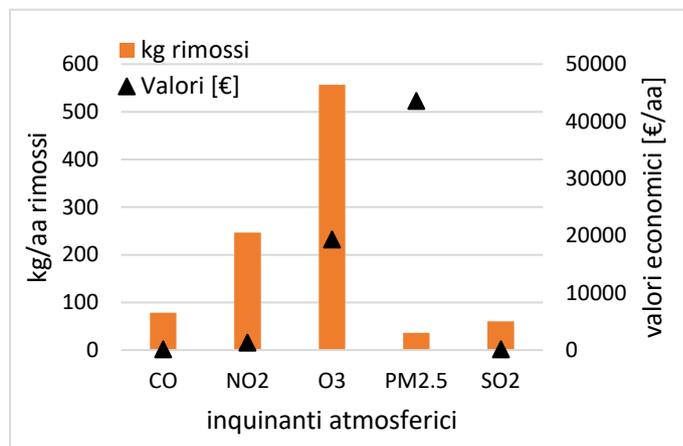


Figura 5.19 – Variazione durante l'anno della capacità di rimozione degli inquinanti atmosferici

Sommando i valori degli inquinanti rimossi dalla vegetazione del parco Colonnetti senza far distinzione della tipologia, si totalizza un quantitativo di 980 kg/anno a cui corrisponde un valore economico di 64380 euro/anno.

In base ai valori economici stimati dal software è possibile fare un'ulteriore considerazione



che riguarda i singoli inquinanti; dalla *figura* sulla sinistra, si può osservare che il PM_{2.5} è l'inquinante con valore economico maggiore nonostante la quantità rimossa sia abbastanza ridotta. Al contrario, gli inquinanti con valore economico minore sono il CO e l'SO₂, sempre se paragonati agli altri.

Figura 5.20 – Quantitativo totale di inquinante rimosso ogni anno

CONFRONTO DELLE SPECIE PER INQUINANTE RIMOSSO

Per avere un'idea circa l'operatività della singola specie nel rimuovere gli inquinanti atmosferici, nella *figura 5.21* seguente sono stati raggruppati i quantitativi di inquinante rimossi per le prime dieci specie che presentano area fogliare maggiore. Come già anticipato precedentemente, il fatto che una specie sia presente in numero maggiore non significa che la stessa abbia maggior capacità di rimuovere l'inquinante rispetto alle altre, anzi come evidenziato nei grafici non è così ma dipende da altri fattori quali dimensione, ciclo vegetativo, area fogliare ecc.... Osservando la *figura 5.21* si evince che la capacità di rimuovere l'inquinante diminuisce assieme alla superficie fogliare. La specie più performante è la *Quercus rubra*, più comunemente chiamata *Quercia rossa*, perché si colloca in prima posizione per area fogliare e per quantità di inquinante rimosso. A seguire c'è la *Tilia platyphyllos* o *Tiglio nostrale* che è la specie con più individui presenti nel parco e seconda come superficie fogliare, poi ancora elencandole in ordine decrescente di quantitativo di inquinante rimosso c'è il *Cedrus deodara*, *Cedrus atlantica*, *Celtis australis*, *Acer saccharinum*, *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus pumila* e *Tilia tomentosa*.

Nel grafico sono stati inseriti tutti e cinque gli inquinanti per avere una metrica di confronto, anche se si poteva fare a meno dell'anidride solforosa e del monossido di carbonio in quanto rappresentano quantitativi irrisori. Le polveri sottili (PM_{2.5}), invece, nonostante siano

rimosse in piccole quantità, hanno un valore economico molto elevato e meritano di essere rappresentate.

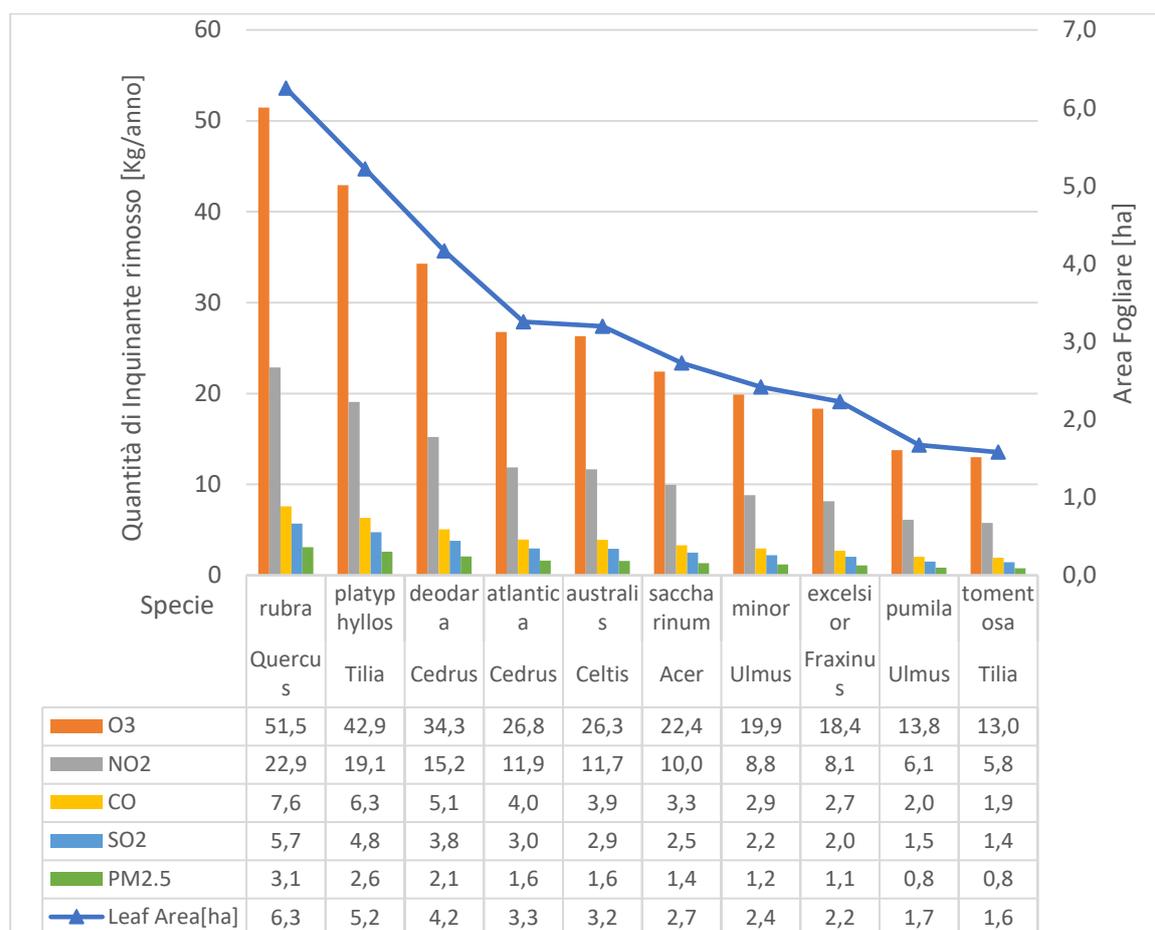


Figura 5.21 – Quantità di inquinante rimosso dalle prime dieci specie per area fogliare in un anno

EMISSIONE DEI COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (COV)

I composti organici volatili biogenici (*COVb*) rappresentano un disservizio fornito dalla vegetazione ed è importante riportarli perché oltre a questo ci sono anche aspetti positivi, in quanto svolgono delle funzioni fondamentali come l'aumento della resistenza delle cellule vegetali all'innalzamento della temperatura, l'attrazione degli insetti per l'impollinazione e la difesa dai parassiti. Tali composti sono sostanzialmente i monoterpeni (mentolo, canfora, eucaliptolo ecc.) e l'isoprene. Come precedentemente anticipato nel paragrafo della rimozione di inquinanti, i *COVb* contribuiscono alla formazione di ozono, tuttavia, esistono specie a bassa emissione che aiutano a ridurre tale formazione.

Gli alberi che popolano il parco Colonnetti nel 2015, sempre secondo le stime, hanno prodotto complessivamente 325,3 kg di composti organici volatili suddivisi in 209,2 kg di monoterpene e 116,1 kg di isoprene.

Specie	Monoter- pene (kg/yr)	Isoprene (kg/yr)	Total VOCs (kg/yr)	Specie	Monoter- pene (kg/yr)	Iso- prene (kg/yr)	Total VOCs (kg/yr)
Acer buergerianum	0,4	0	0,4	Pinus nigra	7,9	0	7,9
Acer campestre	1	0	1	Pinus resinosa	4,4	0	4,4
Acer negundo	0	0	0	Pinus strobus	8,5	0	8,5
Acer platanoides	1,8	0	1,8	Pinus wallichiana	9,1	0	9,1
Acer saccharinum	4,4	0	4,4	Platanus occi- dent.	0	2,2	2,2
Acer saccharum	0,2	0	0,2	Populus alba	0,7	5,2	5,9
Acer tataricum	0,4	0	0,4	Populus nigra	2,5	19,8	22,3
Aesculus hippocasta- num	0,3	0,1	0,4	Prunus avium	0,1	0	0,1
Carpinus betulus	0	0	0	Prunus cerasi- fera	0,1	0	0,1
Cedrus atlantica	20	0	20	Prunus dome- stica	0	0	0
Cedrus deodara	25,6	0	25,6	Prunus serotina	0,6	0	0,6
Celtis australis	0,9	0	0,9	Pterocarya	1	0	1,1
Celtis occidentalis	0	0	0	Quercus robur	1,6	1,1	2,7
Fagus sylvatica	0,1	0	0,1	Quercus rubra	102,5	67,2	169,7
Fraxinus excelsior	0	0	0	Salix alba	0,2	3,9	4
Fraxinus ornus	0	0	0	Salix babylonica	0,6	14,2	14,8
Juglans nigra	4,4	0	4,4	Tilia cordata	0	0	0
Liquidambar styraci- flua	1	2,3	3,3	Tilia platyphyllos	0	0	0
Liriodendron tulipifera	0	0,1	0,1	Tilia tomentosa	0	0	0
Morus nigra	0,6	0	0,6	Ulmus minor	4,9	0	4,9
Ostrya carpinifolia	0	0	0	Ulmus pumila	3,4	0	3,4
TOTALE					209,2	116,1	325,3

Tabella 5.5 – Emissioni bVOC per ogni specie

Osservando la *tabella 5.5* si nota che le emissioni di monoterpene e isoprene sono diverse da una specie all'altra e in alcuni casi risultano addirittura nulle o trascurabili. Focalizzandosi su una stessa specie, questa non emette il massimo di entrambi i composti, infatti, su una stessa riga della tabella non vi sono i massimi assoluti.

Ordinando i valori in ordine decrescente di monoterpene è stato possibile osservare che la *Quercus rubra* e *Cedrus deodara* emettono da soli il 61% dello stesso. Allo stesso modo, ordinando l'isoprene è stato appurato che il 75 % è prodotto dalla *Quercus rubra* e dal *Populus nigra*. Nei risultati appena scritti, come si può notar, manca il contributo emesso dagli arbusti, il quale viene fornito solo in forma grafica e mostrato nella figura seguente. Si osserva subito che i quantitativi emessi dagli arbusti sono inferiori di tre ordini di grandezza per l'isoprene e di uno per il monoterpene rispetto a quelli emessi dagli alberi.

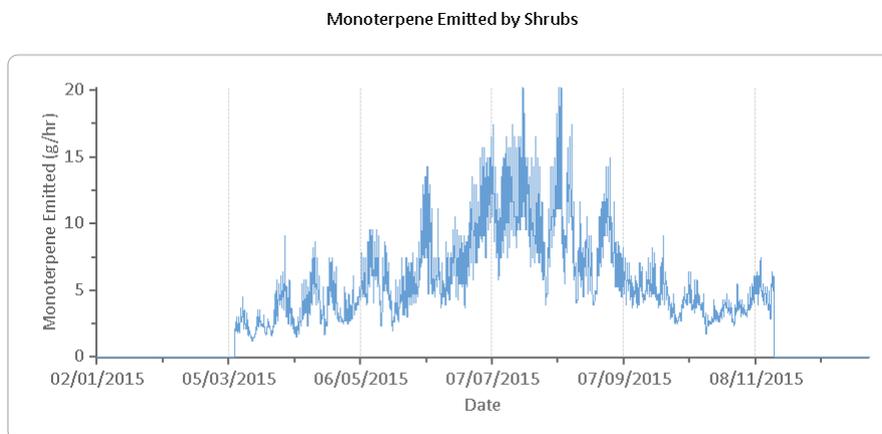
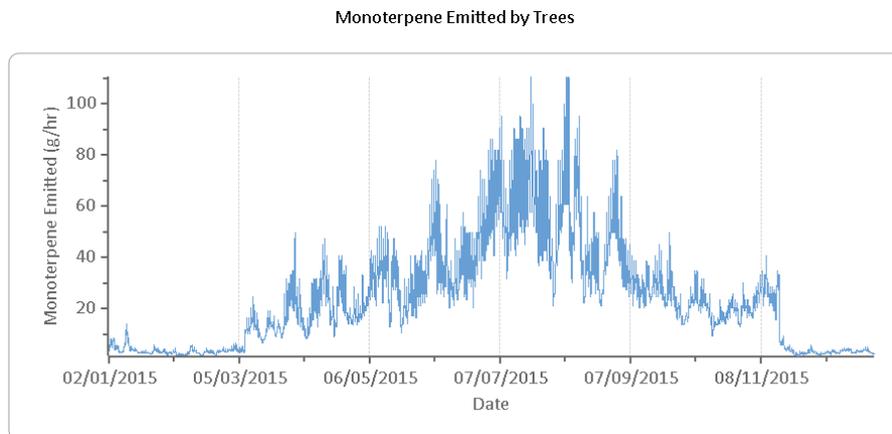
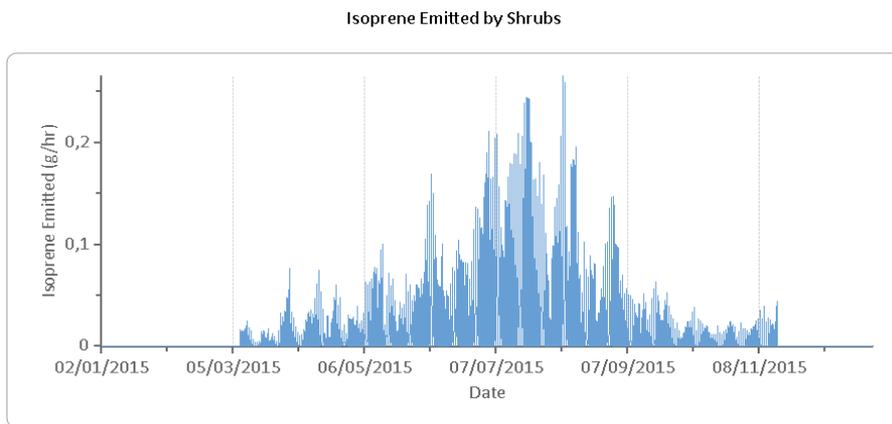
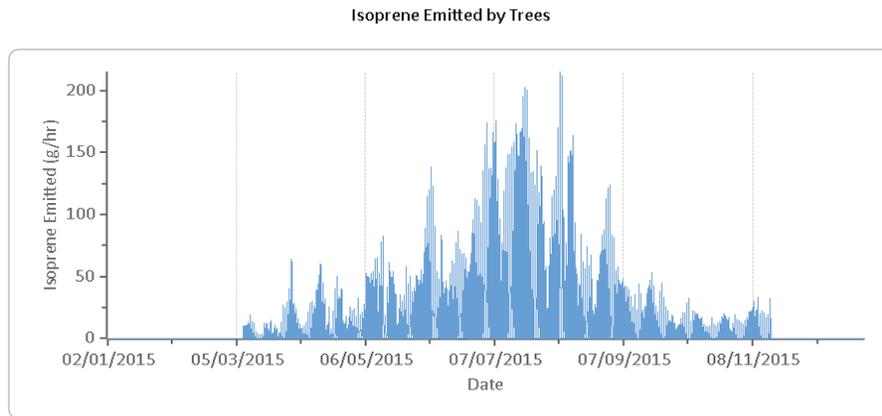


Figura 5.22 – Isoprene e Monoterpene emesso da alberi e arbusti

RIDUZIONE DEFLUSSO SUPERFICIALE

Il ruscellamento delle acque meteoriche nelle città è una delle problematiche che si cerca di combattere nel mondo e che negli ultimi anni sta diventando un problema per l'elevato consumo di suolo e gli eventi climatici sempre più violenti. Le aree urbane, cresciute a dismisura nell'ultimo secolo, sono costituite da molte superfici impermeabili (abitazioni, strade, parcheggi ecc.) che non permettono alle acque di poter seguire il percorso naturale, magari infiltrandosi e raggiungendo l'acquifero e/o il corpo idrico ricettore più vicino. Detto ciò, si può facilmente capire che durante un evento di precipitazione intenso si accumulano grandi volumi di acqua in poco tempo diretti verso il sistema fognario mandandolo in crisi. I motivi per cui le fognature non riescano ad accogliere grandi volumi in poco tempo sono diversi, uno di questi è la portata di progetto che non può essere scelta in funzione di eventi eccezionali ma è minore, il tempo di corrivazione²⁸ diminuisce e inoltre la mancata manutenzione delle caditoie può far sì che queste siano intasate per la presenza di foglie, carte o altro materiale presente per le strade. Al fine di evitare disagi, uno degli obiettivi principali da perseguire quando si effettua la trasformazione dell'uso di suolo è l'invarianza idraulica, ovvero il mantenimento delle portate massime scaricate nei corpi idrici ricettori rispetto a quelle precedenti all'intervento urbanistico.

L'attività umana, oltre a compromettere le quantità di acqua di ruscellamento, compromette anche la qualità; durante il ruscellamento su superfici impermeabili, l'acqua porta con sé tutti gli inquinanti depositati quali metalli pesanti, idrocarburi, rifiuti solidi etc., fino a raggiungere le reti di drenaggio e i corpi idrici ricettori. Questo è il motivo per cui l'acqua di prima pioggia²⁹, una volta convogliata nella rete di drenaggio, dovrebbe essere trattata prima di essere rilasciata.

Grazie alle foreste urbane, il problema del deflusso superficiale e anche quello degli inquinanti possono essere mitigati tramite una serie di processi:

- intercettazione: ogni parte dell'albero, rami, foglie, tronco, è in grado di intercettare e assorbire una quota di acqua riducendo quella che raggiunge il suolo e poi facendola evaporare;

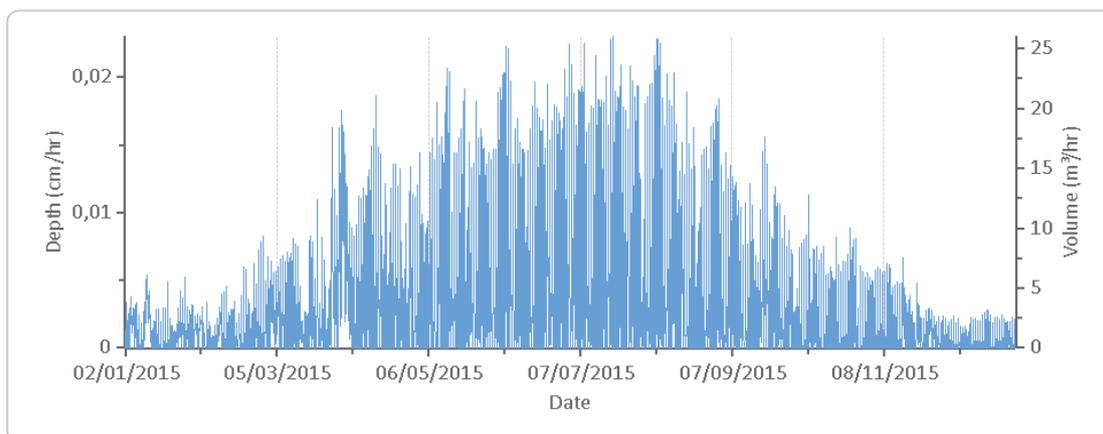
28 Il tempo di corrivazione, valutato in un certo punto di una rete di drenaggio, è il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino a cui appartiene.

29 L'acqua di prima pioggia è quella appartenente alla prima parte di ogni evento meteorico, e corrispondente ad una precipitazione di 5 mm uniformemente distribuita sull'intera superficie scolante servita dalla rete di raccolta delle acque meteoriche.

- traspirazione: le radici delle piante prelevano acqua per la fotosintesi, dopodiché una parte viene espulsa come vapore acqueo dagli stomi delle foglie;
- infiltrazione: le radici e la presenza di terreno permeabile consentono all'acqua di infiltrarsi più facilmente;
- fitodepurazione: gli alberi grazie alle loro radici, più precisamente agli essudati radicali, sono in grado di bonificare il terreno da sostanze inquinanti trasformandole in sostanze organiche tramite reazioni chimiche.

Il software *i-Tree*, conoscendo i dati di precipitazione oraria, che gli sono stati forniti scegliendo la stazione meteorologica (*Bric della Croce* nel caso in esame), e i dati raccolti in campo è in grado di stimare l'evapotraspirazione potenziale (*ETP*), l'evaporazione dal terreno (*E*), la traspirazione dai tessuti delle piante (*Tr*) e l'acqua intercettata dalle piante (*It*). Un ulteriore parametro d'interesse ingegneristico stimato dal software è il deflusso superficiale evitato (*Avoided Runoff*). Tralasciando la *Tr* e l'*E* perché hanno valori minori, l'andamento dei benefici idraulici relativi all'anno 2015 è riportato nelle figure seguenti:

Potential Evapotranspiration by Trees



Potential Evapotranspiration by Shrubs

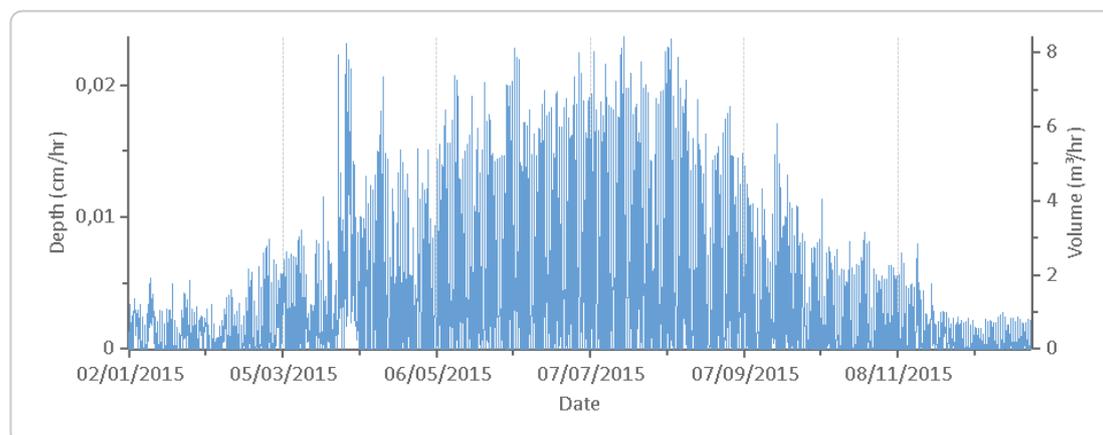


Figura 5.23 – Evapotraspirazione Potenziale di alberi e arbusti relativa al parco Colonnetti

Per poter comprendere meglio i grafici è bene spiegare il significato di evapotraspirazione potenziale; partendo dalla definizione di evapotraspirazione in generale, è un fenomeno che descrive la quantità di acqua che dal terreno passa nell'aria allo stato aeriforme per effetto combinato di traspirazione delle piante ed evaporazione diretta dal terreno. L'evapotraspirazione potenziale, invece, è l'evaporazione che si avrebbe qualora l'acqua sottratta al suolo fosse disponibile in quantità illimitate e dipende solo dalle caratteristiche climatiche (temperatura, vento, umidità relativa, ecc.) [33]; si può ben capire che tale valore può essere molto più grande di quello reale. Osservando i grafici forniti dal software per il parco Colonnetti, si nota che l' ETp varia nel tempo con picchi registrati nella stagione estiva. Nella *figura 5.23* è stato riportato separatamente il contributo di ETP degli alberi e quello degli arbusti per comprendere i diversi apporti di volume (m^3/hr), visibili sull'asse secondario. Concentrandosi ora sulla quantità di acqua intercettata dagli alberi e arbusti, questa dipende dalle caratteristiche strutturali della popolazione arborea, quali composizione, densità, profilo verticale e anche dalle caratteristiche riguardanti la pioggia come intensità e durata.

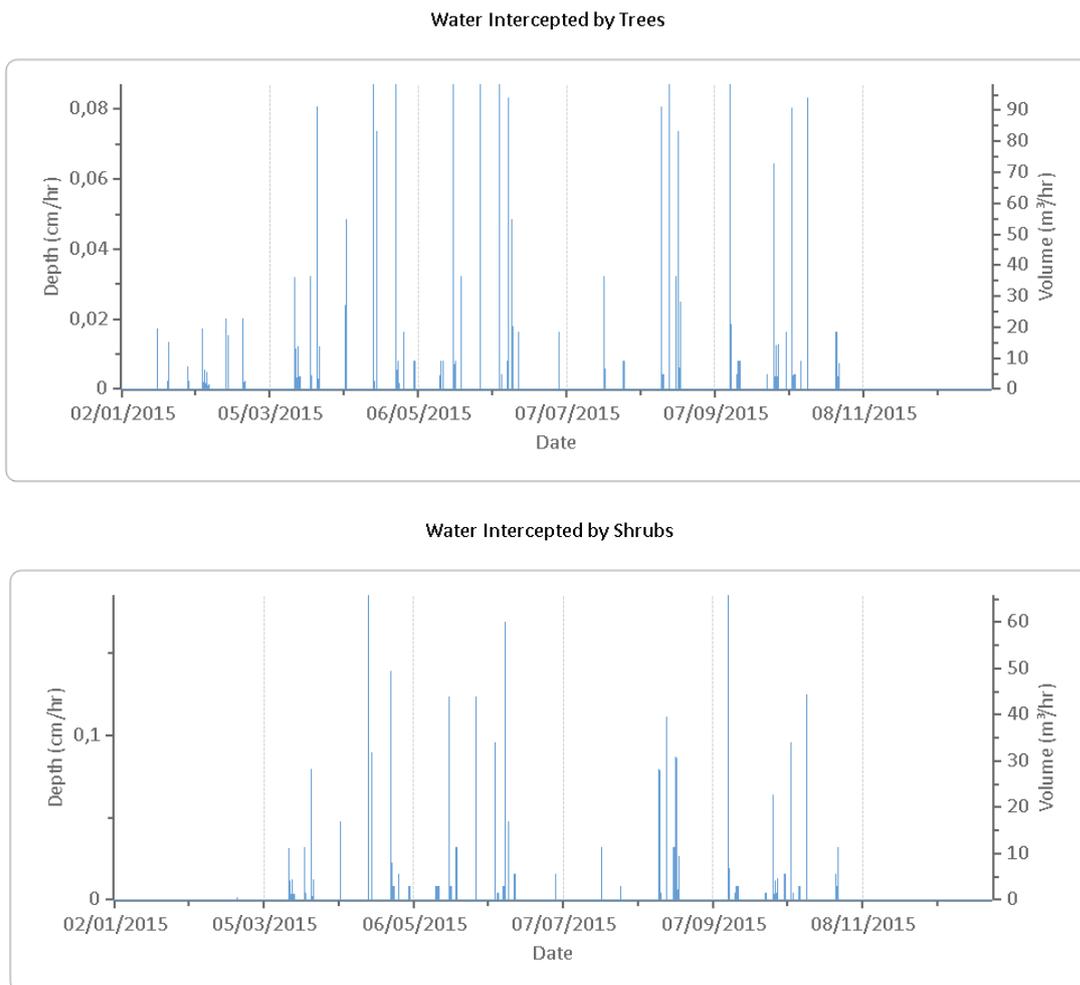


Figura 5.24 – Acqua intercettata da alberi e arbusti del parco Colonnetti

Come si può vedere dalla *figura 5.24*, i picchi si hanno nei periodi più piovosi dell'anno, precisando comunque che tali valori sono influenzati anche dalle specie presenti. L'intercettazione delle precipitazioni può avvenire ad opera di diverse parti delle piante, come rami, corteccia, tronco, ma nell'analisi, Eco considera solo l'apporto del fogliame. Così come l'acqua intercettata presenta valori maggiori nei periodi più piovosi dell'anno, anche in termini di deflusso evitato i valori maggiori sono registrati nel medesimo periodo dell'anno.

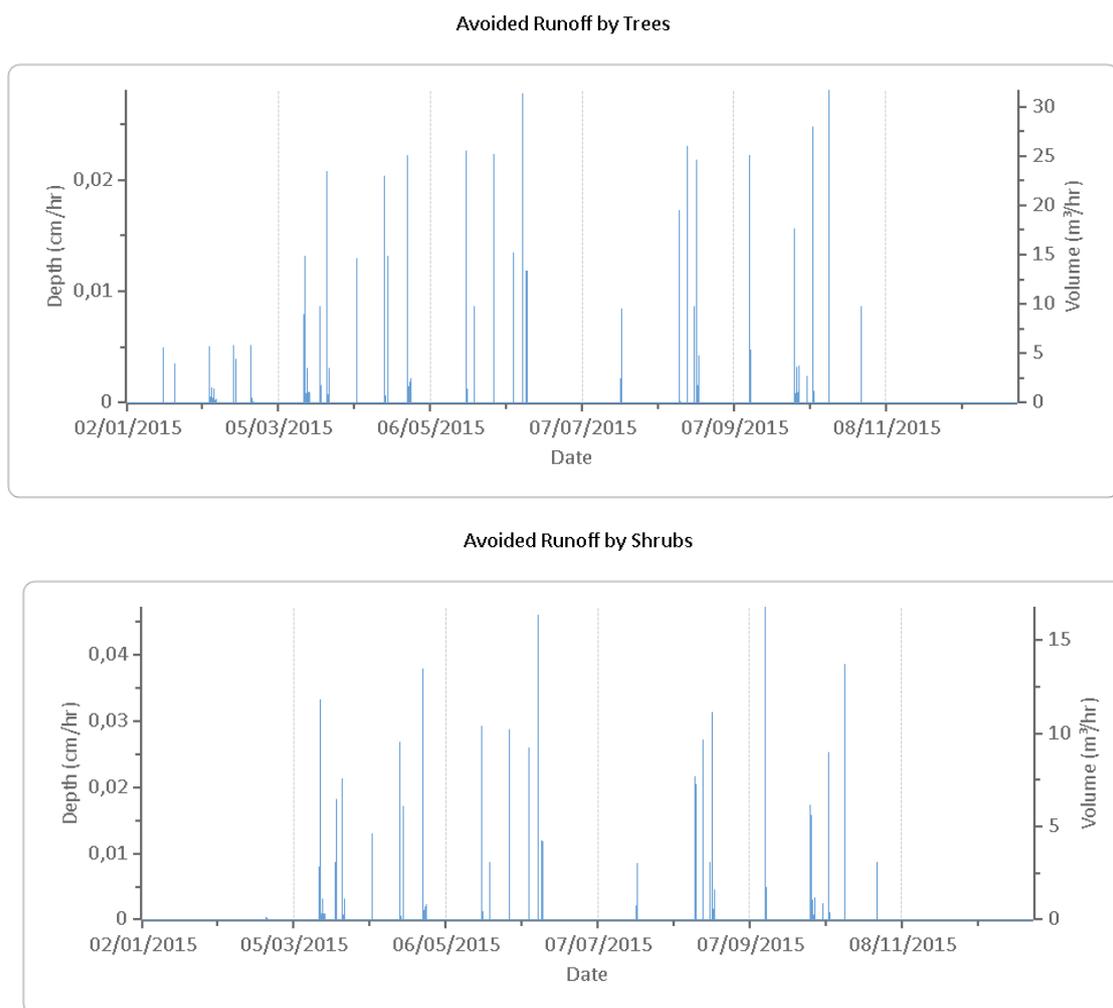


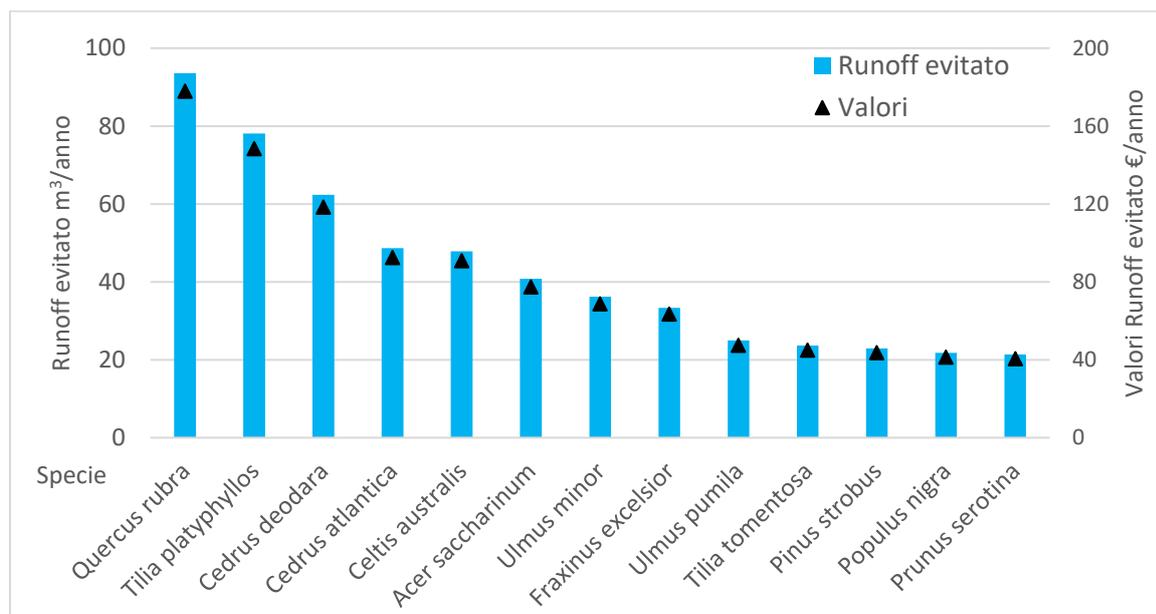
Figura 5.25 – Deflusso superficiale evitato per la presenza di alberi e arbusti al Parco Colonnetti

È interessante osservare che gli arbusti sono in grado di ridurre in modo non trascurabile il deflusso superficiale, ed è impensabile non considerarli nell'analisi.

Complessivamente, grazie alla vegetazione presente al parco Colonnetti di Torino, per l'anno 2015, anno per cui sono disponibili dati di precipitazioni orarie, è stato stimato un abbattimento totale del deflusso superficiale pari $1080 \text{ m}^3/\text{anno}$ alla quale corrisponde un valore economico di 2055 €. Ricordando quanto detto all'inizio di questo capitolo, i valori

economici sono del tutto indicativi, inoltre per questo servizio ecosistemico è stato utilizzato un valore predefinito dal software riguardante gli Stati Uniti d’America.

Come è stato fatto per gli altri *S.E.*, anche in questo caso è interessante sapere in che modo varia il deflusso evitato in funzione delle specie presenti al parco. Si può osservare dalla figura seguente che il maggior apporto è dato dalla *Quercus rubra*, *Tilia platyphyllos* e *Cedrus deodara* rispettivamente con 94, 78 e 62 m³/anno di deflusso evitato.



SPECIE	Quercus rubra	Tilia platyphyllos	Cedrus deodara	Cedrus atlantica	Celtis australis	Acer saccharinum	Ulmus minor
DEFUSSO EVITATO[m ³ /aa]	93,59	78,07	62,33	48,68	47,83	40,77	36,17
VALORI ECONOMICI [€/aa]	178,01	148,49	118,55	92,58	90,97	77,54	68,8
AREA FOGLIARE [ha]	6,25	5,22	4,16	3,25	3,2	2,72	2,42
SPECIE	Fraxinus excelsior	Ulmus pumila	Tilia tomentosa	Pinus strobus	Populus nigra	Prunus serotina	
DEFUSSO EVITATO[m ³ /aa]	33,37	25,01	23,65	22,97	21,76	21,34	
VALORI ECONOMICI [€/aa]	63,48	47,56	44,99	43,68	41,39	40,58	
AREA FOGLIARE [ha]	2,23	1,67	1,58	1,53	1,45	1,43	

Figura 5.26 – Deflussi evitati e corrispondenti valori economici per le specie con superficie fogliare maggiore del parco Colonnetti

Le prime tre specie sono quelle a cui corrisponde la superficie fogliare maggiore; da questa osservazione si può dedurre ancora una volta che il numero di individui non è il parametro più importante per un’analisi come questa. Considerando solo gli alberi, questi riescono ad abbattere il deflusso superficiale di 735 m³/aa a cui corrisponde un valore di 1398,8 €/aa.

SEQUESTRO E STOCCAGGIO DI CARBONIO

Le attività umane sono responsabili del rilascio di grandi quantità di CO₂ nell'atmosfera e del conseguente cambiamento climatico, nonché la distruzione degli ecosistemi. Le modalità attraverso la quale si rilascia gran parte dell'anidride carbonica sono diverse, tra cui l'utilizzo di combustibili fossili, autoveicoli, centrali termoelettriche ecc.... La vegetazione, fortunatamente, è in grado di neutralizzare il carbonio in due modi: attraverso processi di fotosintesi tramite i quali assorbe carbonio (*carbon sequestration*) dall'atmosfera, e attraverso l'immagazzinamento o stoccaggio nei tessuti vegetali (*carbon storage*).

Il *sequestro di carbonio*, come è stato appena accennato, è la quantità di carbonio prelevata dall'atmosfera attraverso la fotosintesi delle piante e dipende dalla salute, dalla dimensione e dalla biomassa fogliare delle stesse. Il parco urbano Colonnetti, secondo la stima effettuata dal software, è in grado di sequestrare 24 tonnellate di carbonio lordo all'anno a cui corrispondono 86 ton/anno di CO₂ equivalente. Il valore economico associato al C sequestrato è di 1431 €/anno. Dato che gli alberi reimmettono una quota di carbonio in atmosfera tramite la respirazione e la decomposizione del legno morto, viene fornita anche la quantità netta di carbonio che risulta essere pari a 19,55 t/anno ed ha un valore economico di 1186 €/anno. La quantità equivalente di CO₂ rimossa è di 72 t/anno.

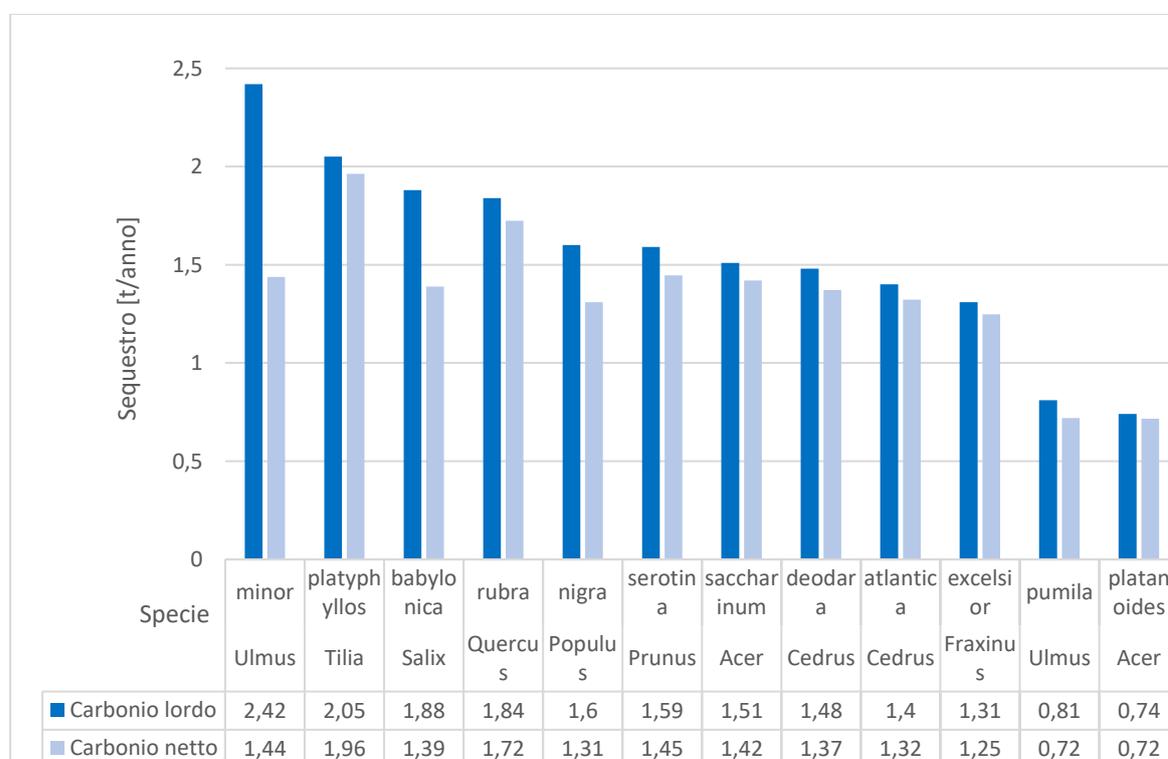


Figura 5.27 – Quantità di C sequestrato lordo e netto per le specie più significative

Osservando la *figura 5.27*, ci si rende subito conto che le specie in grado di sequestrare più carbonio (lordo) sono ordinatamente *l'Ulmus minor*, *Tilia platyphyllos*, *Salix babylonica* e *Quercus rubra*. Tutte e quattro costituiscono il 35 % del sequestro totale di C. In termini di carbonio netto sequestrato, invece, la prima specie è la *Tilia platyphyllos*, poi segue la *Quercus rubra*, *Prunus serotina* e *Ulmus minor*.

La fissazione del carbonio nei tessuti vegetali è un altro apporto positivo fornito dagli alberi e dalla vegetazione in generale. Questo contributo è proporzionale alla biomassa, quindi sarà tanto maggiore quanto lo sarà la biomassa. Inoltre, si può ancora dire che la capacità di immagazzinamento di C da parte di foglie, tronco, rami e radici diminuisce nel tempo una volta che la pianta è cresciuta. La popolazione arborea del parco Colonnetti, secondo le stime del software, ha immagazzinato 614 t di carbonio a cui corrisponde un valore di 37300 €. Tra le specie campionate, *l'Ulmus minor* detiene la maggioranza per C fissato, con un contributo del 15.2%; è seguito da *Salix babylonica*, *Quercus rubra* e *Cedrus Deodara* rispettivamente con contributi del 10.4, 8.3 e 7.8 %.

In seguito ai risultati ottenuti, il taglio nostrale, nonostante sia la prima specie per numero di individui, per fissazione di carbonio è al settimo posto con il 5,4 %; al contrario, l'olmo campestre, quarto come numero di individui, risulta essere la specie che immagazzina più carbonio. Questi risultati possono essere spiegati dal fatto che gli olmi sono alberi con dimensioni e quantità di biomassa abbastanza elevati, entrambi parametri a favore del fissaggio di C.

PRODUZIONE DI OSSIGENO

La produzione di ossigeno è tra i benefici più conosciuti forniti dagli alberi urbani. La sua produzione annuale netta è direttamente correlata alla quantità di carbonio sequestrata dall'albero, che a sua volta è legata all'accumulo di biomassa arborea. Per quanto riguarda gli alberi del parco Colonnetti, si stima che producano 52,12 tonnellate all'anno di ossigeno; tuttavia, questo beneficio non assume un ruolo importante perché in atmosfera c'è una quantità molto grande, e d'altronde l'apporto maggiore è fornito dai sistemi acquatici. Per avere un'idea, se tutte le riserve di combustibili fossili, tutti gli alberi e tutta la materia organica presente nel suolo venissero bruciate, l'ossigeno atmosferico diminuirebbe solo di qualche punto percentuale (*Broecker, 1970*).

RIEPILOGO DEI RISULTATI

Al giorno d'oggi, una delle preoccupazioni principali è il cambiamento climatico, tuttavia esistono strumenti in grado di mitigarlo, e uno di questi è rappresentato indubbiamente dalla vegetazione. Per questo motivo, le amministrazioni comunali dovrebbero privilegiare lo sviluppo di parchi urbani e periurbani, in quanto questi giocano un ruolo importante nella lotta al cambiamento climatico che purtroppo non può essere stabilito con certezza per la complessità delle variabili in gioco.

L'analisi del parco Colonnetti ha dimostrato che anche un polmone verde di dimensioni non eccessivamente elevate (circa 38 ha), ubicato in un centro urbano, è in grado di fornire dei benefici non indifferenti dal punto di vista ambientale, come rimozione di inquinanti atmosferici, riduzione del deflusso superficiale, sequestro e stoccaggio di C e produzione di ossigeno. La stima economica, d'altra parte, fornisce una misura indicativa del valore che ne consegue privilegiando tali aree. Nella tabella seguente sono stati raggruppati i servizi ecosistemici e i relativi valori quantitativi ed economici:

SERVIZIO ECOSISTEMICO (S.E)		QUANTITÀ	UNITÀ DI MISURA (UdM)	VALORE ECONOMICO	UdM
rimozione di inquinante atmosferico	O ₃	556,6	kg/aa	19330	€/aa
	NO ₂	246,5	kg/aa	1279	€/aa
	SO ₂	60,5	kg/aa	114	€/aa
	CO	78,5	kg/aa	86	€/aa
	PM _{2.5}	36,1	kg/aa	43569	€/aa
Riduzione di deflusso superficiale	H ₂ O	1080	m ³ /aa	2055	€/aa
Stoccaggio di C	C	614	t	37300	€
Sequestro di C lordo	C	23,57	t/aa	1430	€/aa
Sequestro di C netto	C	19,55	t/aa	1186	
Produzione di Ossigeno	O ₂	52,12	t/aa	-	€/aa
DISSERVIZIO ECOSISTEMICO					
		QUANTITÀ	UdM		
COVb	Isoprene	116,1	kg		
	Monoter-pene	209,2	kg		
	Tot. COVb	325,3	kg		

Tabella 5.6 – Riepilogo dei S.E. forniti dal Parco Colonnetti

Per stimare il valore relativo dei benefici, l'applicativo Eco produce dei confronti interessanti tra le quantità di ogni beneficio rimosso con le emissioni medie di automobili e unità familiari. Per quanto riguarda la fissazione di carbonio, la quantità sottratta dall'atmosfera, risulta essere equivalente all'emissione annuale di carbonio di 479 automobili o all'emissione annuale di carbonio di 196 case monofamiliari. La quantità di monossido di carbonio rimosso dagli alberi, invece, è equivalente all'emissione prodotta da 1 automobile o 2 case monofamiliari. Gli ultimi due confronti riguardano il diossido di azoto, la cui quantità rimossa equivale all'emissione annuale di 39 auto o 18 case monofamiliari, e l'anidride solforosa per cui si stima che la quantità rimossa dagli alberi è equivalente a quella emessa ogni anno da 718 automobili o 2 case monofamiliari.

5.4 Valutazione di scenari diversi

Nel paragrafo precedente è stato utilizzato *i-Tree Eco* con lo scopo di determinare la composizione, la struttura e soprattutto i Servizi Ecosistemici del parco Colonnetti. Nel presente paragrafo, si vuole dare spazio a scenari un po' diversi rispetto alla situazione in cui si presenta oggi il parco Colonnetti effettuando poi i confronti tra i risultati ottenuti. Questi nuovi scenari sono stati scelti per confermare ancora una volta l'importanza della vegetazione nel contesto urbano, e anche per guardare al futuro del parco in quanto questo potrebbe subire variazioni. Per poter distinguere i diversi scenari, si soprannomina *scenario 0*, quello che rappresenta la situazione attuale del parco, mentre gli altri saranno contraddistinti da numeri differenti. Il primo scenario, *scenario 1*, considera la situazione in cui il parco Colonnetti sia privo di alberi, ma conserva la tipologia di copertura del suolo, ovvero il prato (superficie permeabile); tale caso è stato selezionato per mostrare, in termini quantitativi, la riduzione dei benefici qualora non ci fosse nessun albero al parco. Tuttavia, i risultati ottenuti hanno permesso di fare solamente alcune considerazioni perché il software *Eco* ha alcuni limiti riguardo lo studio di scenari privi di alberi. Il secondo scenario, *scenario 2*, considera la situazione in cui il parco fosse popolato dalla stessa percentuale di copertura arborea dello *scenario 0*, con la differenza che ogni individuo arboreo appartiene alla stessa specie, la quale è stata scelta con un certo criterio. L'obiettivo, in questo caso, è quello di massimizzare uno o più benefici ambientali a parità di copertura arborea, in particolare il sequestro e lo stoccaggio di C. Il terzo scenario, *scenario 3*, è analogo allo *scenario 2*, con la differenza che questa volta si vuole massimizzare un altro SE, quale la

rimozione degli inquinanti atmosferici. Con lo sguardo rivolto al futuro, sono stati presi in considerazione altri due scenari, lo *scenario 4*, che considera l'assenza di arbusti, i quali occupano la porzione di parco meno curata, e lo *scenario 5*, che valuta la possibilità di estinzione della specie *Cedrus Atlantica*. Come si può facilmente capire, ogni scenario è stato scelto per un preciso motivo e rappresenta situazioni potenzialmente realizzabili.

5.4.1 Scenario 1 – assenza di alberi e arbusti (100% prato)

Il motivo per cui è stato scelto questo scenario, è quello di far risaltare le differenze tra i servizi ecosistemici ottenuti nel caso in cui ci sono individui arborei e quello in cui non ce ne sono. Come prima cosa, sono stati modificati i dati di input all'interno del software, in particolare sono stati eliminati gli alberi da ogni plot lasciando invariata la copertura del suolo. Per poter lanciare l'analisi, è obbligatorio controllare che i dati inseriti siano soddisfacenti, e lo si fa cliccando sul tasto *check data* dalla barra multifunzionale; da questa operazione è stato constatato che *Eco* non è in grado di produrre risultati in mancanza di alberi, quindi, per effettuare comunque l'analisi è stata inserita la percentuale minima di copertura arborea che corrisponde a 1-5%.

In seguito a quanto detto, il software ha stimato la presenza di soli cinque alberi e ha attribuito agli stessi la fornitura dei Servizi ecosistemici. L'unica considerazione valida che può essere fatta è che la quantità di ciascun beneficio in termini rimozioni di inquinanti, sequestro di C, stoccaggio di C, produzione di ossigeno, è strettamente dipendente dal numero di individui presenti oltre che dalle specie e dai fattori ambientali (concentrazioni orarie di inquinanti, precipitazioni orarie ecc.). Un altro motivo per cui è stato scelto di analizzare questo scenario è la quantificazione del deflusso superficiale evitato. È noto che l'acqua piovana può essere intercettata dagli alberi in diversi modi (da foglie, rami, corteccia, radici, evapotraspirazione) e dal suolo per infiltrazione; lasciando perdere il primo contributo, grazie all'infiltrazione nel suolo si attendevano comunque valori non trascurabili per questo servizio ecosistemico, ma il software non ha fornito risultati validi perché considera solo l'acqua intercettata dalle foglie degli alberi.

Per poter ovviare a questi problemi, e quantificare con più precisione il deflusso idrico e la qualità dell'acqua relativa ad una zona, la suite di *i-Tree* ha sviluppato l'applicativo Hydro. Questo software utilizza un modello idrologico specifico per la vegetazione contenente come parametro fondamentale la permeabilità superficiale del suolo. Inoltre, contiene funzioni di autocalibrazione che contribuiscono a confrontare le stime del modello con il flusso

orario misurato per poi produrre tabelle e grafici sulle variazioni di flusso e sulla qualità dell'acqua. Come sviluppo futuro, potrebbe essere una buona idea adoperare questo software per stimare meglio il beneficio idrologico offerto dal parco.

5.4.2 Scenario 2 – unica specie (*Salix Babylonica*)

La lotta contro il cambiamento climatico è una delle sfide mondiali che si deve combattere per salvare il pianeta e tutti gli esseri viventi che lo popolano. Una delle cause di questo cambiamento è la presenza in atmosfera di gas a effetto serra, in particolare anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), vapore acqueo ecc.... Concentrandosi sull'anidride carbonica, una delle strategie naturali di rimozione è la riforestazione, in quanto le piante sono in grado di sequestrare e stoccare carbonio. Il sequestro avviene tramite il processo di fotosintesi delle piante, mentre lo stoccaggio tramite assorbimento da parte dei tessuti vegetali. Per quanto è stato appena detto, lo *scenario 2* è stato scelto per rappresentare il caso in cui il parco Colonnetti fosse popolato solamente da una specie in grado di massimizzare il sequestro e l'immagazzinamento del carbonio (il *C rimosso* può essere trattato in termini di *CO₂ equivalente*) a parità di percentuale di copertura arborea e con presenza di arbusti. Per scegliere la specie arborea con questa caratteristica, sono stati utilizzati i dati ottenuti dallo *scenario 0* in cui sono presenti tutti gli alberi; in particolare dall'output contenente i quantitativi di carbonio sequestrato e stoccato divisi per specie, sono stati calcolati i quantitativi relativi ad un singolo albero di ogni specie nel seguente modo:

$$C_{seq_1} \text{ della specie } x = \frac{\text{quantità di C seq. da tutti gli individui della specie } x}{N^{\circ} \text{individui della specie } x}$$

dove C_{seq_1} è il carbonio sequestrato da un solo individuo.

Allo stesso modo è stato calcolato il quantitativo di carbonio stoccato dal singolo individuo di ogni specie arborea presente al Parco Colonnetti.

Fare questo tipo di stima per stabilire il quantitativo di carbonio sequestrato e stoccato di un individuo non è del tutto corretto, perché gli alberi delle diverse specie non sono tutti uguali (cambia l'ampiezza della chioma, l'altezza, il DBH, ecc...), anzi possono variare anche di molto; tuttavia, ragionando in termini medi, resta come riferimento indicativo per poter procedere con la scelta della specie più performante in questo ambito. Secondo questo

criterio di scelta, la specie *Pterocarya fraxinifolia* è quella che massimizza il sequestro e lo stoccaggio di C.

Per essere certi di scegliere la specie più performante nel sequestro e fissaggio di C è stato adottato anche un altro criterio più pratico che prevede l'ausilio di i-Tree Eco; in particolare è stato creato un nuovo progetto con le stesse caratteristiche dello *scenario 0*, contenente tutte le 42 specie presenti nel parco, impostando però valori tutti uguali ai parametri relativi agli alberi (ampiezza chioma, percentuale di chioma mancante, altezza etc.). Dopo aver ottenuto i risultati, per il carbonio sequestrato e immagazzinato, è stato seguito il criterio precedente da cui è emerso che la specie più performante è il *Salix babylonica*. Quest'operazione in più ha reso la stima indipendente dalle dimensioni dell'albero oltre che dal numero di individui, rendendola quindi più affidabile. Nella tabella seguente sono elencate le specie che rimuovono più C secondo quest'ultimo criterio.

Specie	Sequestro C [t/aa]	Specie	Stoccaggio C [t]
Salix babylonica	0,0425	Salix babylonica	0,7774
Ulmus minor	0,0322	Acer tataricum	0,7479
Prunus serotina	0,0291	Ulmus minor	0,6103
Ostrya carpinifolia	0,0253	Fraxinus ornus	0,5528
Acer platanoides	0,0251	Prunus domestica	0,5353

Tabella 5.7 – Quantitativi maggiori di sequestro e stoccaggio di C per individuo appartenente a specie diverse

Per la maggior affidabilità del secondo criterio, per questo scenario è stata scelta la specie *Salix babylonica*. Dopo aver sostituito tutte le specie per ogni plot, è stata eseguita l'analisi su *Eco* e successivamente sono stati ottenuti i risultati.

L'area e la biomassa fogliare di alberi e arbusti, secondo le stime del software e come mostrato nella figura seguente, risulta essere un po' inferiore rispetto allo *scenario 0*.

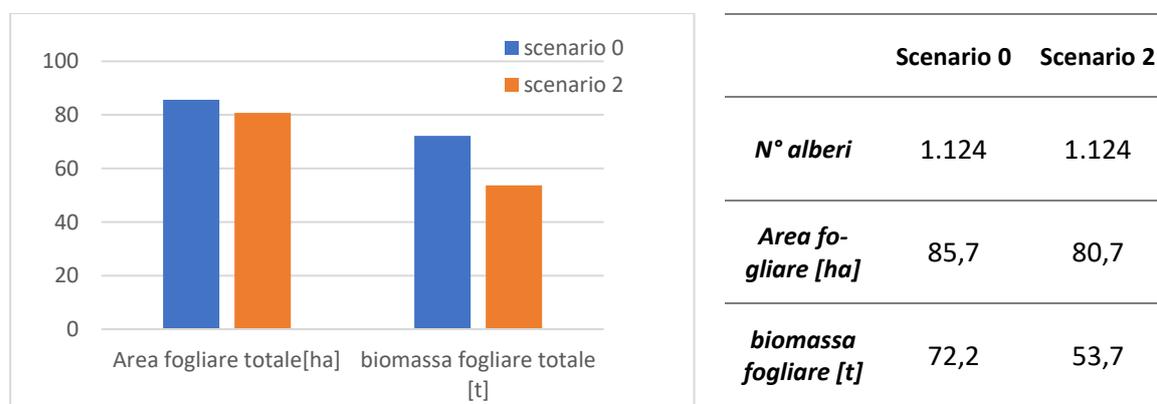


Figura 5.28 – Confronto dell'area e biomassa fogliare tra lo scenario 0 e 2

Le quantità di inquinanti atmosferici rimossi da alberi e arbusti sono diminuite rispetto allo *scenario 0*, in particolare riferendosi ai valori totali, in questo caso la foresta urbana rimuove 928 kg/aa di inquinante contro i 978 kg/aa dello scenario principale.

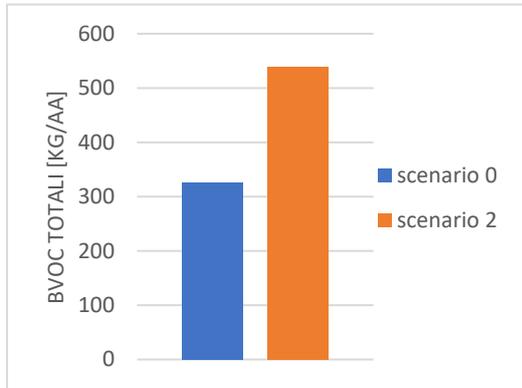


Figura 5.29 – Confronto bVOC tra scenario 0 e 2

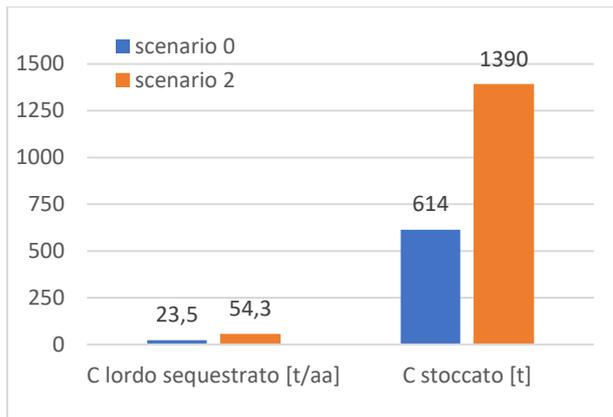
Per quanto riguarda l'emissione dei composti organici volatili biogenici, il software ha stimato un valore totale di 539,8 kg/aa suddiviso in 20,3 kg/aa di monoterpene e 519,5 kg/aa di isoprene. Contrariamente a quanto succedeva nello *scenario 0*, si osserva che questa volta la quota più grande è dell'isoprene. Le differenze tra i due scenari sono mostrate nella *figura 5.29*.

I benefici idrologici prodotti da una popolazione arborea appartenente completamente alla specie *Salix Babylonica* sono diminuiti rispetto al caso in cui ci sono diverse specie. In particolare, il deflusso evitato da alberi e arbusti è di 989 m³/aa, circa 90 m³ in meno rispetto allo *scenario 0* (1080 m³/aa).

Nel caso in cui l'obiettivo fosse stato quello di massimizzare la riduzione di deflusso superficiale, dal confronto dei benefici prodotti da un solo individuo per ogni specie, l'individuo più performante è quello di *Carpinus Betulus*. Tale specie è anche la più performante nella rimozione di inquinanti (vedi *scenario 3*).

Quello che risulta più interessante riportare, nonché il motivo della scelta di questo caso, sono i quantitativi di carbonio sequestrato e stoccato dagli alberi. In generale, gli alberi non sono molto efficienti nella rimozione di carbonio, però grazie alla scelta di una specie piuttosto che un'altra, è possibile massimizzare il loro contributo. Eco, per questo scenario, ha stimato che ogni anno vengono sequestrate 54,3 tonnellate di carbonio lordo all'anno e 45,2 t/aa di carbonio netto a cui corrispondono rispettivamente 199,1 t/aa e 166 t/aa di CO₂ equivalente. Per quanto riguarda il carbonio fissato nei tessuti vegetali, il software ha stimato un quantitativo di 1390 t a cui corrispondono 5097 t di CO₂ equivalente.

Nella figura seguente sono mostrate le differenze con lo *scenario 0*:



	Scenario 0	Scenario 2
C lordo seq. [t/aa]	23,5	54,3
C netto seq. [t/aa]	19,5	45,2
C stoccato [t]	614	1390

Figura 5.30 – Confronto del C sequestrato e C fissato tra lo scenario 0 e 2

Il sequestro di carbonio è un processo che dipende da diversi fattori, tra cui la biomassa fogliare, la salute dell'albero, la dimensione ecc.... Focalizzandosi sulla biomassa, sono stati ottenuti valori inferiori in questo scenario rispetto allo *scenario 0*, però comunque è stato ottenuto un incremento di sequestro e immagazzinamento di carbonio. Ciò evidenzia il motivo per cui è stata scelta come specie il *Salix Babylonica*. Leggendo i valori della tabella in alto, si nota che sia il C sequestrato sia il C stoccato sono cresciuti più del doppio rispetto allo *scenario 0*.

Considerando questo beneficio si può dire che la forestazione delle aree, congiuntamente alla riduzione netta delle emissioni di gas a effetto serra in atmosfera, costituisce una delle strategie da prediligere per combattere i cambiamenti climatici.

5.4.3 Scenario 3 – unica specie (*Carpinus Betulus*)

L'inquinamento atmosferico nelle città è un problema critico in tutto mondo, in quanto questo ha effetti diretti sulla salute delle persone. Per ridurre le emissioni, l'azione più comune è quella di limitare il traffico motorizzato, però è bene sapere che ci sono altre fonti che contribuiscono in modo non indifferente alla produzione di inquinanti, in particolare l'agricoltura, l'industria, la combustione di legna (es. incendi) ecc....

Nella città di Torino si fa fatica a rispettare i limiti di concentrazione soprattutto per quanto riguarda tre inquinanti, il biossido di azoto, le polveri sottili e l'ozono (quest'ultimo è critico soprattutto nei mesi estivi);

“I dati rilevati nel 2017 confermano la nota criticità dell'area urbana torinese a rispettare i valori limite e obiettivo per la protezione della salute umana.” (Città Metropolitana di Torino) [34].

Un'altra strategia per ridurre l'inquinamento, oltre a limitare la circolazione veicolare, è quella di privilegiare lo sviluppo di parchi urbani, i quali grazie alla presenza di alberi offrono il miglioramento della qualità dell'aria.

Con lo *scenario 0*, è stata già provata la capacità di alberi e arbusti di rimuovere gli inquinanti, mentre con il presente scenario, *scenario 3*, si va a scegliere la specie che massimizza questo stesso servizio ecosistemico per poi mostrarne i confronti.

Il criterio di scelta della specie che massimizza la rimozione di inquinante è lo stesso scelto per lo *scenario 2*. Nella tabella seguente sono presenti le prime cinque specie più performanti:

Specie	Rimozione di inquinanti [kg/aa]				
	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	PM _{2,5}
<i>Carpinus betulus</i>	0,3041	1,2134	0,4958	0,1401	0,0286
<i>Aesculus hippocastanum</i>	0,2805	1,119	0,4573	0,1292	0,0264
<i>Tilia cordata</i>	0,2718	1,0845	0,4432	0,1252	0,0256
<i>Tilia tomentosa</i>	0,2709	1,081	0,4417	0,1248	0,0255
<i>Tilia platyphyllos</i>	0,2709	1,081	0,4417	0,1248	0,0255

Tabella 5.8 – Specie più performanti nella rimozione di inquinanti atmosferici

Dalla *tabella 5.8* risulta evidente che il *Carpinus Betulus* è la specie con valori maggiori per ciascun inquinante analizzato. Dopo aver modificato tutte le specie all'interno del progetto in Eco, è stata effettuata l'analisi, i cui risultati sono discussi qui di seguito.

Partendo dalla superficie fogliare di alberi e arbusti, rispetto allo *scenario 0*, è stato stimato un valore maggiore, mentre per quanto riguarda la biomassa fogliare il valore risulta inferiore. Il riepilogo di questi due risultati è visibile nella figura seguente:

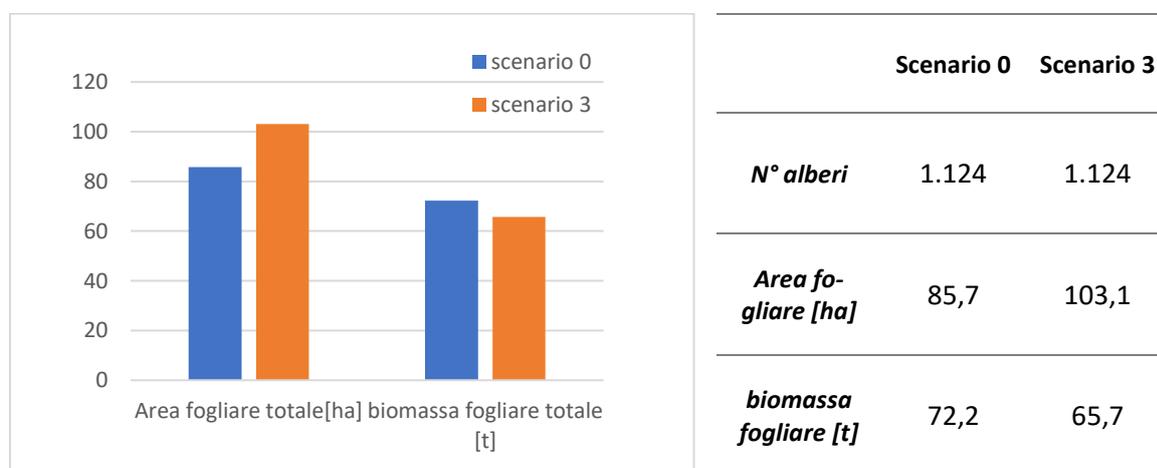


Figura 5.31 – Confronto dell'area e biomassa fogliare tra lo scenario 0 e 3

Il modello *UFORE* effettua la stima della deposizione oraria a secco degli inquinanti atmosferici sulle foglie, pertanto essendo aumentata la superficie fogliare, sicuramente sarà aumentata anche la rimozione di inquinante. Infatti, dai risultati riportati nella figura seguente, si nota come il *Carpinus Betulus* ha maggiorato questo S.E rispetto allo *scenario 0*.

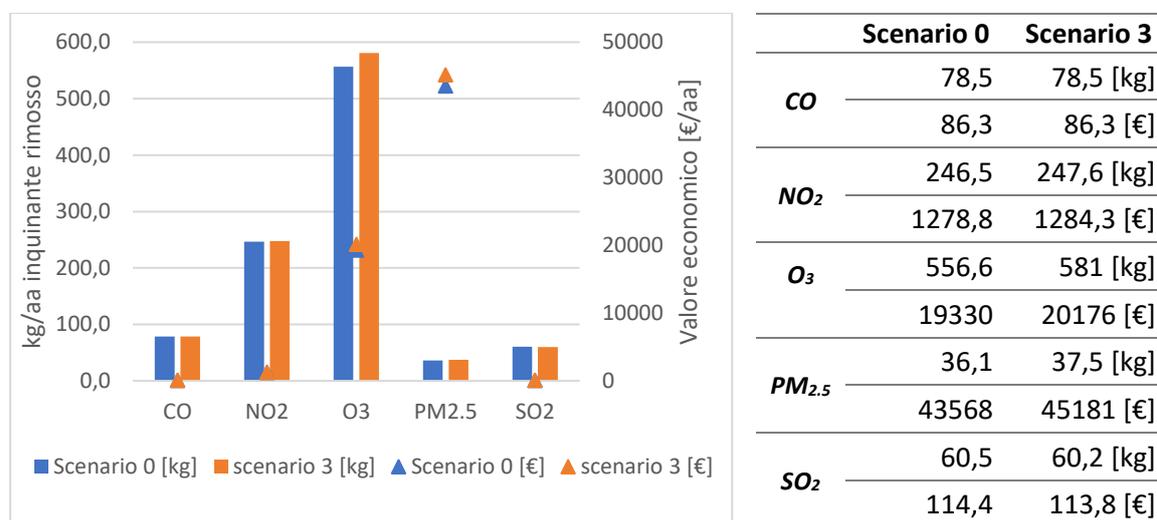


Figura 5.32 – Confronto tra inquinanti dello scenario 0 e quelli dello scenario 3 (quantità si riferite all'anno 2015)

Analizzando il grafico in *figura 5.32*, si osserva che per quanto riguarda il monossido di carbonio, il diossido di azoto e l'anidride solforosa, i quantitativi rimossi sono rimasti quasi uguali a quelli dello scenario reale, mentre per l'ozono e le polveri sottili c'è stato un piccolo aumento. In termini totali, per la presenza di alberi (tutti della specie *Carpinus Betulus*) e arbusti al parco Colonnetti, vengono rimossi 1005 kg/anno di inquinanti atmosferici, circa 25 kg/anno in più rispetto allo *scenario 0* (978 kg/anno).

Dai risultati ottenuti si può dedurre che non c'è un grande miglioramento della qualità dell'aria rispetto al caso reale, pertanto, non basta solo scegliere la specie più performante ma si dovrebbe aumentare anche la superficie di copertura arborea per ottenere differenze più importanti.

A proposito dei composti organici volatili biogenici emessi dal parco popolato da sole specie di *Carpinus Betulus*, i risultati hanno reso noto che questa specie è a bassa emissione. Questa caratteristica fa sì che il parco non contribuisca alla formazione di ozono troposferico che normalmente è prodotto da processi fotochimici tra *COVb* e ossidi come NO_2 .

I valori stimati per questo scenario sono riportati nella *figura 5.33* in cui si osserva che vengono prodotti solamente 3,7 kg di Monoterpene ogni anno, molto meno rispetto allo *scenario 0*.

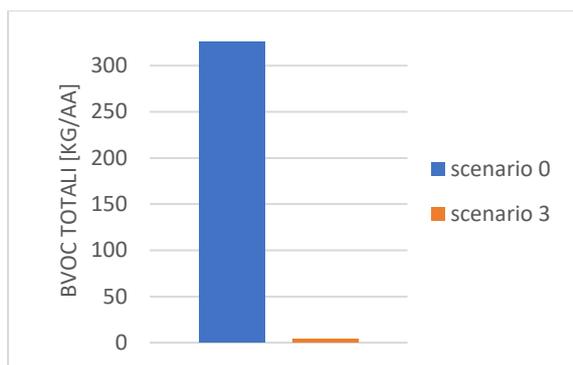


Figura 5.33 – Confronto COVb tra scenario 0 e 3

	Scenario 0	Scenario 3
Monoterpene [kg/aa]	209,2	3,7
Isoprene [kg/aa]	116,1	0
Tot. COVb [kg/aa]	325,3	3,7

Una conseguenza diretta dell'aumento della superficie fogliare è l'aumento della riduzione di deflusso evitato, infatti, il software per questo scenario, ha stimato che vengono trattenuti circa 1184 m³/anno rispetto ai 1080 m³/anno dello *scenario 0*.

A proposito del carbonio sequestrato e fissato dalla popolazione arborea costituita da soli individui di *Carpinus Betulus* sono stati stimati i seguenti quantitativi:

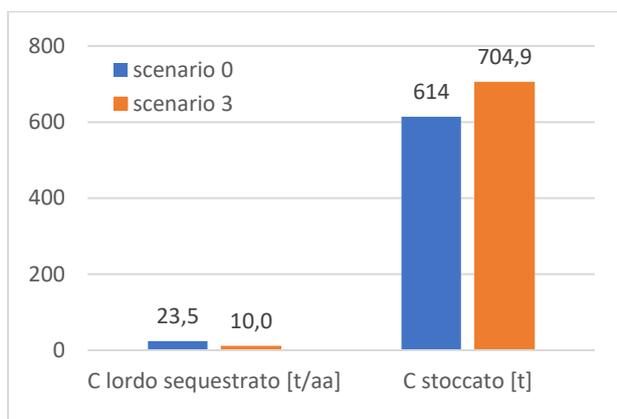


Figura 5.34 – Confronto del C sequestrato e C fissato tra lo scenario 0 e 3

	Scenario 0	Scenario 3
C lordo seq. [t/aa]	23,5	10
C netto seq. [t/aa]	19,5	5,5
C stoccato [t]	614	704,9

Osservando la *figura 5.34*, si nota che il carbonio lordo sequestrato è più che dimezzato passando da 23,5 t/aa dello *scenario 0* a 10,03 t/aa dello *scenario 3*. A questi valori corrispondono rispettivamente 86,4 e 36,8 t/aa di CO₂ equivalente. Considerando il fatto che gli alberi reimmettono una quota di carbonio in atmosfera tramite la respirazione e la decomposizione del legno morto, per questo scenario il C netto stimato è di 5,5 t/aa a cui corrispondono 20,4 t/aa di CO₂. Per quanto riguarda il carbonio fissato dai tessuti vegetali degli individui di *Carpinus Betulus*, si osserva che c'è stato un aumento di circa 90 t/aa rispetto allo *scenario 0*, raggiungendo 705 t/aa a cui corrispondono 2585 t/aa di anidride carbonica.

A valle dell'analisi di questo scenario, si può dire che scegliere la specie che massimizza un servizio ecosistemico in particolare può penalizzare la fornitura di altri benefici, come il C sequestrato in questo scenario.

Anche se non rappresenta la situazione reale, i risultati ottenuti restano comunque un riferimento per capire fino a che punto può migliorare la qualità dell'aria nel caso si scegliesse la specie più performante nella rimozione di inquinanti atmosferici.

5.4.4 Scenario 4 – assenza di arbusti

Il parco Colonnetti di Torino è caratterizzato dalla presenza di alberi e arbusti di varie specie in grado di fornire servizi ecosistemici che condizionano in meglio il microclima su scala locale. Poiché gli arbusti sono concentrati nella zona ovest del parco che rappresenta la parte meno curata, con l'obiettivo di migliorare l'estetica del parco, renderlo interamente fruibile e per conoscere come variano i benefici, lo *scenario 4* rappresenta la situazione in cui il parco Colonnetti è privo di arbusti. Questo scenario può essere considerato come un caso particolare dello *scenario 0*.

Dopo aver eseguito l'analisi su *Eco* senza arbusti, ovviamente il numero di alberi e le specie sono rimaste invariate rispetto allo *scenario 0*. Le prime tre specie per numero di individui restano la *Tilia platyphyllos*, il *Celtis australis* e il *Cedrus atlantica* con il 18.5, l'8.6 e il 6.9 % della popolazione arborea totale. Per quanto riguarda l'area e la biomassa fogliare, la stima del software ha restituito rispettivamente un valore di 49,1 ha e 46,5 t contro gli 85,7 ha e 72,2 t dello *scenario 0* con arbusti.

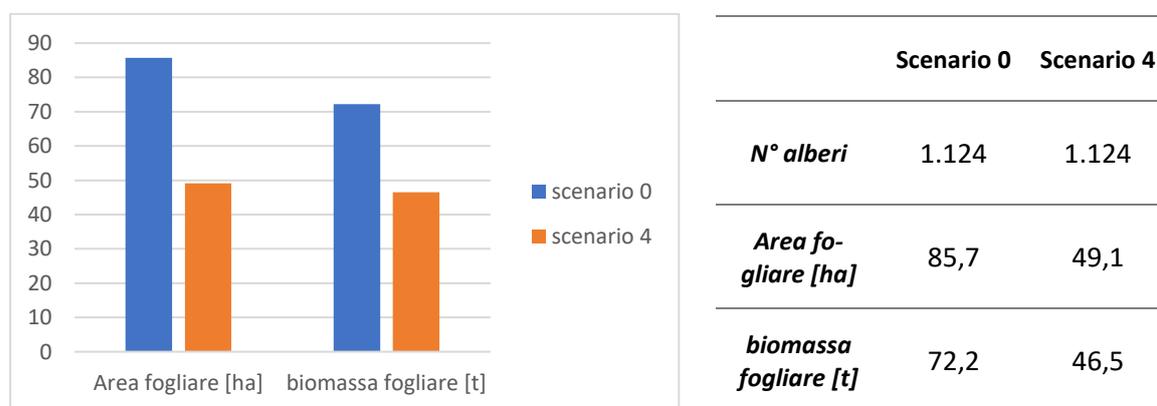


Figura 5.35 – Confronto dell'area e biomassa fogliare tra lo scenario 0 e lo scenario 4

Già dall'area fogliare e la biomassa fogliare rappresentate in dalla *figura 5.35* si può notare che c'è un importante differenza tra gli scenari. Ciò comporterà una differenza cospicua

anche per i servizi ecosistemici. Per gli inquinanti, poiché il software valuta la deposizione a secco sulle foglie, essendo diminuita l'area fogliare, diminuirà anche la rimozione.

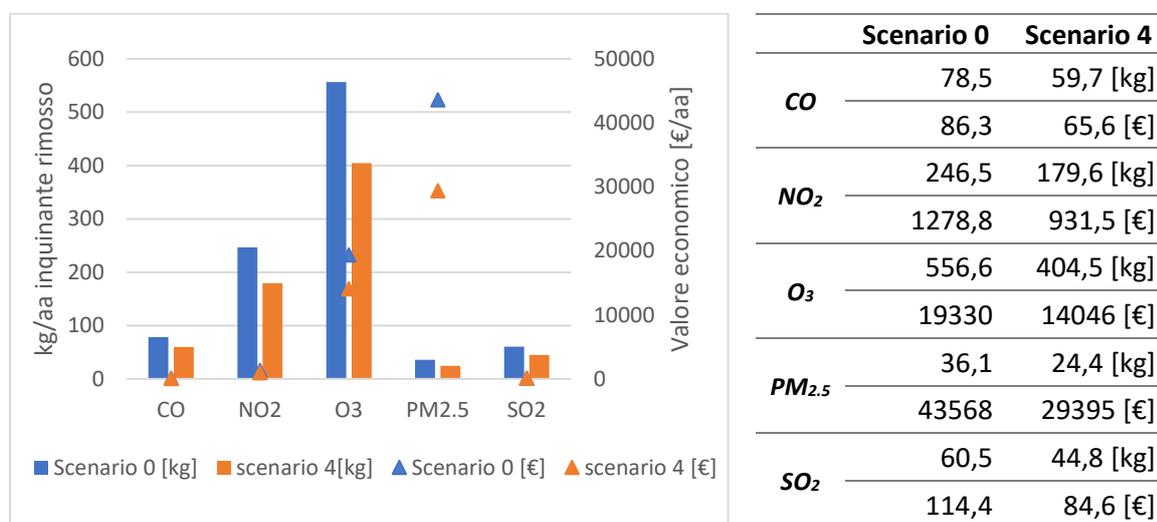
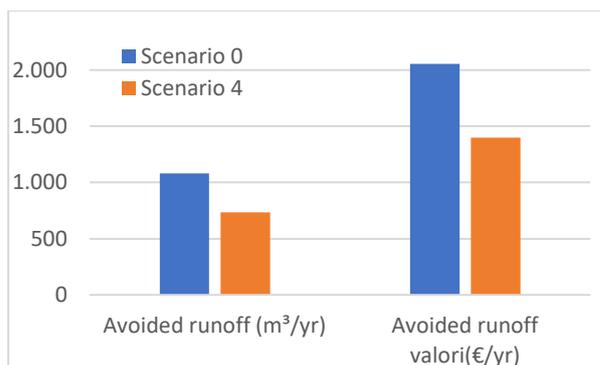


Figura 5.36 – Confronto tra inquinanti dello scenario 0 e quelli dello scenario 4 (quantità riferite all'anno 2015)

Dalla figura 5.36 è evidente il fatto che la mancanza di arbusti ha determinato la riduzione di ognuno degli inquinanti analizzati. Laddove ci sono valori più grandi, la differenza relativa è più grande, ad esempio nel caso dell'ozono. Considerando i valori economici, si riscontrano delle differenze importanti, soprattutto nel caso delle polveri sottili dato che il valore unitario è di 1205,4 €/kg. In termini totali, la rimozione di inquinante da parte della popolazione arborea secondo lo scenario 4 è di 713 kg/anno a cui è associato un valore economico di 44500 €/anno. Per lo scenario 0, invece, i valori sono maggiori, circa 980 kg/anno con il corrispondente valore economico di 64350 €/anno.

Per quanto riguarda i COVb, il software non fornisce in output informazioni sugli arbusti per lo scenario 0, ma solo dei grafici che mostrano le quantità emesse (vedi figura 5.22). Ciò vuol dire che in questo scenario, per quanto riguarda i quantitativi emessi solamente dagli alberi, si può far fede alla tabella 5.5.

La riduzione di deflusso superficiale è un servizio ecosistemico molto importante per le città, tuttavia, con questo scenario che omette gli arbusti si ottiene la riduzione del quantitativo di acqua trattenuto. In particolare, riferendosi direttamente al deflusso superficiale evitato, il valore stimato è di 735,4 m³/anno rispetto a 1080 m³/anno dello scenario 0 (vedi la figura seguente).



	Scenario 0	Scenario 4
Avoided runoff (m³/yr)	1080	735,4
Avoided runoff valori (€/yr)	2.055	1.398,8

Figura 5.37 – Confronto deflusso evitato tra scenario 0 e 4

Il carbonio sequestrato e stoccato dagli alberi per questo scenario è identico a quello dello *scenario 0*, pertanto si omette la rappresentazione.

Questo scenario ha dimostrato come la presenza di arbusti può incrementare notevolmente la fornitura di servizi ecosistemici a discapito della fruibilità in tutta l'area del parco.

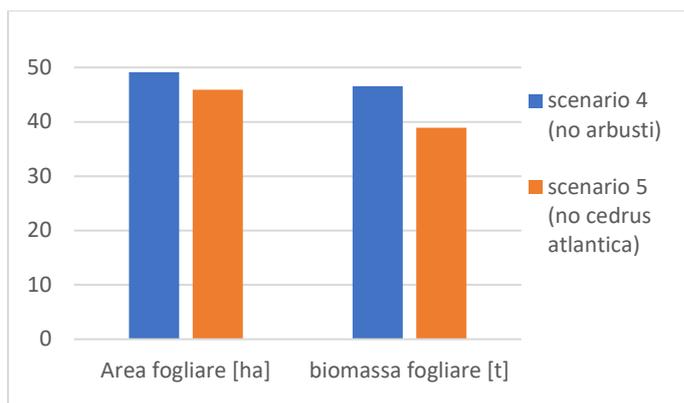
5.4.5 Scenario 5 – estinzione del *Cedrus Atlantica*

Il parco Colonnetti è ricoperto per il 33,2 % della sua estensione da alberi appartenenti a diverse specie arboree, con precisione 42. Tra queste specie, quelle con maggior numero di individui sono la *Tilia platyphyllos*, il *Celtis australis* e il *Cedrus atlantica*, che rispettivamente rappresentano il 18.5, l'8.6 e il 6.9 % della popolazione arborea totale.

Concentrandosi sul Cedro dell'Atlante (*Cedrus Atlantica*), è una specie appartenente alla famiglia delle Pinaceae e attualmente è in pericolo di estinzione; per tale motivo, questo scenario rappresenta la situazione in cui tutti gli individui di cedro sono morti, per poter mostrare come varierebbero i servizi ecosistemici. In questa situazione è esclusa anche la presenza di arbusti. Secondo quanto detto, si può considerare lo *scenario 5* come caso particolare dello *scenario 4* a cui mancano gli individui di *Cedrus atlantica*.

Per poter apprezzare le differenze tra scenari, vengono riportati solo i confronti più significativi tra i servizi ecosistemici.

Partendo dalla struttura e la composizione del parco, i risultati sono cambiati molto poco rispetto allo *scenario 4*, ma comunque si è registrata una riduzione del numero totale di alberi stimato da 1124 a 1046 individui. Per quanto riguarda l'area e la biomassa fogliare, il cedro ha un ruolo importante nello *scenario 4*, poiché occupa rispettivamente la quarta e la seconda posizione. Nella figura seguente sono mostrate le differenze:

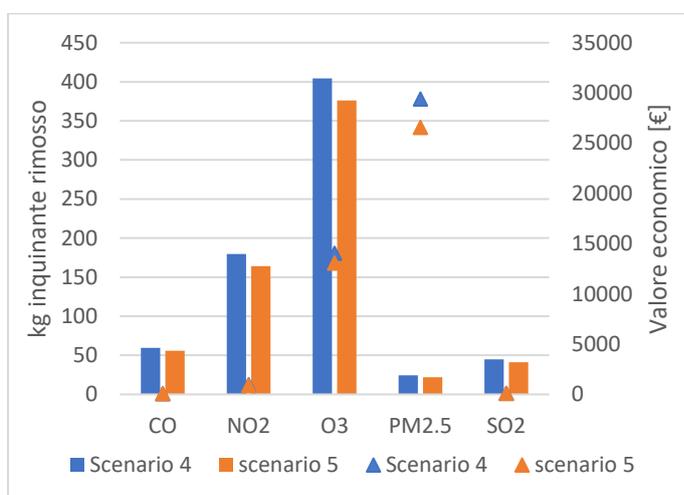


	Scenario 4	Scenario 5
N° alberi	1.124	1.046
Area fogliare [ha]	49,1	45,9
biomassa fogliare [t]	46,5	38,9

Figura 5.38 – Confronto dell'area e biomassa fogliare tra lo scenario 4 e 5

Dalla figura 5.38 è possibile osservare la differenza tra questo scenario e quello senza arbusti; come ci si poteva attendere, i valori relativi allo scenario 5 sono inferiori, seppur di poco, rispetto allo scenario 4.

Passando ad analizzare gli inquinanti atmosferici rimossi, dalla figura 5.21 dello scenario 0, si può osservare che il cedro dell'atlante è quarto, ciò significa che ha un ruolo non indifferente per questo servizio ecosistemico.



	Scenario 4	Scenario 5
CO	[kg] 59,7	55,7
	[€] 65,6	61,2
NO₂	[kg] 179,6	164,2
	[€] 931,5	851,7
O₃	[kg] 404,5	376,1
	[€] 14046	13062
PM_{2.5}	[kg] 24,4	22
	[€] 29395	26560
SO₂	[kg] 44,8	41,2
	[€] 84,6	77,8

Figura 5.39 – Confronto inquinanti tra scenario 4 e scenario 5 (quantità riferite all'anno 2015)

In figura 5.39 si osserva che la riduzione delle quantità rimosse riguarda ogni singolo inquinante, in particolare è maggiore per l'ozono e minore per le polveri sottili. In termini totali, secondo lo scenario 5 sono rimossi 660 kg/aa di inquinanti contro 713 kg/aa dello scenario 4.

Per quanto riguarda gli effetti idrologici, in particolare il deflusso superficiale evitato, si riscontra un valore di 680 m³/aa, circa 55 m³/aa in meno rispetto allo *scenario 4*; tale differenza è riportata nella figura seguente:

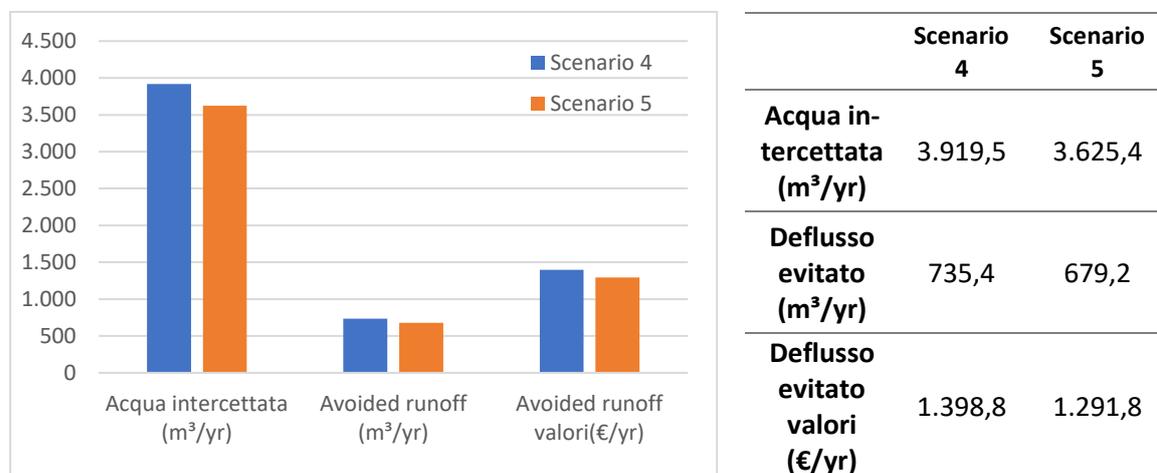


Figura 5.40 – Confronto dell'acqua intercettata dagli alberi e del runoff evitato tra lo scenario 4 e 5

Nel caso dei *COVb*, rispetto al caso precedente si sono ridotti di 20 kg, passando da 325 kg/aa a 305 kg/aa suddivisi in 189 kg/aa di monoterpene e 116 kg/aa di isoprene.

I valori di rimozione di CO₂ sono quasi identici allo *scenario 0*, pertanto si omette la rappresentazione grafica; lo stoccaggio e sequestro di C risulta essere rispettivamente 578 t e 22 t/aa nel caso presente, contro 614 t e 23,6 t/aa dello *scenario 0*.

In conclusione, si può dire che la specie estinta, pur rappresentando il 7% della popolazione arborea totale del parco Colonnetti, non ha causato perdite eccessive dei Servizi ecosistemici; si deve ricordare però, essendo una specie sempreverde, il *Cedro dell'Atlante* fornisce S.E durante tutto l'anno.

6. CONSIDERAZIONI FINALI

Grazie a questo lavoro incentrato sul tema dei servizi ecosistemici è stato dimostrato come un polmone verde immesso in una realtà urbana può fornire benefici multipli alla popolazione su scala locale. Negli ultimi anni è un tema molto discusso nel mondo, soprattutto perché la Terra è in uno stato profondo di crisi climatica dettata dall'aumento delle temperature e una delle strategie comuni per limitare i danni è quella di riforestare più aree possibili per massimizzare la rimozione dei gas a effetto serra presenti in atmosfera, come l'anidride carbonica. A proposito di ciò, nella dichiarazione finale del G20 di Roma (2021) è stato detto quanto segue:

“Riconoscendo l'urgenza di combattere il degrado del suolo e creare nuove vasche di assorbimento del carbonio, condividiamo l'obiettivo ambizioso di piantare collettivamente 1.000 miliardi di alberi, concentrandoci sugli ecosistemi più degradati del pianeta”.

Lo strumento utilizzato per la valutazione dei SE è la suite di software *i-Tree*, sviluppata dal servizio forestale degli Stati Uniti d'America ed in continua espansione nel mondo per la sua validità. Poiché la suite nasce per soddisfare le esigenze del territorio americano, non si adatta bene in tutto il mondo, infatti molti applicativi non possono essere utilizzati in altri paesi al di fuori degli USA. Per superare questo limite, sono state sviluppate applicazioni integrative che permettono l'utilizzo in tutto il mondo degli applicativi principali come *i-Tree Eco* e *Hydro*. Uno di questi integrativi è *Database* che permette di aggiungere nuovi dati sulla località, specie, precipitazioni e inquinamento per l'utilizzo di *Eco*. La procedura d'inserimento di nuovi dati risulta talvolta molto lunga, anche alcuni mesi, perché è necessaria la convalida da parte del team di *i-Tree*. Un altro applicativo integrativo, questa volta per *Hydro*, è *i-Tree Canopy* che fornisce stime abbastanza precise sulla copertura arborea. Il caso studio per cui sono stati valutati i SE riguarda il parco Colonnati di Torino situato in zona Mirafiori sud. Lo strumento della suite che è stato utilizzato in questo lavoro è *i-Tree Eco* e non è stato necessario utilizzare *Database* in quanto Torino è una località già presente nell'archivio dati. *Eco* a partire da input che riguardano dati di campo e ambientali è in grado di stimare la struttura del parco, i SE ambientali e i relativi valori economici.

Si è partiti analizzando i benefici forniti dal parco allo stato attuale, poi, sono state fatte delle variazioni in modo da poter considerare scenari futuri potenzialmente realizzabili o comunque che risultano interessanti. Il fatto di poter cambiare scenario (modificare i dati input) è molto importante perché ad esempio gli utenti possono capire quale è la situazione più favorevole tra tutte e prediligerla nel caso di una pianificazione territoriale.

I risultati riguardanti lo scenario attuale, *scenario 0*, hanno permesso di capire qual è la quantità e il valore economico associato per la rimozione di inquinanti (O_3 , NO_2 , SO_2 , CO , $PM_{2.5}$), il sequestro e lo stoccaggio di carbonio, la riduzione di deflusso superficiale e la produzione di ossigeno. *Eco* ha inoltre fornito il quantitativo di composti organici volatili biogenico emesso dalla vegetazione del parco Colonnetti, il quale rappresenta un disservizio ecosistemico. Attraverso questi risultati è stato dedotto che il parco ha un enorme valore ambientale per la comunità, pertanto, ogni persona deve contribuire a proteggere queste aree e a promuovere lo sviluppo di altre.

Nella valutazione di scenari diversi da quello attuale, in particolare per lo *scenario 1* che rappresenta il caso in cui non ci sono né alberi né arbusti e la copertura del suolo è costituita solamente da erba, è stato appurato che il software *Eco* non funziona in assenza di alberi. Ciò ha impedito di conoscere le differenze dei SE ecosistemici rispetto al caso principale, interessanti soprattutto per la riduzione di runoff. Oltre a questo limite, l'applicativo non fornisce nemmeno i risultati riguardanti la rimozione degli inquinanti divisi per specie, tuttavia, in questo caso è possibile ricavarli a partire da altri risultati forniti nella sezione report. Con il secondo scenario, per cui è stata scelta come unica specie quella che massimizza il sequestro di carbonio, ovvero il *Salix Babylonica*, sono emerse delle differenze importanti in termini di emissioni dei *COV* e ovviamente per la rimozione di carbonio. In particolare, sia i *COVb* che il sequestro e immagazzinamento di carbonio sono aumentati nello *scenario 2*. Lo *scenario 3*, scelto per massimizzare la rimozione di inquinanti atmosferici, ha dimostrato che nonostante la scelta della specie più performante, il SE non è migliorato molto, di conseguenza si può dire che adottare come unica strategia quella di scegliere la specie più performante per massimizzare un SE non è sempre la scelta migliore, ma se si aumenta anche la percentuale di copertura arborea, si possono ottenere benefici maggiori. Il quarto scenario, che rappresenta la situazione in cui il parco sia privo di arbusti, ha mostrato come i SE si riducono in modo considerevole in presenza di soli alberi. Tale situazione è stata considerata perché gli arbusti sono presenti perlopiù nella parte non curata del parco, quindi nell'ottica di rivalutare tutta l'area, sono stati omessi a discapito dei SE forniti. L'ultimo scenario, che rappresenta l'estinzione del *Cedrus Atlantica*, non ha manifestato enormi differenze in termini di fornitura di SE, tuttavia, resta un caso potenzialmente possibile in futuro.

Grazie a questo lavoro è stata compresa l'importanza del parco Colonnetti immerso nel contesto urbano, non solo per i servizi ecosistemici forniti, ma anche per il valore economico associato. È importante ricordare che i servizi ecosistemici considerati e quantificati

dal software rappresentano solo una parte di quelli realmente forniti dalla foresta urbana. Tra i SE non considerati ci sono ad esempio quelli sociali, culturali, o anche altri servizi ambientali come mantenimento/aumento della biodiversità, riduzione dell'isola di calore erosione del suolo, pollinazione, ecc...

Concludendo, nonostante sono stati riscontrati alcuni limiti, il software i-Tree è uno strumento potente che aiuta molto nelle pianificazioni delle aree verdi, le quali molto spesso sono operazioni critiche per lo sviluppo sostenibile delle città.

Ringraziamenti

Assieme a questo elaborato si conclude un percorso molto impegnativo iniziato qualche anno fà e che mi ha aiutato a crescere sia professionalmente che come persona.

Vorrei ringraziare alcune persone, in primis il mio relatore, il Professor Revelli Roberto, che oltre ad avermi fatto conoscere un nuovo argomento, mi ha aiutato con i suoi saggi consigli e guidato nella stesura dell'elaborato con molta pazienza e disponibilità.

Un ringraziamento particolare va al mio correlatore, Ing. Busca Francesco, una persona molto disponibile con la quale ho affrontato nel dettaglio tutti i problemi riscontrati nella stesura dell'elaborato. Grazie a lui, esperto sull'argomento della tesi, ho potuto svolgere l'attività di campo senza alcun problema.

Vorrei ringraziare anche tutti gli amici che mi sono stati vicini in questo percorso, perché anche grazie a loro ho potuto avere una “vita sociale”, ma soprattutto ho potuto giustificare il mio fuori corso!

Ringrazio la mia famiglia che ha creduto in me e ha sostenuto i miei studi, oltre al sostegno morale e insegnamento di vita che mi ha dato in tutti questi anni.

Ringrazio te, la persona che mi è più vicina nella vita e che mi ha trasmesso forza e coraggio nell'affrontare questo percorso, Mary.

Dedico questo elaborato anche ai miei nonni, presenti all'inizio del mio percorso universitario, che purtroppo non hanno potuto seguirmi fino alla fine.

Bibliografia

1. Aronson M.F., Handel S.N., La Puma I.P., Clemants S.E., 2015. Urbanization promotes non-native woody species and diverse plant assemblages in the New York metropolitan region. *Urban Ecosyst.* 2015, 18, 31–45
2. Berardi D., Borghini A., Gusmerotti N. M., Santolini R., Signori F., Traini S., 2017. Il capitale naturale: l'ambiente che vale. *Acqua 85*: 1-23, Ref Ricerche Milano
3. Braat L.C., De Groot R., 2012. The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1: 4-15
4. Broecker, W.S. 1970. Man's oxygen reserve. *Science* 168(3939): 1537-1538
5. Buffoni A., Toccafondi P., Pinzauti S. (2007) Progetto di fattibilità di un sistema del verde di mitigazione da inquinamento. Comune di Forlì
6. Burkhard, B., Maes, J., 2017. Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofia
7. Carius, F. (Ed.), 2012. Report of the International Expert Workshop, 13–16th December 2010. BfN/Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany.
8. Ceccon P., Fagnano M., Grignani C., Monti M., Orlandini S., Agronomia, Napoli, EdiSES S.r.l., 2017
9. Christie, M., Fazey, I., Cooper, R., Hyde, T., Deri, A., Hughes, L., Bush, G., Brander, L., Nahman, A., de Lange, W., Reyers, B., 2008. An Evaluation of Economic and Non-economic Techniques for Assessing the Importance of Biodiversity to People in Developing Countries. Defra, London
10. Comitato per lo Sviluppo del Verde, “Strategia Nazionale del Verde Urbano”
11. Commissione Europea, “Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse”, Unione Europea, Bruxelles, 20 settembre 2011
12. Convenzione sulla Diversità Biologica, CBD (2020). Sustaining life on Earth: How the Convention on Biological Diversity promotes nature and human well-being. Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CDB), Montreal, Canada
13. Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farberk S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Suttonk P e van den Belt M., “The value of the world's ecosystem services and natural capital”, 1997
14. Costanza R. (ed.), 1991. Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability. Columbia University Press, New York, NY, 525 pp.

15. Crossman, N.D., Bryan, B.A., 2009. Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multi-functionality. *Ecological Economics* 68, 654–668
16. Crossman, N.D., Bryan, B.A., Summers, D.M., 2011. Carbon payments and low-cost conservation. *Conservation Biology* 25, 835–845
17. Ehrlich P.R., Ehrlich A.H., 1981. *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House, New York, NY, 305 pp.
18. Ehrlich P., Mooney H., 1983. Extinction, substitution, and ecosystem services. *Bio Science*, 33: 248-254
19. Escobedo, F.J., Kroeger, T., Wagner, J.E., 2011. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution* 159, 2078–2087
20. European Environment Agency – EEA – 2002 - “Environmental Signals 2002 – Benchmarking the millennium” - Environmental Assessment Report n. 9
21. FAO, 2007. *The Global Environment Facility and Payment for Ecosystem Services. A review of current initiatives and recommendation for future PES support by GEF and FAO programs*. Gutman, P. & S. Davidson, WWF Macroeconomic for Sustainable Development Program Office, Report commissioned by FAO for Payment for Ecosystem Services from Agricultural Landscapes –PESAL project, PESAL Paper Series No.1 Rome
22. Farley, J., 2008. The role of prices in conserving critical natural capital. *Conservation Biology* 22 (6), 1399–1408
23. Farley, J., Costanza, R., 2010. Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecological Economics* 69, 2060–2068
24. Ferrini, F., 2006. *Forestare la città: ruoli e funzioni del verde urbano e periurbano*. Arboricoltura Tecnica, Aprile 2006
25. Haines-Young, R. and M.B. Potschin, 2018. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. Available from www.cices.eu
26. Harrison, P. A., Dunford, R., Barton, D. N., Kelemen, E., Martín-L’opez, B., Norton, L., Termansen, M., Saarikoski, H., Hendriks, K., G’omez-Baggethun, E., Czúcz, B., García-Llorente, M., Howard, D., Jacobs, S., Karlsen, M., Kopperoinen, L., Madsen, A., Rusch, G., van Eupen, M., Verweij, P., Smith, R., Tuomasjukka,

- D., & Zulian, G. (2018). Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach. *Ecosystem Services*, 29, 481-498. <https://doi.org/10.1016/j>.
27. Heal G. 2000. *Nature and the Marketplace: Capturing the Value of Ecosystem Services*. Washington, DC: Island. 203 pp.
 28. Istituto Nazionale di Statistica (Istat), *Rapporto Annuale 2020 - la situazione del paese*
 29. James, P., Tzoulas, K., Adams, M., Barber, A., Box, J., Breuste, J., Elmqvist, T., Frith, M., Gordon, C., Greening, K., 2009. Towards an integrated understanding of green space in the European built environment. *Urban Forestry & Urban Greening* 8, 65–75
 30. LeB. Hooke, R. Martin-Duque, J.E. and Pedraza, J., 2012, Land transformation by humans: a review, *GSA Today*, vol 22, issue12, 2012
 31. Leimona, B., 2011. *Fairly Efficient or Efficiently Fair: Success Factors and Constraints of Payment and Reward Schemes for Environmental Services in Asia*. Ph.D. Thesis. Wageningen University, The Netherlands, 163 pp
 32. Livi Bacci M., “Guardando al futuro. La questione dei 4 miliardi” in *Papeles de Poblaciòn*, v. 24, n. 96, agosto 2018
 33. McKinney, M.L., 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biol. Conserv.* 2006, 127, 247–260
 34. McPherson E. G., “Selecting Reference Cities for i-Tree Streets”, in *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 36, n. 5, pp. 230-240, settembre 2010
 35. *Millenium ecosystem assestment*, 2005
 36. Nowak D.J., 1996. Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees. *Forest Science*. 42(4): 504-507
 37. Nowak D.J.,(1998). Modelling the effects of urban vegetation on air pollution. *Air pollution modelling and its application*, 309-407
 38. Nowak D.J., Crane D.E. (2000) The Urban Forest Effect (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen M., Burk T. eds. *Intagrated tools for natural resources inventories in the 21st century: proceedings of the IU-FRO conference*, pp.714-720
 39. Nowak D. J., Crane D. E., 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381-389

40. Ogwal, S.F., Schultz, M., 2014. Co-Chairs Summary of Second Dialogue Seminar on Scaling up Finance for Biodiversity, Quito. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montrea 19–12 April 2014
41. Papanastasis, V.P., Bautista, S., Chouvardas, D., Mantzanas, K., Papadimitriou, M., Mayor, A.G., Koukioumi, P., Papaioannou, A., Vallejo, R.V., 2015. Comparative assessment of goods and services provided by grazing regulation and reforestation in degraded Mediterranean rangelands. *Land Degrad*
42. Randrup, T.B., Konijnendijk, C.C., Dobbertin, M.K., Prüller, R., 2005. The concept of urban forestry in Europe. In: Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B., Schipperijn, J. (Eds.), *Urban Forests and Trees: A Reference Book*. Springer, Berlin, pp. 9–21
43. Sanesi, G. e Laforteza, R-. 2002. Verde urbano e sostenibilità: identificazione di un modello e di un set di indicatori. Estratto da “Genio rurale ed estimo. Il Sole 24 Ore – Edagricole. Anno LXV nr. 9
44. Santolini, R., & Morri, E., 2017. Criteri ecologici per l’introduzione di sistemi di valutazione e remunerazione dei Servizi Ecosistemici (SE) nella progettazione e pianificazione. In: Arcidiacono, A., Di Simine, D., Oliva, F., Ronchi, S., Salata, S., (a cura di), *La dimensione europea del consumo di suolo e le politiche nazionali, CRCS Rapporto 2017, INU Edizioni, Roma, pp: 149-154*
45. S. Roy et al. / *Urban Forestry & Urban Greening* 11 (2012)
46. Simpson, J (1998, 4) Urban Forest impact on regional cooling and heating energy use: Sacramensto County case study *journal arboric*(24), 201-214
47. Smith, P., Cotrufo, M.F., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P.J., Elliott, J.A., McDowell, R., Griffiths, R.I., Asakawa, S., Bustamante, M., House, J.I., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., West, P.C., Gerber, J.S., Clark, J.M., Adhya, T., Scholes, R.J., Scholes, M.C., 2015. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *Soil* 1, 665-685
48. TEEB in Policy, 2011. In: ten Brink., P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*. Earthscan, London, Washington
49. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*
50. United Nations (2019). *World Population Prospects 2019, Methodology of the United Nations Population Estimates and Projections*

51. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019
52. Westman W.E., 1977. How much are nature's services worth? Measuring the social benefits of ecosystem functioning is both controversial and illuminating. *Science*, 197: 960-964
53. Wilson C.M., Matthews W.H., 1970. Man's Impact on the Global Environment: Report of the Study of Critical Environmental Problems (SCEP). MIT Press, Cambridge, MA, 319 pp.
54. Wunder, S., 2015. Revisiting the concept of payments for environmental services. *Ecological Economics* 117: 234-243
55. WWF (2020), lpr - Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland

Siti web

- [1] <https://www.carbonsink.it/it/strategie-di-sviluppo-sostenibile/carbon-neutrality> (ultima consultazione: 03/07/2021)
- [2] Il monito del giardino Uomo, città e alberi: un rapporto da ridisegnare www.ilmonito-delgiardino.it/index.php/home/bilanci-e-auspici/20-editoriale/138-uomo-citta-e-alberi-un-rapporto-da-ridisegnare (ultima consultazione: 03/07/2021)
- [3] www.unpopulation.org (ultima consultazione: 05/07/2021)
- [4] <https://www.overshootday.org/appeal-2021/> (ultima consultazione: 05/07/2021)
- [5] <https://www.footprintnetwork.org/2021/01/14/highlights-from-2020/> (ultima consultazione: 15/09/2021)
- [6] <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/> (ultima consultazione: 05/07/2021)
- [7] <https://www.isprambiente.gov.it> (ultima consultazione: 10/07/2021)
- [8] https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/eea_it (ultima consultazione: 20/07/2021)
- [9] <https://cices.eu/> (ultima consultazione: 22/07/2021)
- [10] <https://www.minambiente.it/notizie/ipbes-invita-esperti-di-relazioni-tra-zoonosi-e-biodiversita-presentare-la-propria> (ultima consultazione: 22/07/2021)
- [11] <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/territorio2020/Rapportoterritorio2020.pdf> (ultima consultazione: 26/07/2021)
- [12] <http://www.comune.torino.it/verdepubblico/patrimonioverde/verdeto/> (ultima consultazione: 28/07/2021)
- [13] https://it.wikipedia.org/wiki/Parco_Colonnetti (ultima consultazione: 28/07/2021)
- [14] <http://www.comune.torino.it/circ10/altrerisorse/parcocolonnetti/> (ultima consultazione: 05/08/2021)
- [15] <https://www.itreetools.org/about> (ultima consultazione: 03/09/2021)
- [16] ww.epa.gov/climate-indicators (ultima consultazione: 13/09/2021)
- [17] <https://www.itreetools.org> (ultima consultazione: 08/10/2021)
- [18] <https://it.wikipedia.org/wiki/Albedo> (ultima consultazione: 02/09/2021)
- [19] <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (ultima consultazione: 03/09/2021)
- [20] https://it.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values (ultima consultazione: 03/09/2021)
- [21] https://it.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Access (ultima consultazione: 03/09/2021)
- [22] <https://cices.eu/cices-structure/> (ultima consultazione: 03/08/2021)

- [22] https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_internazionale_di_unità_di_misura (ultima consultazione: 04/09/2021)
- [23] https://it.wikipedia.org/wiki/Stazione_meteorologica_di_Torino-Bric_della_Croce (ultima consultazione: 05/09/2021)
- [24] <https://www.treccani.it/enciclopedia/ecosistema> (ultima consultazione: 16/09/2021)
- [25] <http://www.grabs-eu.org/> (ultima consultazione: 18/09/2021)
- [26] <https://architetturaedefficienzaenergetica.it/cool-roof/> (ultima consultazione: 18/09/2021)
- [27] <https://www.arpa.vda.it/it/aria/1-inquinamento-atmosferico/2536-il-particolato-atmosferico> (ultima consultazione: 18/09/2021)
- [28] <https://doc.arcgis.com/it/insights/latest/analyze/spatial-references.htm> (ultima consultazione: 20/09/2021)
- [29] Comune di Torino, relazione sul bilancio arboreo. Allegato 1. Anni rif. 2016-2021 (ultima consultazione: 30/07/2021)
- [30] <https://www.arera.it/it/dati/eep35.htm#> (ultima consultazione: 28/09/2021)
- [31] <http://www.brunorigroup.it/news.asp?idnews=13> (ultima consultazione: 28/09/2021)
- [32] <https://www.sendeco2.com/it/prezzi-co2> o <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/> (ultima consultazione: 28/09/2021)
- [33] https://annuario.isprambiente.it/sys_ind/232 (ultima consultazione: 5/10/2021)
- [34] <https://www.torinorespira.it/andamento/> (ultima consultazione: 4/11/2021)