



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA.
SCUOLA POLITECNICA
DIPARTIMENTO ARCHITETTURA E DESIGN

Corso di laurea in:
Progettazione delle aree verdi e del paesaggio

Foresta urbana di Milano struttura ,effetti e valori dei servizi ecosistemici

Simone Patti
matricola 4374767
Relatrice: Prof.ssa Ilda Vagge

12-2018

Anno accademico 2017-2018

Ringraziamenti:

Portare a compimento questo lavoro è stato un processo che ha richiesto lunghi mesi di studio e preparazione.

E' doveroso da parte mia ringraziare le persone che mi hanno dato la possibilità di svolgere questo percorso che si è rivelato particolarmente formativo.

All'arch. Paola Viganò e allo staff del dipartimento Area Verde Agricoltura e arredo urbano un sentito ringraziamento per, con grande lungimiranza riguardo al tema, aver promosso e seguito con interesse lo studio svolto e per avermi concesso l'utilizzo dei dati necessari al modello.

A MIAMI s.c.a r.l e in particolare alla dott.sa Laura Pinchioli e all'arch. Anna Privitera per i continui feedback rilasciati, il supporto che mi hanno dimostrato e la responsabilità affidatami.

Alla professoressa Vagge Ilda, che per la seconda volta ha accettato di essere mia relatrice e seguirmi durante il processo di stesura di questa tesi.

Infine alla mia famiglia e compagna per avermi spronato a stringere in denti anche nei momenti più difficili e andare avanti verso la fine di un percorso scolastico che dura ormai da 20 anni.

“Mai come oggi l'uomo che vive in Paesi industrializzati sente la mancanza di «natura» e la necessità di luoghi: montagne, pianure, fiumi, laghi, mari dove ritrovare serenità ed equilibrio; al punto che viene da pensare che la violenza, l'angoscia, il malvivere, l'apatia e la solitudine, siano da imputare in buona parte all'ambiente generato dalla nostra civiltà”.

— Mario Rigoni Stern

Sommario

Ringraziamenti:	1
Abstract	7
Introduzione.....	9
Approccio al verde in urbanistica.....	10
I Servizi Ecosistemici.....	12
Funzioni ambientali	15
I Servizi socio-culturali.....	17
I servizi economici	18
Perché valutare i servizi ecosistemici.....	18
Il modello UFORE	21
UFORE A.....	21
UFORE B.....	23
UFORE C.....	26
Sequestro di carbonio e crescita degli alberi in ambiente urbano.....	27
UFORE D	28
UFORE E	31
Il verde di Milano	35
Procedimento operativo ed I-Tree eco	36
Impostazione del progetto	37
Utilizzo di aree di saggio casuali	38
Inventario completo	39
Preparazione dei dati necessari	39
Piovosità e Inquinanti dell'aria	40
Compilazione dei dati mancanti	41
Compilazione database I-Tree eco	41
Raccogliere i dati in campo	42
Dati necessari.....	42
Raccolta Dati	43
Valori monetari.....	44
Tree cover e I-tree Canopy	45

Risultati	47
Caratteristiche della foresta urbana di Milano	47
Dimensioni degli alberi	49
Area fogliare	51
Tree cover	55
Valori Ecosistemici	56
Inquinanti dell'aria	56
Stoccaggio e sequestro di Carbonio.	59
Runoff idrico evitato.....	61
Ossigeno prodotto.....	62
Valore Strutturale	62
Conclusioni.....	63
Indice delle Figure.....	67
Bibliografia	69

Abstract

Utilizzando il software I-TREE Eco, sviluppato dallo USDA Forest Service Northern Research Station, si è provveduto ad analizzare la foresta urbana del Comune di Milano. Sono stati utilizzati i dati provenienti dal database di R3-TREE sugli alberi gestiti dall'appalto di manutenzione del verde pubblico del Global Service.

Il modello ha richiesto dati di piovosità e di inquinamento su base oraria, che sono stati ottenuti dalle stazioni di rilevamento ARPA Lombardia presenti all'interno del comune di Milano.

Attraverso l'uso di I-TREE Eco si è potuto approfondire la conoscenza sulla struttura della foresta urbana e sui benefici ecosistemici che essa fornisce alla città. I servizi ecosistemici sono stati quantificati e valutati monetariamente.

Lo studio è stato voluto fortemente dal dipartimento "Aree Verdi, Agricoltura e Arredo urbano" del comune di Milano e svolto in collaborazione con la ditta appaltatrice del Global Service MIAMI s.c.a r.l. durante il mio periodo formativo di tirocinio.

I risultati ottenuti sui benefici ecosistemici sono stati pubblicati su una pagina dedicata nel SIT del comune di Milano, un servizio WFS aperto ad ogni cittadino che consente di conoscere i benefici ecosistemici apportati da ogni singolo albero censito

Il lavoro svolto è stato suddiviso in una prima parte teorica, in cui sono stati citati i servizi ecosistemici e il funzionamento del modello di studio Utilizzato.

Nella seconda parte è stato spiegato il processo utilizzato per svolgere il lavoro e la raccolta dei dati necessari al funzionamento del modello. Infine sono stati analizzati i risultati ottenuti.

Introduzione

A livello globale la popolazione umana sta crescendo, si stima che nel 2050 raggiungerà quota 9 miliardi di persone, contemporaneamente, a causa di complesse interazioni sociologiche, economiche e culturali anche la ripartizione tra abitanti delle zone rurali e delle città sta cambiando. Le popolazioni infatti si stanno spostando verso le città data la sempre minor richiesta di manodopera nelle campagne causata dall'aumento della meccanizzazione agricola, recentemente la quota di abitanti nelle aree urbane ha superato quella delle campagne per la prima volta nella storia.

Le città sono quindi sottoposte ad una enorme sfida, accogliere più persone di quante già non ci vivano e nel frattempo mantenere una buona qualità di vita per i cittadini, se non addirittura migliorarla.

Sebbene ogni città debba affrontare problemi specifici per le sue condizioni storiche, culturali, geografiche ecc., tutte devono interfacciarsi con problemi comuni come: La qualità dell'aria, gli alti volumi di traffico, la gestione delle acque e lo smaltimento dei rifiuti, la realizzazione e manutenzione delle aree verdi e il controllo dello sviluppo urbano. Tutti questi problemi devono essere affrontati con politiche di breve e lungo termine contestualizzate in un momento di forti cambiamenti climatici ormai verificati.

Uno degli elementi strategici su cui puntare per migliorare la qualità della vita in città è rappresentato senza dubbio dal verde urbano e peri-urbano inteso come l'insieme delle componenti biologiche che concorrono a determinare l'impronta funzionale e paesaggistica di un centro abitato in equilibrio ecologico col territorio, esso è un vero e proprio sistema complesso, formato da un insieme di superfici e di strutture vegetali eterogenee, in grado di configurarsi come un bene di interesse collettivo e come una risorsa multifunzionale per la città e per i suoi abitanti.

Tutti questi ambiti incidono fortemente sulla qualità della vita delle persone, sull'economia e sullo sviluppo delle città. In particolare il verde urbano non va visto prettamente come arredo ma nel suo complesso fornisce una numerosa serie di servizi al cittadino, che possono contribuire a ridurre vari problemi ambientali.

“L'ecosistema naturale, costituito dagli spazi verdi urbani e dagli agroecosistemi è un capitale prezioso che la città costruita incorpora in sé stessa; una buona gestione ambientale della città non può trascurare questo patrimonio e soprattutto non può prescindere dalla sua natura di ecosistema (Chiesura, 2007)

Le persone spesso sono inconsapevoli dei molti benefici che ottengono quotidianamente dagli alberi che spesso ignorano. Capire la struttura, le funzioni e il valore degli alberi in città può aiutare i cittadini a diventare più consapevoli e coinvolti con l'ambiente che li circonda.

Senza queste conoscenze parchi e verde rischiano di essere considerevolmente sottovalutati.

”

Approccio al verde in urbanistica

Negli anni 60 In Italia dopo un periodo di urbanizzazione incontrollata, dettata dal boom economico e che stava portando ad un’espansione disorganizzata delle città, si sentì l’esigenza di imporre dei vincoli all’edilizia incontrollata per ridurre la creazione di spazi e periferie degradate e senza servizi, di città disorganizzate e che non permettevano una buona qualità di vita occupandosi delle esigenze primarie dei suoi cittadini. Venne promulgato il D.L 1444/68 che ispirandosi ai pensieri dell’urbanistica razionalista dei primi anni del 900 introdusse il concetto di spazio minimo da dedicare ai servizi, verde incluso, e al miglioramento della qualità della vita urbana (Ferrini, 2006).

Il verde pubblico diventa quindi uno Standard Urbanistico che deve essere rispettato come rapporto minimo rispetto al costruito. La logica iniziale, seppur con intenzioni nobili ha tuttavia portato a ragionare sulle aree verdi in termini meramente quantitativi, tralasciando tuttavia l’aspetto qualitativo delle aree verdi, che non ha sempre mantenuto standard accettabili (Sanesi & Laforteza, 2002).

Nel corso degli anni quindi sono stati sviluppati numerosi indicatori e parametri per valutare la quantità di verde urbano, è stato tralasciato di analizzare il verde come sistema di organismi viventi parte e generatore di cicli biogeochimici e di processi trofici ed ecologici. Sono quindi assenti indicatori di qualità ambientale ed ecologica degli spazi verdi, che invece contribuirebbero a valorizzare il ruolo della vegetazione per la sostenibilità urbana. Nonostante i molteplici benefici associati al verde, come visto in premessa la situazione a scala nazionale mostra ancora delle criticità. La fotografia che emerge è quella di un Paese in cui il verde urbano è gestito prevalentemente sul piano tecnico e prescrittivo più che come risorsa strategica per orientare alla qualità e alla resilienza le politiche di sviluppo locale. Questo ritardo è dovuto probabilmente anche al vuoto che per anni ha caratterizzato il panorama legislativo nazionale in tema di verde urbano. (Comitato per lo sviluppo del verde pubblico, 2017)

Tuttavia negli ultimi anni con una maggior sensibilità della popolazione e delle amministrazioni alle tematiche ambientali sta avvenendo una inversione di tendenza. Con la legge 10/2013 si è presa una giusta direzione attuando una norma nazionale che promuove tutta una serie di misure locali di sensibilizzazione pubblica, ma non solo, anche l’aumento delle aree verdi, la tutela degli alberi monumentali e la proposta di realizzare un Piano nazionale sul verde.

Sebbene inferiori ai bisogni, gli investimenti destinati alla realizzazione di opere a verde non sono mancati e, con sempre maggiore frequenza rispetto al passato, si vanno avviando

opere di recupero ambientale in aree degradate ma anche nuove realizzazioni in ambito pubblico e privato (atti d'obbligo post edificazione); i risultati che si conseguono, tuttavia, non sempre corrispondono alle aspettative e il rapporto tra i benefici e i costi sostenuti è ancora basso. I fattori che possono avere influito su questo stato di cose possono essere ricercati:

- nella mancanza di una corretta pianificazione dello sviluppo delle città che individui, avvalendosi di figure professionali competenti, le aree più idonee da destinare a verde;
- nell'assenza di corrette regole di progettazione che tengano conto, oltre che dei necessari aspetti estetici, anche di quelli pedologici, microclimatici, ambientali, agronomici, fitosanitari e biologici del contesto in cui si opera;
- nell'inesistenza in molte città di strutture stabili e di risorse economiche proporzionate alle esigenze e tecnicamente idonee a garantire una continua manutenzione e il rinnovamento del verde esistente;
- nella concorrenza con altre esigenze considerate dagli amministratori locali come prioritarie e dettate dalla necessità di reperire aree per parcheggi, viabilità e per altri servizi;
- nell'assenza di una incisiva politica educativa capace di sensibilizzare il cittadino medio al rispetto del patrimonio ambientale, e del verde pubblico in particolare, nonché di fornire ad ognuno una base conoscitiva su quelle che sono le principali e semplici regole di progettazione e manutenzione del verde privato. (Comitato per lo sviluppo del verde pubblico, 2017)

Per sottolineare l'attualità e l'importanza del tema a maggio 2018, promossa dalla legge 10/2013 è stata presentata a Novara la "Strategia Nazionale del Verde Urbano". Tale strategia si pone come obiettivi la realizzazione di un piano nazionale per determinare i criteri e linee guida per: La realizzazione di aree verdi permanenti intorno ai maggiori centri abitati e di filari alberati lungo le strade. Il rinverdimento delle pareti e dei lastrici solari. La Creazione di giardini e orti. E la riqualificazione dell'edilizia e degli spazi pubblici.

La STRATEGIA non prende in esame esclusivamente il verde "esistente e tradizionale" interno alle città ma, in linea con le richieste del legislatore, propone soluzioni innovative integrate e sistemiche che, partendo dal miglioramento della funzionalità dei servizi ecosistemici, richiedono apporti necessariamente multidisciplinari. (Comitato per lo sviluppo del verde, 2018).

Per raggiungere questi obiettivi, è emersa chiaramente nel corso dell'edizione degli "Stati generali del Verde Urbano", l'esigenza di ridurre le aree asfaltate, aumentare la superficie da destinare a nuovi modelli strutturali e funzionali di particolare valore ecologico e adottare le "foreste urbane", come riferimento per la pianificazione e la progettazione dei diversi sistemi di verde urbano.

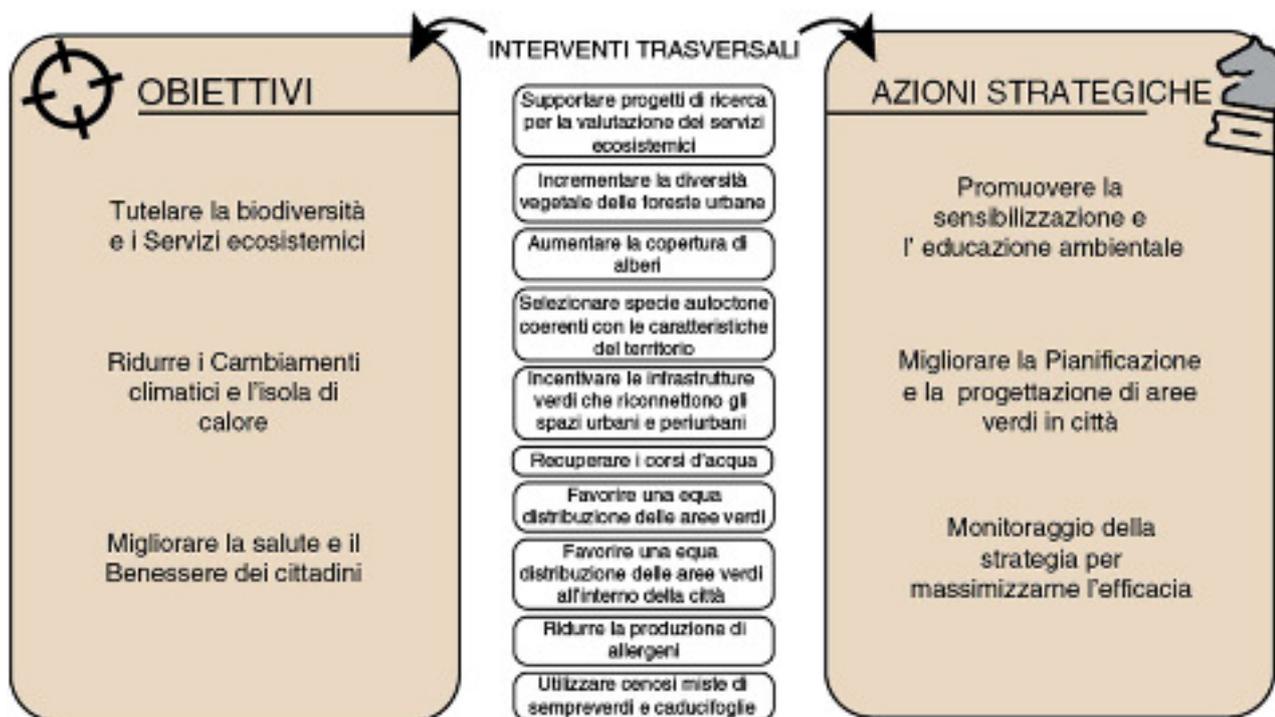


Figura 1 - Schema delle principali azioni e obiettivi proposti dalla Strategia nazionale del Verde Urbano. Come si può vedere gli interventi sono strettamente correlati tra di loro

Questa nuova visione rigorosamente legata alla conoscenza qualitativa e quantitativa dei servizi ecosistemici punterà sulla promozione e valorizzazione delle infrastrutture verdi e, più in generale, della resilienza urbana. Si tratta di una visione trasversale che informa le politiche e gli orientamenti strategici in diversi campi: ambiente (uso efficiente della risorsa suolo, controllo deflusso idrico superficiale e dissesto idrogeologico (EEA, 2011).

I Servizi Ecosistemici

Per quanto possa essere tecnologicamente avanzato l'uomo vive e si interfaccia all'interno di sistemi naturali che agiscono a varie scale. I cicli Biogeochimici idrologici e ambientali interferiscono sulla qualità della vita umana, l'uomo inoltre utilizza i sistemi

naturali non solo per svolgere attività economiche come l'estrazione di risorse, l'uso del suolo per l'edilizia ecc., ma anche per soddisfare bisogni non economici che vanno da quelli fisiologici di base come respirare, nutrirsi e bere; a bisogni considerati secondari ma che influiscono notevolmente sulla qualità della vita: svago, movimento fisico, interazione sociale, e benessere psicologico. Non solo gli ecosistemi contribuiscono direttamente a migliorare il livello ambientale dei posti in cui viviamo: L'ossigeno che respiriamo, stoccaggio di carbonio, trattenimento dell'acqua, impediscono l'erosione dei suoli, riducono le isole di calore e filtrano gli inquinanti dall'aria. Questi sono solo alcuni dei molteplici servizi che gli ecosistemi ci offrono e spesso vengono dati per scontati.

Un approccio sistematico ed olistico, che considera più attentamente il legame tra ambiente, società ed economia aiuterebbe a valutare più precisamente il valore di questi servizi e diventerebbe uno strumento utile per l'attuazione di politiche di preservazione e miglioramento dell'ambiente più efficace.

La teoria dei servizi ambientali o servizi ecosistemici si è sviluppata negli ultimi decenni all'interno della corrente dell'economia ecologica e raccoglie i contributi di ecologici, sociologici ed economisti che hanno elaborato teorie e tecniche per l'analisi e la valutazione dei molteplici beni e servizi forniti dagli ecosistemi naturali "gratuitamente" alla società (Bingham & et al., 1995) (Bolund & Hunhammar, 1999) (Costanza, Perrings,

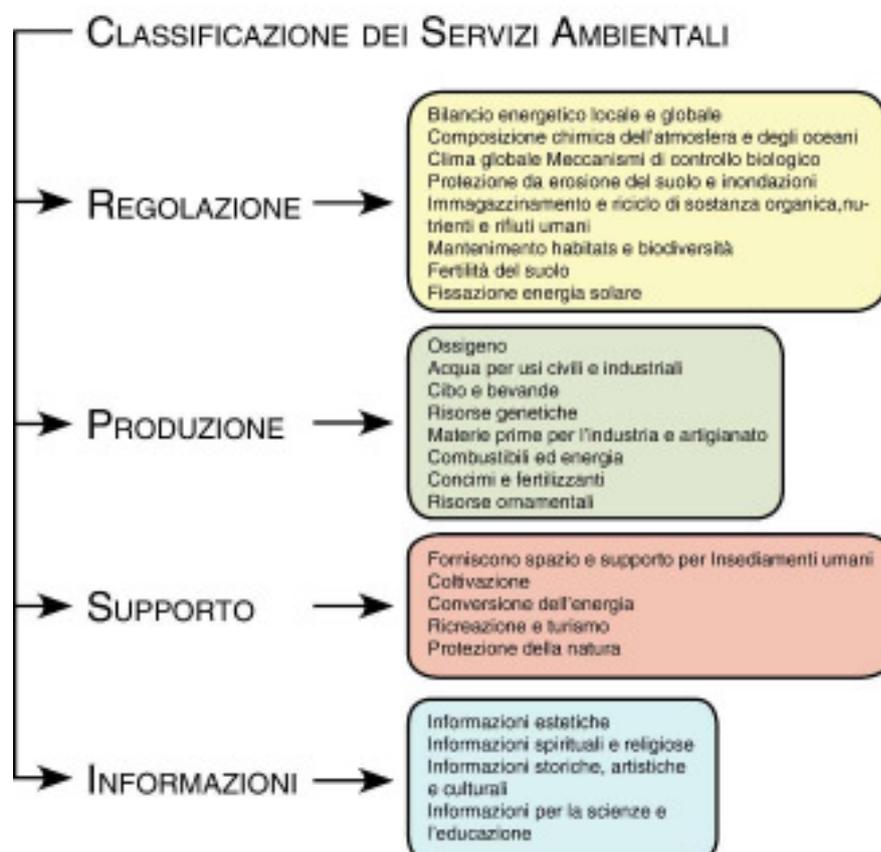


Figura 2 - Classificazione dei servizi ambientali secondo De Groot 1992 e alcuni esempi

& Cleveland, 1997).

Daily li definisce come “le condizioni e i processi attraverso i quali gli ecosistemi naturali e le specie che li compongono sostengono e soddisfano la vita umana” (Daily, 1997).

(Costanza R. R., 1997) invece li definisce come “I benefici che le popolazioni umane derivano, direttamente o indirettamente, dalle funzioni degli ecosistemi, le quali funzioni rappresentano proprietà e processi degli ecosistemi stessi”.

(De Groot, 1992) Estrapola dall'enorme complessità ecologica di processi e strutture degli ecosistemi un numero limitato di funzioni ecosistemiche definite come la capacità dei processi naturali di fornire beni e servizi che soddisfano i fabbisogni umani. Le funzioni vengono suddivise in quattro funzioni: di regolazione (che si occupano di mantenere in omeostasi i processi necessari a mantenere la vita sulla terra), di Produzione (che si occupano di produrre i substrati necessari a sostenere lo sviluppo e la riproduzione degli esseri viventi. Di supporto e informazioni recepibili dall'uomo per lo svolgimento delle sue attività produttive ma anche estetico, mentali e ricreative.

Anche la natura presente in città merita il riconoscimento di ecosistema vero e proprio. Spesso l'ecosistema urbano è sottoposto a interazioni e scambi con altre matrici ambientali in misura anche maggiore rispetto agli ecosistemi naturali. L'ecosistema urbano e in particolare il verde urbano va tuttavia analizzato tenendo conto che le funzioni ecosistemiche sono fortemente influenzate da una così preponderante presenza delle attività umane. Altri autori utilizzano quindi la seguente classificazione (VV., 1997):

- Funzione ecologica-ambientale: Le aree antropiche influenzano fortemente l'ambiente circostante, il verde presente all'interno delle aree urbane svolge un importante effetto tampone per mitigare al degrado urbano, l'inquinamento dell'aria, la regolazione del microclima e l'abbattimento del rumore.
- Funzione igienico sanitaria: la presenza di alcune piante balsamiche favorisce il recupero psicologico delle persone ed in alcuni casi anche il recupero fisico. Alcune specie sono fortemente consigliate in prossimità degli ospedali. (Kaplan & Kaplan, 1989)
- Funzione Protettiva: il Verde contribuisce alla tutela e al mantenimento del territorio (Argini dei fiumi, frane, dissesti)
- Funzione sociale e ricreativa: soprattutto in aree molto urbanizzate e densamente abitate la presenza del verde è un aspetto molto sentito dalla popolazione. Parchi e aree gioco soddisfano l'esigenza delle persone di socializzare e divertirsi, oltretutto un'attenta gestione del verde favorisce la formazione di posti di lavoro.
- Funzione culturale e didattica: La presenza del verde costituisce un elemento di grande importanza sensibilizzando la popolazione al rispetto del patrimonio naturale e contribuendo alla crescita di un miglior senso civico.

- Funzione estetico-architettonica: la presenza di un piano del verde, accurato e ben gestito migliora l'aspetto del paesaggio urbano rendendo più gradevole la permanenza in città.

Nei seguenti paragrafi verranno approfonditi nel dettaglio i servizi offerti dal verde in città:

Funzioni ambientali

Di notevole importanza per il dibattito pubblico attuale sono i servizi ambientali, strettamente legati alla sostenibilità dei servizi Sociali ed Economici. In un periodo di cambiamenti climatici accertati il verde pubblico può aiutarci a contrastare gli inquinanti delle città:

In particolare tra i servizi ambientali troviamo:

- Rimozione degli inquinanti atmosferici e miglioramento della qualità dell'aria: Il verde urbano contribuisce alla rimozione degli inquinanti dell'aria. Gli inquinanti maggiormente sottratti all'atmosfera sono il Particolato sospeso (PM₁₀, PM_{2.5}) il biossido di azoto (NO₂), il biossido di zolfo (SO₂) e l'Ozono (Buffoni & Siena, 2007). La velocità e il tasso di rimozione degli inquinanti dipende dalla copertura vegetale, dalle piogge e dalla velocità dell'aria che influenzano il tasso di deposizione delle particelle. La vegetazione con il suo fogliame contribuisce quindi a migliorare la qualità dell'aria. Questo è un aspetto fondamentale per le maggiori città italiane. Il 17 Maggio 2018, infatti, è stato contestato all'Italia dalla Commissione Europea il superamento dei valori soglia di particolato nell'aria per 35 giorni in 28 aree del territorio nazionale, soprattutto in regione come Lombardia, Veneto, Piemonte e Lazio. Il superamento delle soglie previste può portare lo stato a dover pagare pesanti sanzioni, fondi che sicuramente sarebbero meglio gestiti in un'ottica di prevenzione.

Gli studi hanno evidenziato come le piante sempreverdi sono più efficaci nel trattenere il particolato mentre gli alberi caducifoglie rimuovono meglio gli inquinanti gassosi. Nella scelta delle specie vegetali in città è importante fare molta attenzione alla produzione di pollini e sostanze allergeniche che possono creare gravi problematiche alla salute dei cittadini.

- Riduzione della temperatura e influenze sul microclima: Gli alberi influenzano la temperatura e l'umidità dell'aria mediante la traspirazione, con le loro chiome proteggono il terreno dai raggi solari riducono la velocità del vento e coprendo il terreno abbassano l'effetto albedo.

Tutti questi fattori a loro volta influenzano la meteorologia locale e la concentrazione di inquinanti in città (Nowak D. J., 1998)

Uno studio svolto negli Stati Uniti ha rivelato un abbassamento di 0.04-0.2°C nelle ore più calde per ogni punto di copertura vegetale presente in città (Simpson, 1998)

L'abbassamento della temperatura ha effetti positivi sulla qualità dell'aria anche perché previene la formazione di numerosi precursori dell'ozono. Non deve anche essere trascurato il confort dei cittadini, che vedendosi mitigato l'effetto Isola di calore si ritroverebbero a vivere la città in modo più piacevole anche nelle ore più calde. Bisogna anche considerare i vantaggi sulla salute dei gruppi di persone più sensibili al calore, che nelle ore più calde di Luglio e Agosto gioverebbero sicuramente della presenza di un viale alberato o un parco ombreggiato.

Vantaggi importanti riguardano anche il risparmio energetico dovuto ad una minor richiesta di energia per raffreddare gli ambienti delle città e schermare gli edifici. Negli Stati Uniti la domanda elettrica aumenta del 3-4% per ogni grado di temperatura (Chiesura, 2007) Citando un caso Italiano invece si è calcolato che un incremento delle coperture vegetali del 10% per le città di Roma e Milano porterebbe ad un abbassamento della temperatura di circa 2°C comportando un risparmio energetico dall'8 all'11% (Barbera, Pecorella, & Silvestrini, 1991).

- Abbattimento del rumore: Anche dal punto di vista della riduzione dei livelli di rumore, il contributo può essere notevole: la capacità fonoassorbente della vegetazione è nota, specialmente se associata ad altri tipi di barriere acustiche
- Cattura di CO₂: Grazie alla loro crescita le piante sono in grado di immagazzinare nei loro tessuti enormi quantità di Carbonio sequestrato dall'atmosfera sotto forma di CO₂ attraverso i processi di fotosintesi clorofilliana. Boschi e Foreste si trasformano quindi in Sink "Pozzi" di Carbonio.

Alberi sani e dalla crescita rigogliosa aumentano i tassi di cattura della CO₂ contribuendo a rallentare il fenomeno del riscaldamento globale.

- Emissioni di Composti organici volatili (VOC): Gli alberi possono contribuire alla formazione di ozono e monossido di carbonio rilasciando composti organici volatili.

Deve essere considerato il fatto che l'aumento della temperatura aumenta la produzione di VOC, ma che l'aumento della copertura vegetale porta ad un abbassamento della temperatura. Ciò comporta che un aumento della copertura vegetale riduce l'emissione di VOC (Cardellino & Chameides, 1990) Non tutte le specie emettono VOC in modo analogo, bisogna quindi prestare attenzione alla composizione specifica del verde pubblico prediligendo specie a bassa produzione di VOC, ma senza dimenticarsi di mantenere un certo grado di Biodiversità.

- Biodiversità: la presenza di numerose aree verdi è essenziale per la sopravvivenza della biodiversità nelle città. Le aree verdi infatti costituiscono un importante elemento per numerose specie di vita al cui interno vi trovano rifugio, ma anche gli elementi necessari per svolgere le loro funzioni ecologiche.

in città è più facile trovare cibo e la presenza dell'isola di calore crea un ambiente più mite dove rifugiarsi nelle stagioni invernali. Mantenere un ambiente vario e con

un'alta biodiversità è essenziale per mantenere degli ecosistemi, anche urbani, sani, resistenti e resilienti alle avversità.

I Servizi socio-culturali

È ormai scientificamente approvato che la presenza delle aree verdi in città aumenta la qualità della vita. (Bonaiuto, 2003). I cittadini possono trovare nelle aree verdi luoghi e spazi ricreativi e di aggregazione, ma anche spunti culturali e storici. In queste aree si concentra l'esigenza dei cittadini di evadere dall'urbanizzato e trarre piacere dalla presenza "della natura" (Mirabile, 2004)

Studi svolti negli Stati Uniti affermano che le aree verdi influenzano positivamente l'equilibrio psicologico e la salute mentale delle persone (Kaplan & Kaplan, 1989) Come affermato sempre da Kaplan l'esposizione agli stimoli naturali consente di recuperare dallo stress e recuperare le energie mentali. gli ambienti naturali sono infatti rigenerativi perché attivano l'attenzione involontaria consentendo all'attenzione volontaria (ovvero la capacità attiva delle persone di concentrarsi su un'attività) di riposarsi e rigenerarsi.

Studi di Kaplan dimostrano che pazienti ricoverati in ospedale riducono il tempo di degenza se dalla finestra delle loro camere si vedono alberi e verde. (Kaplan & Kaplan, 1989). La funzione ristorativa si connette direttamente anche con i vantaggi economici che la società ottiene avendo persone più sane sia fisicamente che psicologicamente.

È importante ricordare come le aree verdi in città possono aiutare le persone a ritrovare il contatto con la natura, spesso dimenticata e demonizzata dagli abitanti della città. Riavvicinarsi al susseguirsi dei normali cicli naturali e alla flora e fauna educa i giovani e agli adulti al rispetto della natura che li circonda. Numerose sono le iniziative di affidamento di aree verdi a privati, di realizzazione di giardini condivisi fino alla creazione degli orti urbani, (ottimo mezzo per educare e permettere al cittadino di coltivarsi il proprio cibo) alle fattorie didattiche nei parchi di cintura e molto altro.

Le aree verdi non sono solo luogo con cui gli abitanti della città possono ritrovare il contatto con la natura, ma anche luoghi che possono essere usati per la socializzazione e lo svago. Un'area verde presenta numerosi punti attrattivi che invoglia le persone a fruirli nei vari momenti della giornata. Durante una pausa pranzo, per fare sport, per il gioco dei bambini o per portare il cane a passeggio. Un'area verde fruita migliora il senso di appartenenza dei cittadini ad un luogo, favorisce la nascita di associazioni di quartiere e permette ai giovani di avere spazi ricreativi gratuiti e privi di pericoli.

I servizi economici

I servizi economici sono tutti quei benefici che influenzano direttamente o indirettamente il mercato o specifiche attività economiche e produttive, generando ricchezza in termini di flussi monetari. Non essendo facilmente quantificabili, i benefici economici generati dalla presenza della vegetazione spesso sfuggono alla contabilizzazione nei bilanci e negli indicatori tradizionali. La stima del valore delle risorse ambientali nell'ambiente urbano deve riguardare tutte quelle funzioni e servizi forniti dagli ecosistemi naturali che contribuiscono al benessere sociale ed economico della nostra città, ma che non sono attualmente oggetto di transazione commerciale sul mercato e ai quali, di conseguenza, non è ancora stato attribuito un prezzo (Chiesura, 2007)

Alcuni esempi di servizi economici forniti dalle aree verdi possono essere l'aumento del valore degli immobili; è risaputo infatti come la presenza di parchi e aree verdi aumenti il prezzo delle case nelle vicinanze. Un esempio è stato l'incremento del valore delle case nel quartiere di Chelsea di New York dopo la riqualificazione della High Line.

Anche il turismo è direttamente influenzato dalla presenza di aree verdi, città e luoghi d'arte sono più attrattivi se risultano ricchi di aree verdi ben curate, un aumento del turismo può essere un grande introito finanziario per determinate aree geografiche.

Come detto in precedenza alcuni dei servizi forniti dal verde non possono essere realmente quantificati monetariamente perché non esistono valori di mercato, è quindi economicamente impossibile attribuirgli un prezzo. Sarebbe tuttavia utile trovare dei modelli per stimare il valore del patrimonio verde, in modo da poter svolgere analisi costi-benefici più complete e valorizzare di più la presenza del verde nelle città.

Perché valutare i servizi ecosistemici

Una volta compresa l'importanza che hanno gli ecosistemi sulla società bisogna anche quantificare quanto essi siano importanti. Data la complessità che hanno gli ecosistemi stessi nelle loro dinamiche e sviluppi risulta difficile valutare un ecosistema nella sua interezza, risulta invece più facile valutare ciò che è in grado di fornirci, direttamente o indirettamente.

In termini economici la maggior parte dei servizi ecosistemici viene definito come esternalità, ovvero un effetto positivo o negativo aggiuntivo che si sviluppa dalla presenza di aree naturali senza che quest'ultime ricevano compensazioni o paghino un prezzo. Vale a dire che sono effetti privi di valore. Questo approccio errato e miope può portare a problemi di mala gestione e free-riding, ovvero sfruttamento eccessivo delle risorse senza pagarne il prezzo.

Stimare correttamente il valore dei servizi ecosistemici permetterebbe di sfruttarli e gestirli al meglio ottenendo maggiori vantaggi per l'uomo ma anche per l'ambiente (Kumar & Kumar, 2008). Gestire in modo ottimale gli ecosistemi è fondamentale in quanto la quantità

e qualità dei servizi forniti dipende direttamente dal loro stato di salute. Attribuire un valore monetario è necessario per poter quantificare un servizio e metterlo a confronto con le alternative disponibili.

Spesso le amministrazioni considerano la realizzazione del verde e il suo mantenimento come una spesa di bilancio necessaria a raggiungere determinati standard urbanistici e abbellire le città senza approfondire le reali possibilità della foresta urbana.

Molti di questi servizi sono spesso dati per scontato e raramente vengono quantificati e inseriti “a bilancio” quando bisogna fare scelte di programmazione e gestione territoriale. Il verde viene ingiustamente visto come una mera voce di costo. Tuttavia la natura multidimensionale del benessere supera la tradizionale identificazione con il solo aspetto economico.

La valutazione dei servizi ecosistemici utili per il benessere dei cittadini potrebbe in molti casi trasformare i costi in investimenti produttivi.

Per aver un’idea dello spessore economico dei servizi ecosistemici, è sufficiente pensare che il Comitato per il capitale naturale – istituito dalla legge n. 221/2015 e presieduto dal Ministro dell’Ambiente – ha stimato, nel suo Rapporto sullo stato del capitale naturale in Italia pubblicato nel 2017, che il valore complessivo dei servizi ecosistemici in Italia era pari (nel 2015) a 338 miliardi di euro. (Comitato per lo sviluppo del verde, 2018)

Promuovere il verde urbano significa, dunque, promuovere un capitale naturale essenziale, che assicura alle città importanti servizi ecosistemici elevando la qualità della vita di tutti. Ma significa anche, di riflesso, ridurre la spesa pubblica.

Il modello UFORE

Analizzare, gestire e comprendere una foresta urbana richiede di imparare a comprendere la sua struttura e le sue interazioni con l'ambiente che la circonda. Attraverso una ricerca bibliografica si è deciso di utilizzare per il seguente progetto il Modello UFORE (**Urban FORest Effects model**) sviluppato negli Stati Uniti dallo U.S Forest Service. Il modello UFORE è nato inizialmente per lo studio della composizione e dei servizi ecosistemici delle foreste naturali, ha trovato in seguito largo impiego per l'analisi delle foreste urbane. Sono decine attualmente le città negli Stati Uniti che hanno utilizzato il modello per quantificare la loro foresta urbana. Negli ultimi anni, grazie alle implementazioni fornite dallo U.S Forest service il modello è stato applicato anche ad altre realtà, prima Australiane e Inglesi (ad esempio con lo studio di Hyde Park, Londra) e in seguito a livello internazionale.

Uno dei primi approcci a livello italiano è stato fatto da Buffoni e Siena per i giardini pubblici Indro Montanelli (Buffoni & Siena , 2007).

Il modello attualmente si compone di cinque moduli: (Nowak & Crane, 2000)

1. UFORE-A: Anatomia della foresta Urbana. Questo modulo quantifica la struttura della foresta urbana, calcolando ad esempio la composizione specifica, la densità degli alberi, la salute degli alberi, l'area fogliare e la biomassa.
2. UFORE-B: Emissioni dei Composti Organici Volatili (VOC). Vengono stimate le emissioni orarie di VOC emessi dagli alberi che possono contribuire alla formazione di Ozono.
3. UFORE-C: Sequestro e stoccaggio di Carbonio: vengono calcolati il totale del carbonio stoccato e il netto del carbonio sequestrato annualmente dagli alberi.
4. UFORE-D: Deposizioni secche degli inquinanti dell'aria: La rimozione oraria degli inquinanti dell'aria viene stimata per anidride solforosa, Biossido di azoto, monossido di carbonio, ozono e particolato sospeso. Viene stimata anche la percentuale di miglioramento della qualità dell'aria.
5. UFORE-E: Effetti energetici sugli edifici. Vengono stimati i risparmi energetici di raffreddamento degli edifici permessi dall'ombreggiamento dato dalle chiome degli alberi.

UFORE A.

Dai manuali e dalla numerosa bibliografia disponibile si può comprendere il funzionamento del modello UFORE. Verranno in seguito riportate alcuni dei più importanti passaggi e metodologie di calcolo.

“Il primo passaggio che il modello compie è di analizzare i dati raccolti in campo per quantificare la struttura della foresta urbana. Vengono calcolati il numero di alberi,

la media e l'errore standard. La composizione specifica, la densità degli alberi le medie e la distribuzione dei diametri dei tronchi.

I dati richiesti per ogni albero sono:

- Specie
- Numero di tronchi (se ceppaia)
- Diametro a petto d'uomo
- Altezza
- Altezza della chioma alla base
- Larghezza della chioma
- % di seccume della chioma, divisa in 7 classi di %
- % del volume della canopy occupata dalle foglie
- % del terreno coperto dagli alberi
- % del terreno coperto dagli arbusti
- Esposizione alla luce della chioma
- Distanza dagli edifici residenziali
- Direzione dagli edifici
- Albero presente in strada.

In caso in cui alcuni di questi valori non sia possibile misurarli il modello è in grado di stimarli in modo indiretto.

Viene anche calcolata la ricchezza specifica con l'indice di Shannon-Wiener. Il diagramma della distribuzione delle specie per origine.

Utilizzando equazioni di regressione lineare vengono calcolati anche l'area fogliare e la biomassa degli alberi decidui (Nowak D. J., 1996). Vi sono casi in cui le dimensioni di alcuni alberi decidui vanno oltre i limiti di input per applicare la regressione lineare; una stima del LAI viene fatta effettuando un calcolo con le equazioni di regressione lineari considerando la massima dimensione possibile con un appropriato rapporto altezza/larghezza ed un coefficiente di ombreggiamento basato sulla classe dell'albero. Il LAI ricavato viene poi applicato all'area occupata dall'albero per calcolare la superficie fogliare. Per gli alberi decidui con rapporti larghezza/altezza troppo piccoli o larghi per essere usati direttamente nelle equazioni di regressione. L'altezza o il diametro della pianta vengono scalati per consentire alla chioma di raggiungere il massimo o minimo rapporto possibile altezza/larghezza.

Per le conifere il LAI medio degli alberi decidui con un coefficiente di ombreggiamento di 0.91 viene applicato all'area basale degli alberi per stimarne l'area fogliare. Dagli studi di (Barbour, Burk, & Pitts, 1980) si ritiene che il LAI delle foreste di conifere sia 1.5 volte quello delle foreste di alberi decidui. Dato che la media del coefficiente di ombreggiamento delle foreste decidue è di 0.83 si applica un coefficiente di ombreggiamento di 0.91 per il calcolo del LAI delle conifere. Dato

che i pini hanno un LAI inferiore rispetto alle altre conifere, si utilizza il coefficiente di 0.83 per il calcolo dell'area fogliare dei Pini. (Nowak D. , Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban, 1996).

La biomassa delle foglie d'albero non può essere calcolata direttamente dalle equazioni di regressione lineare. La biomassa delle foglie viene quindi calcolata convertendo l'area fogliare stimata utilizzando misurazioni specie-specifiche dalla letteratura in grammi peso secco per metro quadrato di area fogliare (Nowak D. J., Urban forest structure: the state of Chicago's urban forest, 1994). La biomassa fogliare degli arbusti viene calcolata come il prodotto del volume della chioma occupato dalle foglie e le misurazioni specifiche di biomassa fogliare per ogni specie. (Nowak D. , Urban forest development and structure: analysis of Oakland., 1991) a causa delle limitazioni che sussistono nello stimare l'area fogliare degli arbusti dal volume della chioma, l'area fogliare è stata limitata ad un valore massimo di LAI=18. Se non ci sono misurazioni specifiche di biomassa fogliare per una specie, si farà riferimento alla media del genere o del fogliame (deciduo/semperverde).

La condizione media di un albero viene calcolata assegnando ad ogni albero una classe, ad ogni classe corrisponde un valore numerico di percentuale di secchezza della chioma. 1 indica che la chioma è completamente sana, 0 indica un albero morto. Ad ogni codice tra eccellente e morto è stato dato un valore tra 1 e 0 basato sul valore medio della classe. (ad esempio alla classe "fair" buona, corrisponde il valore 11-25% di dieback. A cui è stato attribuito il rating di 0.82. La biomassa e l'area fogliare stimate vengono aggiustate in base alla condizione della chioma dell'albero.

Per correggere la sovrapposizione delle chiome l'area fogliare e la biomassa delle foglie viene scalata proporzionalmente in base all'ammontare della competizione della chioma.

Vengono calcolati anche gli indici di diversità e di ricchezza specifica. (Shannon-Wiener) vengono conteggiate il numero di specie e la % di specie native e non." (Nowak & et all, www.itreetools.org/eco/resources/UFORE%20Methods.pdf, 2013)

Il valore strutturale o di compensazione di un albero si basa sui metodi di calcolo ideati dal CTLA (1992) che verranno trattati in seguito.

UFORE B.

Gli alberi possono emettere composti organici volatili che contribuiscono alla formazione di ozono e monossido di carbonio (Brasseur & Chatfield, 1991).

La quantità di emissioni dipende dalla specie, dalla biomassa, dalla temperatura dell'aria e altri fattori ambientali (Nowak & Crane, 2000).

Il modulo B del modello UFORE stima le emissioni orarie di isoprene, mono terpeni e altri composti volatili. La biomassa calcolata nella fase A viene moltiplicata per fattori di emissione specifici o di genere per produrre emissioni standardizzate a 30°C e un flusso PAR di 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Condizioni di pieno sole). In caso di assenza di emissioni specifiche o di genere per la pianta presa in esame verranno utilizzate informazioni provenienti dalle medie dei dati disponibili per la famiglia botanica di appartenenza. Infine le emissioni standard verranno convertite alle emissioni attuali in base ai dati meteorologici locali, di luminosità e temperatura del periodo di studio e dell'area presi in considerazione. (Geron, Guenther, & Pierce, 1994).

“Le emissioni di VOC (in $\mu\text{gC tree}^{-1} \text{hr}^{-1}$ alla temperatura T (K) and PAR flux L ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)) di isoprene, monoterpene e OVOC vengono stimate come:

$$E = B_e \times B \times \gamma$$

Dove B_e è il tasso base di emissione del genere in $\mu\text{gC (g foglie peso secco)}^{-1} \text{hr}^{-1}$ a 30°C and PAR flux of 1,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; B è il peso secco della biomassa fogliare della specie e viene calcolata nella fase UFORE A).

γ invece è:

$$\gamma = [\alpha \cdot c_{L1} L / (1 + \alpha^2 \cdot L^2)^{1/2}] \cdot [\exp[c_{T1} (T - T_s) / R \cdot T_s \cdot T] / (0.961 + \exp[+ c_{T2} (T - T_M) / R \cdot T_s \cdot T])]$$

per gli isopreni dove L è PAR flux; $\alpha = 0.0027$; $c_{L1} = 1.066$; R è la costante ideale dei gas ($8.314 \text{ K}^{-1} \text{mol}^{-1}$), T(K) è la temperatura fogliare, che viene assunta uguale alla temperatura dell'aria, T_s è la temperatura standard (303 K), and $T_M = 314\text{K}$, $c_{T1} = 95,000 \text{ J mol}^{-1}$, and $c_{T2} = 230,000 \text{ J mol}^{-1}$ (Geron, Guenther, & Pierce, 1994) (Guenther, et al., 1995); (Guenther A., 1997)

Dato che la PAR controlla fortemente il tasso di emissioni di isoprene viene stimata come funzione usando il modello di riflessione della luce solare della canopy (A. Guenther, Nat. Cent. for Atmos. Res., pers. commun., 1998) utilizzando il LAI del UFORE A.

Per i monoterpeni e gli OVOC:

$$\exp [(\beta T - T_s)] = \gamma$$

dove $T_s = 303 \text{ K}$, e $\beta = 0.09$

gli input orari di temperatura dell'aria derivano dal National Climatic Data Center (NCDC) meteorological data. La radiazione solare viene calcolata basandosi sul National Renewable Energy Laboratory Meteorological/Statistical Solar Radiation Model (METSTAT) con i dati derivanti dall' NCDC (Maxwell 1994). La PAR viene calcolata come il 46% della radiazione totale (Monteith & Unsworth, 1990)

Dato che la traspirazione degli alberi raffredda l'aria e la temperatura delle foglie anche l'emissione dei VOC viene influenzata. l'emissione di VOC da alberi e arbusti viene quindi ridotta in base ai risultati del modello degli effetti dell'incremento della tree cover sulla produzione di O₃ nel Nord-est degli Stati Uniti (Nowak & Crane, The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying Urban Forest Structure and Functions, 2000). Dallo scenario analizzato l'incremento della tree cover riduce la temperatura di 0.3°C-1.0°C. con il risultato di una riduzione dell'emissione dei VOC del 3.3-11.4%. queste riduzioni orarie nell'emissione di VOC sono state applicate alle emissioni di alberi e arbusti nei periodi vegetativi.

Per stimare la quantità di ozono O₃ prodotta dalle emissioni di VOC è stata usata la scala incrementale di reattività dell'ozono (g O₃ prodotti/g VOC emessi) (Carter 1994, 1998) la scala incrementale di reattività è stata basata su esistenti valori che rappresentano le condizioni di VOC/NO_x nelle città. Le condizioni di VOC/NO_x vengono basate sui dati reperibili dal Natural Resource Council (1991). I paesi al di fuori degli stati uniti utilizzeranno i dati disponibili più simili alla loro area di studio.

Vi è un certo grado di incertezza nell'applicare la scala dei tassi di reattività incrementale, soprattutto in inverno. Tuttavia, la vegetazione ha tassi di emissione di VOC molto bassi nella stagione invernale, essendo a riposo vegetativo. Quindi gli effetti degli alberi sulla formazione di ozono sono minimi in inverno.

La formazione di CO può contribuire alla formazione di O₃, la formazione di CO causata dalle emissioni degli alberi viene convertita in O₃. (Zimmerman, Chatfield, Fishman, Crutzen, & Hanst, 1978) stimano che il 60% delle emissioni dei VOC vengono convertite in CO. Recenti evidenze abbassano la stima ad un valore del 10% ((S. Madronovich, Nat. Cent. for Atmos. Res., pers. comun., 1997) il modello UFORE-B applica la percentuale di conversione dei VOC a CO di un fattore del 10%.

La formazione di CO viene quindi calcolata come:

$$\text{COFP} = 0.1 \times E \times R$$

COFP è la formazione potenziale (g). E è l'emissione di VOC (gC) e R è il rapporto del peso atomico CO/C. le emissioni di CO sono poi convertite in O₃ utilizzando la scala di reattività dell'ozono, uno strumento ragionevolmente adatto a stimare le complesse reazioni chimiche che portano alla formazione dell'O₃. Viene utilizzata nel modello per dare un'approssimazione dell'ammontare di inquinanti formati dalle emissioni di VOC e dalle condizioni atmosferiche nella città. Tuttavia a causa dell'incertezza nell'approccio di stima delle emissioni dei VOC non viene stimato l'ammontare degli inquinanti prodotti da ogni specie. Invece gli effetti degli alberi sull'O₃ sono stati usati per creare indici specifici degli effetti degli alberi sugli inquinanti. L'indice individuale specie/genere ha un range che va da 0-100 dove 100 rappresenta il più basso livello possibile di formazione potenziale di inquinanti.

mentre 0 rappresenta la più alta formazione potenziale di inquinanti (rappresentato ad esempio dal genere *Liquidambar*)

Un indice complessivo della capacità della foresta urbana di ridurre la produzione di inquinanti viene ricavato dalla sommatoria degli indici di tutti gli alberi e arbusti che la compongono l'indice ha un punteggio totale che va da 0 a 100 dove 100 rappresenta il massimo effetto possibile nel ridurre la formazione di ozono." (Nowak & et al, www.itreetools.org/eco/resources/UFORE%20Methods.pdf, 2013)

UFORE C

L'anidride carbonica è uno dei gas serra più importanti e discussi. Gli alberi attraverso i loro processi di crescita sequestrano e stoccano carbonio nei loro tessuti. Alberi e arbusti sono quindi il primo mezzo, e talvolta dato per scontato, per contrastare le emissioni di gas serra e il riscaldamento globale.

“Per calcolare il carbonio stoccato nella sezione UFORE A è stata stimata la biomassa di ogni albero misurato attraverso equazioni allometriche reperibili in letteratura, far riferimento a (Nowak D. J., 1994) e (Nowak D. S., 2002).. Viene calcolata la biomassa totale dell'albero convertendo la biomassa della chioma con un fattore di correzione radici/chioma di 0.26 (Cairns, Brown, Helmer, & Baumgardner, 1997). Le equazioni che calcolano la biomassa fresca della vegetazione vengono moltiplicate a fattori di conversione specifici o di genere per ottenere la biomassa secca. Questi fattori di conversione derivano dall'umidità media contenuta in ogni specie, e disponibile in letteratura. Le conifere hanno una media di 0.48, mentre le comuni legnose hanno un fattore di correzione di 0.56. (USDA 1955; Young and Carpenter 1967; King and Schnell 1972; Wartluft 1977; Stanek and State 1978; Wartluft 1978; Monteith 1979; Clark et al. 1980; Ker 1980; Phillips 1981; Husch et al. 1982; Schlaegel 1984°, b, c, d; Smith 1985).

Gli alberi cresciuti in città e mantenuti tendono ad avere una minor biomassa rispetto a quanto previsto dalle equazioni per il calcolo della biomassa degli alberi forestali. Per aggiustare questa differenza i risultati vengono moltiplicati per un fattore di conversione di 0.8 (Nowak D. J., Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest, 1994). Nessun aggiustamento viene fatto per gli alberi trovati in condizioni più naturali, come lotti vacanti o foreste. **Dato che gli alberi decidui perdono le foglie annualmente solo il carbonio stoccato nella biomassa legnosa. La biomassa secca totale viene convertita a carbonio stoccato totale con un fattore di 0,5.** (Forest Products lab, 1952; Chow and Rolfe 1989).

Le equazioni multiple usate per ogni specie vengono combinate insieme per produrre una equazione predittiva per una vasta gamma di diametri per ogni specie. Il processo di unione delle formule individuali in un più generale produce risultati che sono tipicamente entro un 2% dai risultati ottenuti con usando equazioni multiple. Le formule sono state combinate per prevenire stime di sequestro disgiunte che possono avvenire quando il processo di calcolo si sposta tra le equazioni di biomassa individuali.

Se nessuna equazione allometrica viene trovata per una specie individuale, viene usato il risultato della media delle equazioni delle specie appartenenti allo stesso genere. Se nessun Genere è disponibile, viene usata la media dei risultati delle equazioni delle latifoglie.

Per stimare il valore monetario associato al Carbonio. Il totale viene moltiplicato per il costo sociale marginale delle emissioni di anidride carbonica stimate, 20.3\$/tC (Frankhauser, 1994).

Sequestro di carbonio e crescita degli alberi in ambiente urbano

Al diametro esistente misurato degli alberi viene aggiunto il valore medio di crescita del diametro del fusto considerando la classe di diametro di partenza e l'appropriato uso del suolo in cui l'albero cresce. Per gli alberi che crescono nella foresta la crescita media del diametro del tronco viene è stata stimata essere 0.38cm/anno (Smith and Shifley 1984); Per gli alberi che crescono nei parchi la crescita media è di 0.61cm/anno (deVries 1987), per alberi che crescono in spazi aperti i tassi di crescita vengono stimati dagli studi di Nowak (Nowak D. J., Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest, 1994). La crescita media in altezza viene basata sugli studi di (Flemming 1988).

Per determinare il tasso di crescita viene considerata la lunghezza della stagione di crescita. I tassi di crescita di alberi della stessa specie o genere sono stati paragonati per determinar e la differenza media di crescita in base all'uso del suolo in cui sono posizionati (strada, parco, spazio aperto, foresta). La crescita degli alberi nei parchi è 1.78 volte più lenta degli alberi in strada, un albero nella foresta invece cresce 2.29 volte più lentamente degli alberi in strada. L'esposizione della chioma alla luce viene usata per rappresentare le condizioni di crescita. I tassi di crescita vengono poi aggiustati in base alle condizioni dell'albero, per alberi in eccellenti o buone condizioni il valore di correzione è 1, per alberi in scarse condizioni 0.76, in condizioni critiche 0.42. e 0.15 per alberi morenti (gli alberi morti hanno fattore di crescita 0). I fattori di correzione si basano sul fatto che alberi con una percentuale di dieback inferiore al 25% non hanno particolari influenze negative sui tassi di crescita. **La differenza nella stima del carbonio stoccato tra l'anno x e l'anno x+1 (che considera la crescita) consiste nell'ammontare di carbonio sequestrato ogni anno.**

Gli alberi morti portano ad un eventuale rilascio di C stoccato. Nello stimare il carbonio netto sequestrato da una foresta urbana bisogna considerare anche questo fattore. Per calcolare il potenziale rilascio di carbonio causato dalla decomposizione degli alberi morti. Vengono stimate le probabilità di mortalità per ogni classe di salute degli alberi (Nowak 1986). La mortalità annuale viene stimata come 1.92% per gli alberi da 0-3 inches nelle classi eccellenti e buone, 1.46% per gli alberi di più di 3 inches nella classe buona-eccellente. 3.32% per la classe in discrete condizioni, 8.86% per gli alberi in povere condizioni, 13.08% per gli alberi in condizioni critiche, 50% per alberi morenti e 100% per alberi morti.

Due tipi di tassi di decomposizione vengono usati.

1. Rilascio rapido di carbonio dalla biomassa aerea e della biomassa rimossa (esempio un tronco caduto portato via dai parchi)
2. Rilascio ritardato per gli alberi morti rimasti e le radici rimaste al suolo.

Gli alberi generalmente rimossi dalla foresta urbana non vengono immessi in filiere di produzione e sviluppo del legno che possono trattenere a lungo il carbonio.

Tutti gli alberi nelle aree abbandonate, nelle aree marginali e il 50% degli alberi nei parchi vengono assunti come lasciati in piedi e non rimossi. La decomposizione di questi alberi viene stimata per un periodo di 20 anni. Gli alberi morti in tutte le altre classi di uso di suolo si presume vengano rimossi entro 1 anno dalla morte.” (Nowak & et all, www.itreetools.org/eco/resources/UFORE%20Methods.pdf, 2013)

UFORE D

“Il quarto modulo calcola le deposizioni secche degli inquinanti durante i periodi non piovosi. Gli agenti inquinanti considerati sono: ozono, biossido di zolfo, biossido di azoto, monossido di carbonio e Particolato sospeso. Il Modello è in grado di tenere conto delle caratteristiche della fenologia delle foglie di ogni specie, di distinguere le sempreverdi dalle caducifoglie e il portamento delle chiome. Questi dati vengono messi in relazione con il clima, l’inquinamento atmosferico e la tree cover.

UFORE-D fornisce gli strumenti per calcolare i valori riportati nella lista sottostante.

- **Calcolo del flusso di inquinanti dell’aria:**
- **Calcolo della velocità di deposizione:**
- **Calcolo della resistenza aerodinamica**
- **Calcolo della velocità di frizione**
- **Calcolo della resistenza dello strato sub laminare**
- **Calcolo della resistenza della canopy**

- **Calcolo della resistenza stomatica**
- **Calcolo della traspirazione**
- **Calcolo del miglioramento della qualità dell'aria**
- **Calcolo del valore monetario.**

La spiegazione dei modelli matematici utilizzati nel modulo D del modello esula dalla trattazione di questa tesi di laurea, verranno quindi trattati solo alcuni spunti di particolare interesse. Per un approfondimento maggiore si riporta alla bibliografia opportuna.

1. (Satoshi , Kroll, & Nowak)
2. (Nowak & Crane, The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying Urban Forest Structure and Functions, 2000)

Citando Nowak: (Nowak & Crane et al, www.itreetools.org/eco/resources/UFORE%20Methods.pdf, 2013)

“Nel modello UFORE-D, il **flusso di inquinanti (F; g m⁻²s⁻¹)** viene calcolato dal **prodotto della velocità di deposizione (V_d; in ms⁻¹) e dalla concentrazione di inquinanti (C; in g m⁻³)**.

$$F=V_d \times C$$

La velocità di deposizione viene calcolata come l'inverso della somma della resistenza aerodinamica (R_a) dello strato di confine sub laminare (R_b) e della della canopy (R_c) (Baldocchi, Hicks, & Camara, 1987).

$$V_d=(R_a+R_b+R_c)^{-1}$$

Dati meteorologici orari provenienti dalla stazione meteorologica più vicina vengono usati per stimare R_a e R_b. la resistenza aerodinamica viene calcolata come (Killus et al 1984).

$$R_a=u(z) \times u_x^{-2}$$

Dove u(z) è la media della velocità del vento all'altezza z (ms⁻¹) e u_x è la velocità di frizione (ms⁻¹).

$$U = (k \times u(z-d)) [\ln((z-d) \times z_0^{-1}) - \psi_M((z-d) \times L^{-1}) + \psi_M(z_0 \times L^{-1})^{-1}]$$

dove k= costante di Karman, d=altezza di spostamento (m), Z₀=lunghezza di rugosità (m), ψ_M = funzione di stabilità per il momento. e L=lunghezza di stabilità di Monin-Obuhkov. L viene stimata classificando i dati meteorologici locali in classi di stabilità, usando la classificazione di Turner (Panofsky e Dutton 1984) in seguito vengono stimati 1/L come funzione di classi di stabilità e Z₀ (Zanetti 1990).

Quando L<0 (instabile) (van Ulden and Holtag 1985):

$$\psi_M=2\ln[0.5(1+x)]+\ln[0.5(1+x^2)]-2\tan^{-1}(x)+0.5\pi$$

dove $x=(1-28 zL^{-1})^{0.25}$ (Dyer and bradley 1982).

Quando $L>0$ (condizioni stabili):

$$u_x=C_{DN} u[0.5+0.5[1-(2u_o/C_{DN}^{1/2}u)]^2]^{1/2}$$

dove $C_{DN}=k(\ln(z/z_o))^{-1}$; $u_o^2=(4.7z g \theta^*)T^{-1}$; $g=9.81ms^{-2}$; $\theta^*=0.09(1-05N^2)$; T =temperatura dell'aria(K°) e N =frazione opaca di copertura nuvolosa (Venkatram 1980; USEPA 1995). In condizioni stabili u^* è stato calcolato scalando la velocità del vento ad una minima velocità del vento basata sui metodi del US EPA 1995.

La resistenza dello strato di confine sublaminaire viene stimata secondo (Peterson et al. 1995):

$$R_b=2(Sc)^{2/3}(Pr)^{-2/3}(k u^*)^{-1}$$

Dove k = costante di von karman, Sc = numero di Schmidt, e Pr è il numero di Prandtl.

La resistenza oraria intrafogliare della canopy all'ozono, diossido di azoto e diossido di zolfo vengono calcolati basandosi su un modello ibrido adattato sulla deposizione delle particelle in canopy a foglie grandi pluristratificata (Baldochi 1987; Baldochi 1988). La resistenza della canopy (R_c) ha tre componenti: la resistenza stomatica (r_s), la resistenza del mesofillo (r_m) e la resistenza cuticolare (r_t):

$$1/r_c=1/(r_s+r_m) +1/r_t$$

La resistenza del mesofillo viene settata su zero per la SO_2 (Wesley 1989) e $10 s m^{-1}$ per O_3 (Hosker e Lindberg 1982). La resistenza del mesofillo è stata impostata a $100 s m^{-1}$ per NO_2 considerando la differenza tra il trasporto in acqua e l' NO_2 all'interno delle foglie. La resistenza cuticolare è stata settata a $8000 m s^{-1}$ per l' SO_2 , $10000 m s^{-1}$ per l' O_3 e $20000 m s^{-1}$ per NO_2 per considerare le variazioni tipiche in r_t mostrate dagli inquinanti (Lovett 1994).

Gli input orari necessari al calcolo della resistenza della canopy sono la radiazione fotosintetica attiva (PAR $\mu E m^{-2}s^{-1}$), la temperatura dell'aria (K°), la velocità del vento ($m s^{-1}$), u^* ($m s^{-1}$), la concentrazione di CO_2 (impostata a 360 ppm) e l'umidità assoluta ($kg m^{-3}$). L'umidità la velocità del vento, u^* e l'umidità assoluta sono misurate direttamente dal NCDC. La radiazione solare totale viene calcolata basandosi sul modello METSAT con gli input del NCDC (Maxwell 1994) la PAR è calcolata come il 46% della radiazione solare totale (Montheith e Unsworth 1990).

La rimozione del particolato e del CO non è direttamente legata alla traspirazione fogliare,

R_c per CO è stato impostato come costante per la stagione vegetativa a ($50000 s m^{-1}$) e per la stagione non vegetativa a ($1000000 s m^{-1}$) basandosi sui dati di (Bidwell and Fraser 1972). Per le particelle la mediana della velocità di deposizione riscontrabile in letteratura è di ($0.0128 m s^{-1}$) per la stagione vegetativa. V_d è stato

impostato a 0.064 basandosi sul LAI di 6 e un 50% di tasso di sospensione delle particelle in atmosfera (Zinke 1967) il V_d è stato poi aggiustato in base agli accordi con il LAI attuale e i parametri della stagione vegetativa e non vegetativa.

Il modello prende dai calcoli fatti in UFORE A il LAI e l'area fogliare di alberi e arbusti sempreverdi. **Le date di inizio e fine della stagione vegetativa sono inseriti nel modello in modo che la traspirazione degli alberi decidui e la relativa deposizione di inquinanti sia limitata ai periodi vegetativi.** Variazioni stagionali nella rimozione di ogni inquinante può essere illustrata per ogni inquinante. La raccolta del particolato e la deposizione dei gas sugli alberi decidui in inverno assunta sulla corteccia è di 1.7 m² di corteccia per m² di terreno coperti dalla chioma (Wihittaker and Woodwell 1967). Per stimare solamente la deposizione nei periodi secchi la velocità di deposizione è stata impostata a 0 nei giorni di pioggia.

La media oraria del flusso di inquinanti viene moltiplicata per il totale della copertura della canopy per stimare il totale orario di inquinanti rimossi dagli alberi intorno alla città.

Il valore monetario degli inquinanti rimossi dagli alberi è stato stimato usando la mediana dei valori delle esternalità per gli Stati Uniti per ogni inquinante, questi valori in dollari per tonnellata sono: O₃ e NO₂= 6752 \$/t; PM₁₀= 4508 \$/t; SO₂=1653 \$/t CO=959 \$/t (Murray et al 1994)."

L'abilità di ogni albero di rimuovere gli inquinanti in base al suo diametro viene stimata mediante la formula (Nowak, McPherson, & Rowntree, 1994):

$$I_x = R_t (LA_x/LA_t) / N_x$$

Dove I_x = inquinanti rimossi da ogni albero in una classe di diametro (kg/tree); R_t = inquinanti totali rimossi da tutte le classi di diametro (kg); LA_x = area fogliare totale nelle class di diametro (m²); LA_t = area fogliare totale di tutte le classi di diametro(m²) e N_x = numero di alberi in una classe di diametro. **Questa formula rende una stima degli inquinanti rimossi da ogni singolo albero basandosi sulla superficie fogliare."**

(Nowak & et all, www.itreetools.org/eco/resources/UFORE%20Methods.pdf, 2013)

UFORE E

Il modello UFORE è in grado di stimare gli effetti della presenza di alberi sugli edifici circostanti e le conseguenti emissioni di CO₂ per il riscaldamento e il raffreddamento degli edifici.

"I metodi per la stima dei risparmi energetici sono basati su studi di (McPherson & Simpson, 1999).

Per ogni albero vengono misurate le informazioni di distanza dall'edificio più vicino e

la direzione cardinale della facciata più vicina all'albero considerato. Vengono esclusi alberi più bassi di 6 metri e distanti più di 18 metri i cui effetti vengono considerati nulli.

Il calcolo di McPherson e Simpson considera la distanza, l'altezza, la regione climatica, il tipo di fogliame dell'albero e la percentuale di copertura di alberi dell'area circostante l'edificio l'età degli edifici.

La quantità di carbonio evitata viene stimata in base alla quantità di MWh di energia per il riscaldamento e il raffreddamento evitati grazie alla presenza degli alberi.

L'ombreggiamento totale, la schermatura dal vento e gli effetti microclimatici degli alberi in un sito vengono calcolati mediante la somma dei risultati ottenuti per tutti gli alberi presenti nel sito. Questi valori vengono poi aggiustati in base alla regione climatica del sito di studio. Fattori di conversione standard vengono usati per convertire le emissioni di anidride carbonica dei vari sistemi di alimentazione (gas, elettrico, carburanti fossili ecc.) dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento in unità energetiche come i MWh. (McPherson & Simpson, 1999). Gli effetti energetici di ogni albero vengono poi aggiustati in base alle condizioni di salute dell'albero con la seguente formula:

$$\text{Correzione energia} = 0.5 + (0.5 \times \text{condizioni albero})$$

Dove le condizioni dell'albero sono date da: 1-%dieback. Questo fattore di conversione è applicato a tutti gli alberi per il raffreddamento degli edifici, ma solo alle sempreverdi per il riscaldamento degli edifici (McPherson & Simpson, 1999)

Come la tree cover aumenta in un'area, così gli effetti di un singolo albero sul clima diminuiscono, tuttavia l'effetto totale di tutti gli alberi aumenta. effetti di base sul clima sono stati dati agli alberi con valori di tree cover definiti a 10,30 e 60 % (McPherson & Simpson, 1999). Equazioni di interpolazione vengono poi utilizzate per determinare il valore reale di un albero in base alle specifiche % di copertura vegetale e presenza di edifici. Per le aree con meno del 10% di tree cover per l'interpolazione viene usata la pendenza che vi è tra il 10% e il 30%, per le aree con tree cover maggiore del 60% viene usata la pendenza che vi è tra il 30% e il 60% con un valore minimo per singolo albero di 1/3 degli effetti che avrebbe al 60%. Questo per evitare che per valori maggiori del 60% un albero possa risultare avere effetti nulli o negativi sul clima. L'effetto totale degli alberi in un'area viene calcolata sommando i risultati di tutti i singoli alberi, vengono considerate anche la regione climatica e l'età degli edifici (McPherson & Simpson, 1999).

Per determinare l'impatto economico stimato, vengono considerati i prezzi medi dell'energia kWh tra il 1970 e il 2002. Vengono considerati anche i prezzi dal 1990 al 2002 in Mbtu per i gas naturali, i carburanti per il riscaldamento residenziale e il

legno. Tutti i prezzi vengono aggiustati all'anno 2002 secondo il "consumer price index" (U.S department of Labor and Statistics,2003). I prezzi medi vengono usati per determinare il valore degli effetti energetici." (Nowak & et all, www.itreetools.org/eco/resources/UFORE%20Methods.pdf, 2013)

Il verde di Milano

Milano possiede un patrimonio di verde pubblico di circa 24 milioni di m². Il verde viene suddiviso in circa 3000 località disposte all'interno dei confini comunali e censite mediante software GIS. Le località comprendono: giardini, parchi, aiuole, verde stradale, piazze ecc.

Nel territorio comunale sono stati censiti e georiferiti circa 240.000 alberi di cui circa il 60% nei parchi, l'11% nei giardini scolastici e il 29% nei filari e nelle alberature stradali.

L'enorme mole di aree verdi, parchi e alberi da gestire, mantenere e presidiare è stata affidata all'appalto del GLOBAL SERVICE. Il contratto in corso dal 2017 è stato affidato all'impresa consortile MIAMI s.c.ar.l. Di cui AVR ne fa da capofila.

La gestione delle aree verdi viene svolta con l'ausilio di R3-TREES un sistema GIS specializzato per ottimizzare le lavorazioni e per soddisfare le esigenze riscontrabili nel campo della manutenzione del verde.

Grazie all'ausilio di R3-TREE e al lavoro svolto nel corso di anni dagli addetti dell'appalto, il sistema gestionale raccoglie centinaia di migliaia di elementi inclusi nel patrimonio delle aree verdi, censiti catalogati ed informatizzati.

Per cercare di avere una stima il più possibile completa dei servizi ecosistemici del verde pubblico di Milano si è cercato di includere tutti i dati utilizzabili, delle aree non sottoposte all'appalto del global service che si è potuto recuperare. In primo piano sono stati inseriti a database anche gli alberi nelle aree all'interno di Parco Nord che rientravano all'interno dei confini comunali. Le aree di Expo e City life sono state inserite a database grazie alla lettura delle tavole di progetto in cui sono stati riportati misure e diametri degli alberi acquistati, si è presunto che la dimensione non fosse cambiata in modo significativo nei pochi anni dall'impianto.

In questo testo verrà utilizzato il termine "foresta urbana" per riferirsi all'insieme di alberi analizzati, si è tuttavia consapevoli che la foresta urbana di Milano comprende molto di più.

Sono rimaste esclusi dall'analisi il verde privato, la cui analisi avrebbe richiesto lunghe e costose tecniche di indagine sul campo che non è stato possibile attuare. Le aree di bosco in città e del parco delle Cave e i rimboschimenti recenti che non essendo censiti dal global service avrebbero richiesto rilievi analoghi al verde privato. Sono rimasti esclusi dall'analisi anche tutti quei parchi che alla data di inizio progetto erano in realizzazione ma sono stati completati in seguito, un esempio è il parco Biblioteca degli Alberi.

Un'altra importante mancanza è data dalla non inclusione degli alberi nelle zone agricole e delle aree marginali. Quest'ultimi sono una componente importanti per tutti quei municipi che confinano con il parco agricolo sud.

Nel tessuto urbano vi sono numerose aree abbandonate che vengono coinvolte dalla successione ecologica e sviluppano una rigogliosa vegetazione spontanea. Vi sono stati

alcuni esempi di alcuni scali o terreni abbandonati in cui è sorta in pochi anni una vera e propria foresta, come nel caso dello scalo di Porta Romana. Nonostante la flora di queste aree sia per la maggior parte spesso invasiva e senza particolari pregi è indubbio che contribuiscano in modo efficace a fornire tutta una serie di servizi ecosistemici. Tuttavia ai fini del progetto sarebbe risultato un lavoro troppo oneroso censire ed analizzare tutte le aree abbandonate di Milano.

I risultati ottenuti non saranno quindi complessivi di tutto il verde presente all'interno dei confini di Milano ma saranno a carico principalmente degli alberi inclusi nell'appalto Global Service.

Procedimento operativo ed I-Tree eco

I-Tree Eco è un'applicazione software che utilizza il modello UFORE per stimare i servizi ecosistemici le caratteristiche strutturali di una foresta urbana.

I-tree eco, ormai aggiornato alla versione V6 utilizza dati su singoli alberi che possono derivare da campionamenti statistici o database esistenti.

Come già detto i-tree è l'applicazione del modello UFORE, per funzionare necessita quindi di dati relativi alla zona di studio, in particolare bisogna fornire dati sugli inquinanti e la piovosità e sulle specie vegetali presenti.

Una volta rifornito dei dati necessari al suo funzionamento i-tree eco è in grado di stimare:

- La struttura della foresta urbana
- La riduzione di inquinanti
- Gli impatti sulla salute pubblica
- Il carbonio trattenuto e sequestrato
- Gli effetti energetici sugli edifici
- Il runoff evitato
- Le emissioni di VOC
- Il valore della foresta urbana
- Gli effetti potenziali di alcune patologie vegetali.

Alcuni di questi risultati possono richiedere dati aggiuntivi che potrebbero non essere disponibili in determinati casi studio.

I-Tree nasce inizialmente negli Stati Uniti, tuttavia dato il crescente interesse a livello mondiale sulle tematiche delle Urban Forest, numerosi sforzi sono stati fatti dal dipartimento dell'agricoltura statunitense per rendere disponibile l'applicativo in altri paesi.

Agli utilizzatori internazionali viene innanzitutto richiesto di aggiungere le informazioni necessarie sulle specie, la piovosità, l'inquinamento e dell'area di studio. I dati devono essere correttamente formattati, inviati ai database di i-tree, dove vengono sottoposti a verifica ed infine implementati nel software.

Quando si lavora su un progetto di I-tree è utile rispettare la seguente scaletta di lavoro per completare al meglio il proprio progetto (I-tree Eco's):

- **Impostare il progetto**
- **Preparare i dati aggiuntivi**
- **Inviare i dati aggiuntivi al database di I-Tree**
- **Effettuare le preparazioni per la raccolta dei dati**
- **Raccogliere i dati in campo**
- **Inserire i dati di campo nel software**
- **Lanciare il modello.**

Impostazione del progetto

La prima scelta che si pone davanti all'utilizzatore del software, e che condizionerà fortemente la durata e il costo del progetto, è la metodologia di raccolta dei dati. verranno citate a scopo illustrativo le principali modalità:

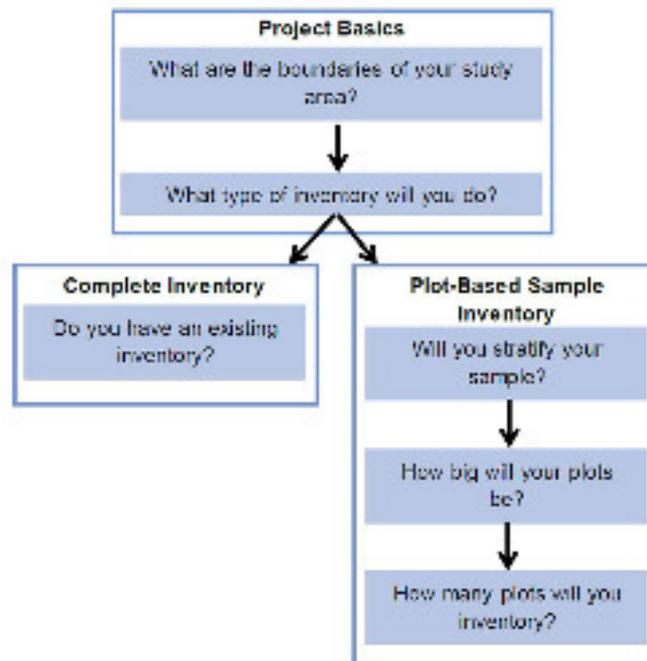


Figura 3 - Schema concettuale delle decisioni da intraprendere prima di avviare un progetto con I-Tree eco. Fonte: Manuale utente

- **Utilizzo di aree di saggio casuali:** L'analisi su un'area non verrà effettuata analizzando tutti gli alberi presenti all'interno ma verranno utilizzate delle aree di saggio disposte casualmente. Il modello assumerà che le aree di saggio, il cui numero è proporzionale alla dimensione dell'area considerata, sono rappresentative dell'intera superficie di studio. La scelta successiva riguarda la possibilità di "Stratificare" il proprio progetto, ovvero suddividerlo in aree più piccole in modo da poter analizzare le potenzialità e criticità all'interno dell'area di progetto. In seguito verranno stabilite le dimensioni e il numero delle aree di saggio. Questo metodo è sicuramente vantaggioso nel momento in cui bisogna analizzare grandi superfici e non si ha la possibilità, per motivi di costi o di tempo, di collezionare dati su tutti gli alberi presenti. Bisogna prestare attenzione ad una corretta definizione del campione perché i risultati del modello potrebbero discostarsi dalla realtà.
- **Utilizzo di un inventario completo:** alcuni progetti potrebbero interessare piccole aree come parchi, quartieri, Vie o giardini. In questo caso raccogliere dati su ogni pianta è più efficace, anche se può essere molto laborioso. Il vantaggio sarà sicuramente una maggior fedeltà dei risultati rispetto alla realtà.

In seguito bisogna definire la scelta di stratificare o meno il progetto. Stratificare significa dividere l'area di studio in sotto aree, tenendone conto durante il processo di raccolta dei dati. Stratificare un progetto è sicuramente utile ad evidenziare le differenze presenti all'interno dell'area generale di studio, ad esempio evidenziando le differenze nella foresta urbana tra i quartieri di una città. Stratificare un progetto tuttavia può aumentare considerevolmente il tempo necessario alla raccolta dei dati.

Utilizzo di aree di saggio casuali

Se si è deciso di effettuare un rilevamento statistico su aree di saggio è importante definire come disporre i punti di saggio in modo casuale. La scelta di stratificare un progetto influenza le metodiche da attuare per disporre le aree di saggio:

- **Non stratificato:** In un'area di studio non stratificata i punti di rilevamento possono essere localizzati in modo puramente casuale per tutta l'area di studio. È un metodo semplice e offre il vantaggio di ottenere una reale casualità. Tuttavia potrebbe non offrire una fotografia fedele della Foresta urbana che si sta analizzando. Infatti nelle città la distribuzione degli alberi non è casuale, ma si basa su approcci urbanistici ben definiti che cercano di adempiere le esigenze della città.
- **Stratificato:** In uno studio stratificato l'area di progetto viene divisa in sotto unità come quartieri, parchi o classi di uso del suolo. Il numero di aree di saggio per ogni area può essere scelto in base a quanto si ritiene alta la variabilità, l'interesse o la dimensione di quella data area. Un secondo approccio nella stratificazione di un progetto consiste nel determinare prima il numero di punti in modo casuale, e in seguito suddividerne l'area di studio in sotto aree. Il vantaggio consiste nell'essere in grado di modificare la griglia di sotto aree dopo aver collezionato i dati ed essere

quindi in grado di lanciare simulazioni con più metodiche di stratificazione senza dover collezionare ulteriori dati.

La dimensione standard di ogni area di saggio è un cerchio di raggio 16m. si possono però modificare le dimensioni dell'area di saggio se necessario, ad esempio se si analizza una piccola area e le aree di saggio tradizionali collidono.

Come regola generale per una città un numero di 200 aree di saggio per progetto porta ad avere un errore standard del 10%. Aumentando il numero di aree l'errore standard si riduce, aumentando la confidenza nei risultati ottenuti. L'aumento del numero di aree di saggio aumenta i tempi e i costi del procedimento di raccolta dati. È essenziale trovare un equilibrio tra la qualità dei dati e il tempo e fondi a disposizione.

Inventario completo

Utilizzare un inventario completo permette di stratificare il proprio progetto sia prima della raccolta dei dati che dopo, mediante tecniche GIS od opportuni software di gestione del database. L'ovvio vantaggio consiste nella possibilità di scegliere di stratificare un progetto a raccolta dati completata.

Per l'analisi della foresta urbana di Milano si è scelto di utilizzare la modalità dell'inventario completo. Questo perché grazie alla presenza del database fornito dal global service si è potuto evitare di effettuare la raccolta dei dati in campo, questo ha permesso di effettuare lo studio in tempi relativamente brevi e con costi ridotti. Esistono una serie di svantaggi tuttavia che devono essere tenuti in conto. Primo tra tutti la difficoltà nell'aggiungere ulteriori aree, infatti come è stato approfondito in precedenza nei dati utilizzati non sono inclusi tutti gli alberi presenti a Milano, aggiornare il modello richiederebbe prendere i dati per ogni singolo albero mancante, o utilizzare l'approccio statistico puntuale. Tuttavia piccole aree (come nuovi parchi) possono essere ancora incluse, con costi contenuti, effettuando apposite campagne di raccolta dati.

Il secondo svantaggio, soprattutto nel caso di Milano è che il database del Global Service non è nato con l'intenzione di calcolare i benefici ecosistemici della foresta urbana, ma di permettere una migliore gestione delle aree verdi. Alcuni dati necessari al modello UFORE non sono stati quindi mai raccolti. Essendo impossibilitati a raccogliere i dati mancanti per oltre 250000 piante tali dati sono stati stimati indirettamente o non sono stati inseriti.

Preparazione dei dati necessari

La lettura dei manuali teorici e pratici del software ha evidenziato la necessità di recuperare una serie di dati e informazioni relativi all'area di studio, alcuni di facile reperimento altri di maggior difficoltà.

In successione logica le informazioni necessarie per effettuare lo studio sono state le seguenti:

- Inquadramento: definizione dei confini di studio.
- Popolazione dell'area
- Anno climatico di riferimento
- Dati di inquinamento per l'anno di riferimento
- Dati di piovosità per l'anno di riferimento

Per l'inquadramento e la definizione dei confini di studio si è potuto provvedere utilizzando gli applicativi interni al software mentre per stimare la popolazione dell'area di studio si è fatto riferimento all'ultimo censimento ISTAT del 2016.

Piovosità e Inquinanti dell'aria

Per i dati relativi agli inquinanti e alla piovosità. Dati su base oraria sono richiesti dal software. E' stato quindi necessario reperire i dati orari di: NO₂, CO, SO₂, PM_{2,5}, O₃ per un intero anno di riferimento. Sono stati recuperati i dati per gli anni 2011-2013-2015. Non si è potuto utilizzare dati più recenti del 2015 in quanto I-Tree eco recupera autonomamente i dati relativi alla temperatura e radiazione solare dai database del National Climatic Data Center (NCDC) che tuttavia, per la città di Milano non è aggiornato ad anni posteriori al 2015. L'implementazione di più anni di studio ha permesso di migliorare il database esistente sulla città di Milano, anche per progetti futuri, oltretutto ogni progetto può essere lanciato senza grossi investimenti di tempo su più anni, per valutare i differenti risultati in caso di diverse annate di piovosità o di presenza degli inquinanti.



Figura 4 - Disposizione delle stazioni di rilevamento di ARPA Lombardia da cui sono stati raccolti i dati di inquinamento e piovosità

Si è optato per effettuare la prova principale utilizzando i dati meteo del 2011, che risultavano essere più completi e prossimi alla realtà.

Appoggiandosi ai dati Misurati da Arpa Lombardia si è preso Come riferimento la stazione Fissa di rilevamento di Milano Senato. I Dati mancanti causati da malfunzionamenti della stazione o mancanza degli opportuni sensori di rilevamento sono stati ricavati dalle stazioni più vicine, spesso Milano Juvara e Milano Brera. Se anche le stazioni più vicine non avevano dati disponibili sono stati stimati indirettamente con le opportune tecniche reperibili in letteratura.

Compilazione dei dati mancanti

Dagli studi di (Norazian, Shukri, Azam, & Bakri, 2008) risulta che il metodo della “media prima-dopo” dà i migliori risultati per ogni percentuale di valori mancanti seguiti dal metodo dell’interpolazione lineare.

Il metodo della “media prima-dopo” sostituisce i valori mancanti con la media tra il dato prima di un valore mancante e il dato dopo il valore mancante. Nella tecnica dell’interpolazione lineare due punti, separati da valori mancanti sono connessi da una linea retta che meglio approssima l’andamento dei valori. Riportare studio e tecniche di interpolazione

Dalla versione V6 i-Tree Eco non utilizza più i dati di PM10 ma misurazioni orarie dei PM2,5. Arpa Lombardia non effettua misurazioni orarie di Pm2,5 ma si limita alla scala giornaliera. Il dato distribuito consiste nella somma della pesata giornaliera di particolato depositato sulle bilance delle stazioni meteorologiche per 24 ore. Si è provveduto quindi a ricavare il dato orario ripartendo il dato giornaliero su base oraria dividendo il valore della pesata per 24 ore.

Per i dati di piovosità su base oraria si è fatto riferimento sempre ai dati ufficiali rilasciati da Arpa Lombardia per la Stazione di Milano Juvara. Completati nelle parti mancanti con i dati disponibili dalle stazioni più vicine.

Compilazione database I-Tree eco

Il software I-Tree eco è uno strumento in grado di fare approfondite analisi per singolo albero, come misure di LAI, Biomassa, copertura vegetale ecc. tuttavia per effettuare queste analisi necessita di un database di specie vegetali da cui attingere alcune informazioni base: tassonomia (per riconoscere l’albero di riferimento) altezza massima, tipologia di fogliame, tipologia di crescita.

Il database di I-Tree eco risulta ricco di specie vegetali già catalogate con più di 6500 record tra alberi e arbusti, tuttavia dato che il software è di stampo nordamericano erano assenti alcune specie tipiche dell’ambiente più mediterraneo o specie ornamentali presenti a Milano.

È stata quindi una priorità procedere ad effettuare il confronto tra le specie presenti nella città di Milano con quelle presenti nel database del software di i-Tree eco. Le specie mancanti sono state inserite nel database tramite la pagina web appositamente realizzata.

Raccogliere i dati in campo

Seppure come accennato in precedenza non sia stata effettuata una vera e propria fase di campo è stata mantenuta la dicitura per permettere una miglior comprensione del flusso di lavoro.

Dati necessari

Molti sono i dati necessari da raccogliere per ogni albero. I dati di possono suddividere in 4 categorie:

- Dati minimi richiesti: questi dati sono necessari al funzionamento del modello senza i quali non può essere applicato. Sono il diametro a petto d'uomo in cm, e genere e specie di ogni albero.
- Dati generali sul sito: sono dati non obbligatori ma che aiutano a descrivere l'albero e la località in cui cresce, verranno usati per raffinare i risultati del modello. Sono lo stato a cui appartengono (se si è deciso di stratificare il modello) l'uso del suolo del punto in cui crescono, lo stato dell'albero (se piantato o spontaneo) le coordinate GPS, Albero di strada (ovvero se l'albero cresce a bordo strada o no, serve a determinare la velocità di crescita), Pubblico o privato (se l'albero è proprietà pubblica o privata)
- Dati aggiuntivi sugli alberi: sono ulteriori dati necessari a raffinare i risultati del modello, non sono obbligatori, tuttavia l'assenza di alcuni di questi impedisce di ottenere particolari risultati. Sono: L'indirizzo dell'albero, L'altezza dell'albero, la dimensione della chioma (altezza impalcatura, larghezza nelle due direzioni nord-sud e est-ovest, % di chioma mancante) la salute della chioma (dieback e le condizioni) esposizione della luce alla chioma (numero di lati da cui l'albero riceve luce), la direzione dell'albero all'edificio più vicino e la distanza minima da quest'ultimo (gli ultimi due dati elencati sono necessari per il calcolo dell'energia risparmiata, senza i quali non è possibile completare il modello UFORE E)
- Dati sulla manutenzione: sono dati necessari per utilizzare le funzioni di previsione della crescita e della diffusione delle malattie nella foresta urbana. Sono : manutenzione generale (definire le pratiche di manutenzione generali) gli obiettivi generali di manutenzione che si vuole raggiungere, Danni da marciapiede (definire l'estensione dei danni da marciapiede per ogni albero), Conflitti con i servizi (bisogna definire eventuali interferenze tra gli alberi e i servizi, esempio linee tranviarie o reti fognarie) dati sulle malattie: segni e sintomi di malattie su foglie e germogli, segni di stress dell'albero, segni di carie o malattie al legno.

Raccolta Dati

Come già annunciato si è potuto sfruttare l'enorme database di alberi censiti costruito negli scorsi anni in seguito all'appalto di Global Service del comune di Milano. Tuttavia è stato necessario un particolareggiato lavoro di controllo dei dati prima di sottoporli al modello.

Si è utilizzato come partenza uno shapefile puntuale in cui sono riportati circa 240000 alberi di cui 48000 comprendevano una scheda di valutazione di stabilità (VTA), descritti da numerosi attributi.

Tassonomia: tutti i nomi sono stati riportati alla tassonomia ufficiale, correggendo eventuali errori di ortografia o valori anomali attribuiti erroneamente in fase di compilazione del database da parte degli addetti.

Diametro del tronco, Altezza: Sono stati evidenziati gli alberi di cui mancavano informazioni sul diametro del tronco a petto d'uomo e sull'altezza. Le informazioni mancanti sono state stimate dalle medie di alberi della stessa specie che rientravano nella stessa fascia di età (+3 anni) e sottoposte ad una scheda VTA, quindi misurati direttamente.

Tutti gli alberi censiti sono di proprietà del comune di Milano, per tutti sono stati selezionati gli attributi "pubblico" e "piantumato".

Grazie ad applicazioni GIS si è invece ricavato informazioni sul: Municipio di appartenenza, il progetto infatti è stato stratificato secondo i 9 municipi che compongono il comune di Milano, in modo da avere la possibilità di effettuare opportune comparazioni. Le coordinate GPS sono state attribuite ad ogni albero facilmente dato che sono stati tutti georiferiti

sovrapponendo la mappa di uso del suolo del DUSAF 2015 si è potuto applicare una categoria di uso di suolo ad ogni albero.

All'interno del database del Global service gli alberi erano già distinti per la posizione di crescita (parco, viale ecc.) gli alberi il cui attributo risultava mancante sono stati collocati mediante l'uso del GIS. Gli alberi di strada sono stati identificati sovrapponendo lo shapefile puntuale degli alberi a quello aereo delle strade. In questo modo tutti gli alberi cresciuti in strada sono stati identificati. I restanti alberi sono stati collocati in base alla sovrapposizione con le aree verdi (censite dal comune di Milano) nei parchi o aree agricole (dal DUSAF).

Non è stato possibile ottenere dati approfonditi sulla chioma perché solo pochi alberi ne risultavano provvisti, sono stati quindi stimati dal modello. In particolare è stato applicato un dieback a tutti gli alberi del 15% (categoria buona) per non rischiare di sovrastimare i risultati e per tenere conto delle operazioni di potatura che vengono periodicamente effettuate che hanno la conseguenza di ridurre il volume della chioma. Dati sulle malattie e sulla vicinanza e direzione degli edifici non sono stati raccolti.

Per cercare di ottenere un quadro più esaustivo possibile si è provveduto a raccogliere i dati, dove possibile, di aree incluse nei confini del Municipio di Milano ma non direttamente sotto gestione dell'appalto Global Service. Si è riusciti ad includere nel database gli alberi

recentemente piantumati nell'area EXPO 2015 e City Life e Parco Nord (solo la parte dentro i confini del Municipio).

Parco Nord ha reso disponibili dati georiferiti e già a formattati secondo i criteri di R3-TREE in quanto sistema gestionale già utilizzato dall'ente per la manutenzione del parco. L'inserimento è risultato poco complesso, si sono svolte operazioni di pulizia e controllo dei dati, in seguito tramite GIS si è isolata l'area di parco nord che rientra nel comune di Milano.

Gli alberi impiantati a City Life ed Expo sono stati ricavati dalle tavole di progetto esecutivo. E dagli elenchi delle specie vegetali di progetto, in cui sono riportati numeri e dimensioni delle specie inserite nelle piantumazioni a verde. Le dimensioni sono state inserite a database come riportate negli elenchi.

Considerando tutte le aree precedentemente citate si è riusciti a raggiungere il numero di 269616 alberi analizzati, di cui ben 266502 georiferiti.

Sono rimaste escluse tutte le aree a verde privato e gli alberi spontanei non gestiti a database, la raccolta di informazioni relative a questi dati sarebbe stata troppo onerosa di tempo e denaro per poter essere utile al progetto.

Valori monetari

I-Tree eco è in grado di convertire in valori monetari. i risultati quantitativi di inquinanti evitati.

Per ogni inquinante (CO₂, PM_{2,5}, SO₂, CO e NO₂) il software utilizza valori monetari calcolati dalla letteratura sviluppata in studi svolti negli Stati Uniti.

Per il monossido di carbonio ad esempio vengono utilizzati i costi marginali sociali delle emissioni di carbonio calcolati negli USA da (Fankhauser, 1994). Le emissioni degli inquinanti sono stimate invece usando i valori mediani delle esternalità per gli Stati Uniti per ogni inquinante. Questi valori espressi in dollari per tonnellata sono: NO₂ = \$6,752, PM₁₀ = \$4,508, SO₂ = \$1,653, and CO = \$959 t⁻¹. (Murray, Marsh, & Bradford, 1994) I valori dell'ozono (O₃) sono stati impostati uguali a quelli del biossido di azoto. Per i progetti internazionali si può applicare un tasso di conversione aggiornato giornalmente per convertire il valore in dollari con la valuta locale, nel nostro caso L'euro. I-tree eco fornisce gli strumenti per modificare manualmente i valori monetari dei servizi ecosistemici per renderli più fedeli alle condizioni locali. Tuttavia in assenza di una bibliografia Italiana approfondita si è preferito utilizzare i valori medi statunitensi ed effettuare il cambio di valuta.

Conoscere il valore strutturale di una foresta urbana può dare alle amministrazioni e ai pianificatori un utile base per valutare consciamente i programmi di gestione e manutenzione degli alberi urbani.

“Il valore strutturale della foresta urbana viene calcolata basandosi su un metodo del “Council of Tree and Landscape Appraiser” denominato CTLA 1992. Il valore di compensazione, che consiste nella somma di denaro necessaria a sostituire un albero considerato, includendo le dimensioni e i benefici apportati, viene calcolato considerando la locazione, la specie, il diametro del fusto e l’area basale. L’area basale e la specie sono utilizzate per determinare il valore base, il quale viene moltiplicato per indici di correzione che tengono conto delle condizioni e della località dell’albero.

Ulteriori fattori di correzione sulla specie, il costo di sostituzione media, costi di trasporto e costi di sostituzione vengono presi dalle pubblicazioni ISA (International Society of Arboriculture) per determinare i costi di sostituzione di ogni albero.

Per gli alberi troppo grandi per essere trasportati il valore di base viene calcolato con la seguente formula:

$$BV = RC + (BP \times [TA_a - TA_r] \times SF)$$

Dove RC il costo di sostituzione è il costo di un albero della massima dimensione trasportabile, BP o prezzo base è la media locale del costo di un albero per unità di volume del tronco. TA_a è l’area del tronco dell’albero considerato. TA_r è l’area del tronco di un albero con le dimensioni massime trasportabile. SF è il fattore di correzione della specie a livello locale. Se nessun dato è disponibile per una zona vengono utilizzati i dati disponibili per la zona più vicina.

Per gli alberi più grandi di 76.2cm di diametro l’area del tronco viene aggiustata con la premessa che un grande albero maturo non incrementa di valore rapidamente come l’area del suo tronco. Gli aggiustamenti vengono effettuati tenendo conto dell’aumento di dimensioni, dell’aspettativa di vita dell’albero, delle manutenzioni effettuate e della sicurezza strutturale.

La somma dei valori dei singoli alberi costituisce il valore di compensazione della foresta urbana. (Nowak & et al, www.itreetools.org/eco/resources/UFORE%20Methods.pdf, 2013)

Tree cover e I-tree Canopy

Data l’impossibilità di recuperare i dati relativi al verde privato, le aree agricole e marginali e alcuni rimboschimenti, si è ritenuto opportuno stimare la copertura vegetale dei vari municipi per poter fare opportuni confronti tra i risultati di copertura stimati da I-Tree eco, e quindi i relativi servizi ecosistemici della vegetazione fornita dal global service, con la copertura vegetale totale determinata tramite ortofoto. Per effettuare questa indagine si è utilizzato il software I-Tree canopy.

I-Tree canopy permette di utilizzare le ortofoto di Google per stimare in modo facile e

accurato la copertura vegetale di un'area e altre classi di copertura. In fase di preparazione l'utente è tenuto a definire i confini dell'area di studio tramite tracciamento o inserimento di uno shapefile lineare. In seguito bisogna stabilire le classi di copertura che si vuole considerare. Più classi di copertura verranno inserite e maggiore sarà il tempo impiegato a fare l'analisi, più precise saranno tuttavia le indicazioni riportate dal software. Per gli scopi del progetto sono state definite 8 classi: Tree (T), Grass (G) in cui rientrano i prati dei parchi e delle aiuole, Agricolo (AG) in cui rientrano tutti i campi coltivati, arati e anche erbai e i pascoli, Arbusti (AR) che insieme agli alberi contribuiscono alla tree cover, Edifici (E) in cui sono compresi edifici e monumenti, Strade (S), Piazze (P) e Acqua (W).

Il software distribuisce casualmente un numero (definito dall'utente) di punti su di un'immagine satellitare presa da Google, i punti devono essere collocati dall'utente in una delle classi di copertura del suolo definite in precedenza. L'accuratezza e la qualità dell'analisi dipende dalla capacità dell'utente di attribuire correttamente i punti alla corretta classe di appartenenza. Soprattutto nelle situazioni in cui i punti cadono sul confine tra due elementi in zone oscurate dalle ombre o su elementi dubbi. La precisione dell'analisi aumenta all'aumentare dei punti classificati. Se il numero di punti è troppo basso l'errore standard sarà alto e non si avrà certezza statistica dell'affidabilità dei risultati

Per effettuare lo studio su Milano si è divisa la superficie del Comune nei 9 Municipi. Il numero di punti scelto per ogni municipio è stato di 500 per ottenere un errore standard inferiore al 2%.

Risultati

Caratteristiche della foresta urbana di Milano

La foresta urbana di Milano analizzata è costituita da 269617 alberi e arbusti. La flora

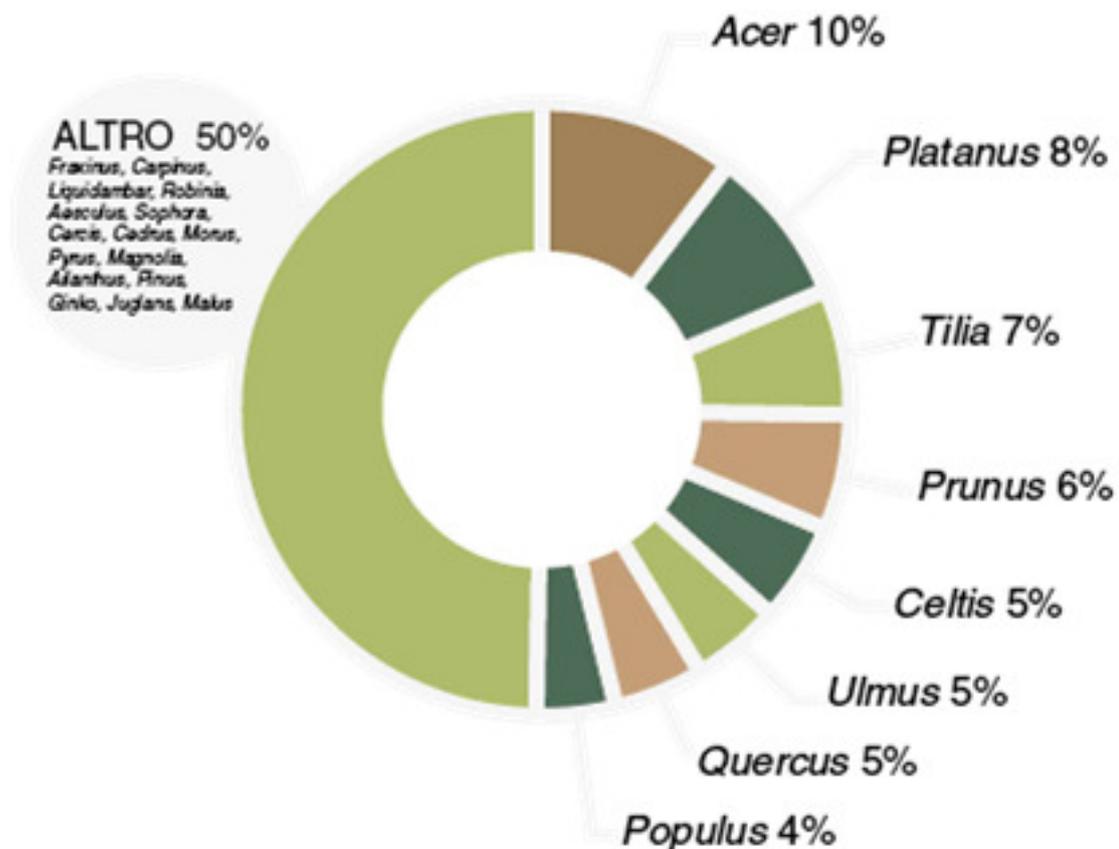


Figura 5 - Generi più rappresentativi della foresta urbana di Milano

comprende 399 specie. I generi più rappresentativi sono in ordine di numero: Aceri, Platani, Tigli, Prunus, Celtis, Olmi, Querce, Pioppi, Frassini e Carpini. Insieme compongono il 57.44% della popolazione censita dal Global Service. Di 399 specie 50 sono sempreverdi per un totale complessivo di 1393 Alberi. La diversità specifica risulta buona, tuttavia in una foresta urbana l'importanza di avere alberi ben adattati alle condizioni pedoclimatiche del luogo può superare l'obiettivo di aumentare la biodiversità. È necessario avere alberi ben adattati soprattutto per i viali alberati lungo le strade dove le condizioni di crescita sono evidentemente molto più stressanti. (Richards, 1993) Risulta quindi caratteristica comune

nella maggior parte delle foreste urbane l'essere costituite in prevalenza da molti individui di poche specie ben adattate, ed avere pochi individui di numerose specie meno adattate.

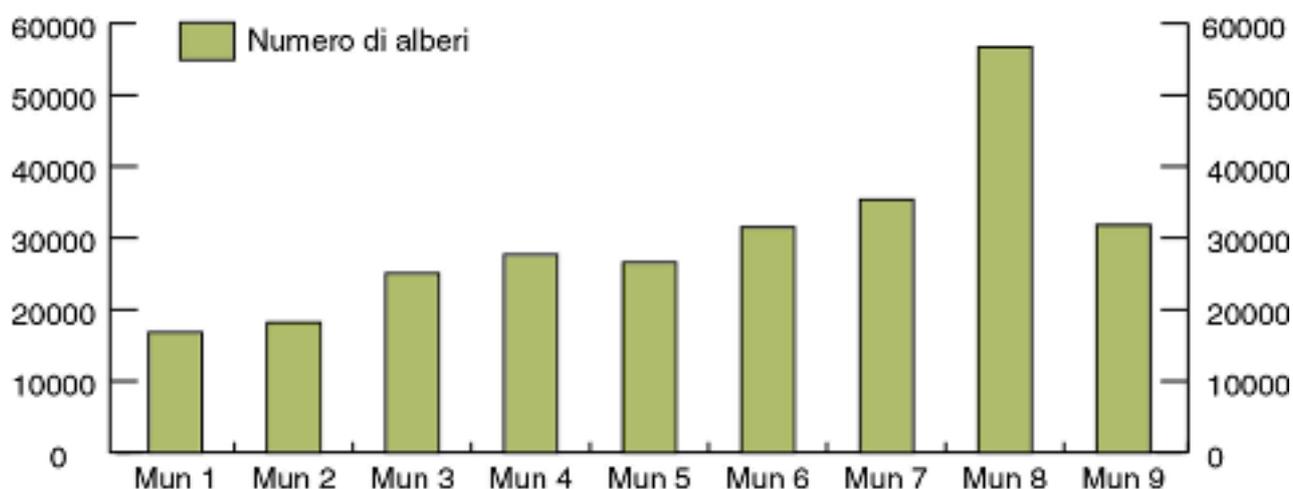


Figura 6 - Distribuzione del numero di alberi per ogni Municipio.

(Richards, 1993). Tuttavia per quanto riguarda la ripartizione specifica studi di (Miller, 1991) viene raccomandato di non superare con una specie il 10% della composizione della foresta urbana per non renderla troppo vulnerabili a situazioni catastrofiche taxon specifiche. Tuttavia anche questo ragionamento deve essere contestualizzato in base alle condizioni locali. Secondo quanto affermato da (Richards, 1993) l'equità specifica non è un obiettivo ragionevole per la maggior parte delle popolazioni degli alberi di strada perché poche specie possono avere un ampio range di adattamento alle condizioni tipiche delle nostre aree urbane.

La maggiorparte degli alberi presenti a Milano cresce nei parchi o nei filari alberati presenti in strada in tabella sono riportate, per ogni municipio, le classi di uso di suolo in cui crescono gli alberi e le loro distribuzioni.

Land Use	Municipi								
	o 1	o 2	o 3	o 4	o 5	o 6	o 7	o 8	o 9
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Aree agricole	0,00	1,30	0,80	2,50	11,70	4,20	6,90	1,30	1,50
Aree commerciali e industriali	13,30	17,10	13,20	15,00	20,40	15,90	17,20	25,80	24,70
Cimiteri	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00	0,30
Area a Prato	1,50	1,70	1,00	2,90	4,90	2,00	3,20	3,30	3,40
Scuole	0,30	1,50	0,00	0,10	0,00	0,00	0,70	0,00	0,60

Parchi	44,20	44,70	47,60	45,70	27,70	49,60	41,00	41,30	36,40
Strade	40,80	33,60	36,60	33,90	35,30	28,10	30,70	27,30	33,00
Totale	100,00								

Figura 7 - Distribuzione percentuale del numero di alberi che crescono per ogni classe di uso di suolo in ogni Municipio

Dimensioni degli alberi

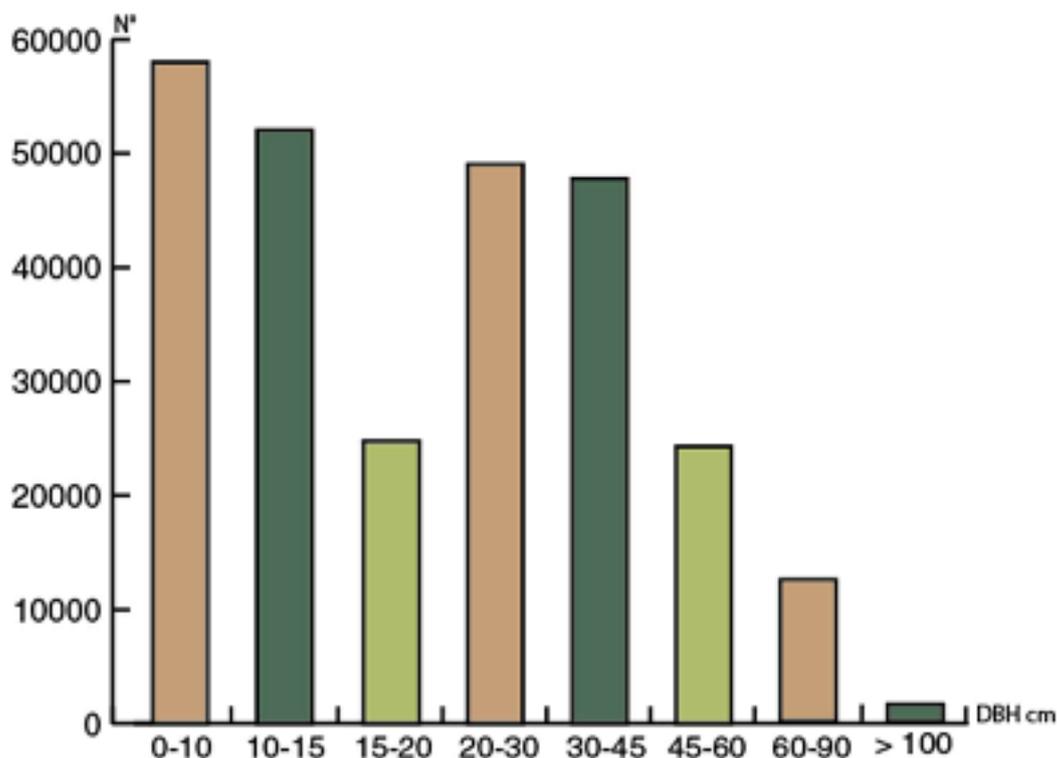


Figura 8 - Distribuzione per classi di diametro degli alberi analizzati

L'altezza media di un albero a Milano è di 9 metri tuttavia è più interessante osservare la distribuzione dei diametri. Per una foresta urbana in salute è importante che ci siano abbastanza alberi giovani per sostituire gli alberi più vecchi che arriveranno al compimento del loro ciclo di vita. Come si denota dal grafico la Foresta urbana di Milano è composta per l'85% da alberi con diametro del tronco inferiore a 45 cm. vi sono 20 esemplari con diametro del tronco sopra i 200 cm che hanno particolare importanza ornamentale. Come si evidenzia dal grafico vi è una riduzione importante del numero di piante con diametro compreso tra 15 e 19, il minor numero può essere dato da una riduzione del numero di nuove piantumazioni in passato. Tuttavia ulteriori indagini devono essere effettuate per accertarne la causa.

L'università di Toronto ha stimato che un albero con un diametro di 75cm intercetta 10 volte più inquinamento, immagazzina 90 volte più carbonio ed ha un LAI 100 volte maggiore di un albero con diametro di 15 cm. (Every Tree Counts. A portrait of Toronto's Urban Forest, 2010). Avere molti alberi è quindi importante, ma bisogna assicurarsi che con una corretta gestione possano crescere e svilupparsi nel tempo.

Classe di frequenza	Municipio								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	16,9%	23,6%	13,6%	21,8%	32,2%	23,1%	20,6%	20,3%	20,3%
15	13,4%	19,0%	14,7%	15,0%	26,7%	20,1%	23,2%	20,5%	16,5%
20	8,4%	11,3%	5,2%	7,5%	7,4%	10,2%	10,4%	9,7%	11,2%
30	13,4%	19,9%	16,6%	16,8%	15,2%	18,3%	21,1%	18,4%	21,0%
45	20,4%	14,7%	25,0%	20,8%	10,3%	16,1%	15,1%	18,3%	19,4%
60	14,3%	6,9%	17,0%	11,7%	4,5%	7,6%	6,3%	8,5%	7,9%
90	10,9%	4,1%	7,0%	5,6%	3,2%	4,4%	3,1%	3,9%	3,3%
>90	2,2%	0,4%	0,8%	0,7%	0,6%	0,3%	0,2%	0,4%	0,4%

Figura 9 - Distribuzione delle classi di frequenza del diametro del tronco degli alberi per ogni municipio. una scala graduata colorata mostra il valore più alto in verde e più basso in rosso per ogni classe di frequenza tra i Municipi.

Come si può vedere dalla tabella delle frequenze di diametro relative per municipio il 5 presenta la maggior quota di alberi giovani, mentre il Municipio 1 possiede il maggior rapporto di alberi di grosse dimensioni. Comprendere la ripartizione delle dimensioni degli alberi all'interno di ogni municipio è importante per comprenderne gli sviluppi futuri, programmare i nuovi impianti in previsione della mortalità degli alberi e comprendere le dinamiche dei valori dei servizi ecosistemici. Ad esempio un Municipio con molti alberi di grosse dimensioni avrà maggior carbonio stoccato, maggiori benefici di riduzione di inquinanti dell'aria e del runoff evitato. Tuttavia dato che gli alberi hanno raggiunto le dimensioni adulte i tassi di crescita saranno ridotti di conseguenza anche il carbonio sequestrato annualmente. È importante così avere una foresta urbana generalmente matura ma con una buona quota di nuovi impianti per sostituire gli alberi morenti e per mantenere alta la quantità di CO₂ sequestrata.

Area fogliare

Molti dei benefici ambientali legati agli alberi sono direttamente legati alla superficie fogliare. La superficie fogliare complessiva fornita dagli alberi Censiti dal Global service è di

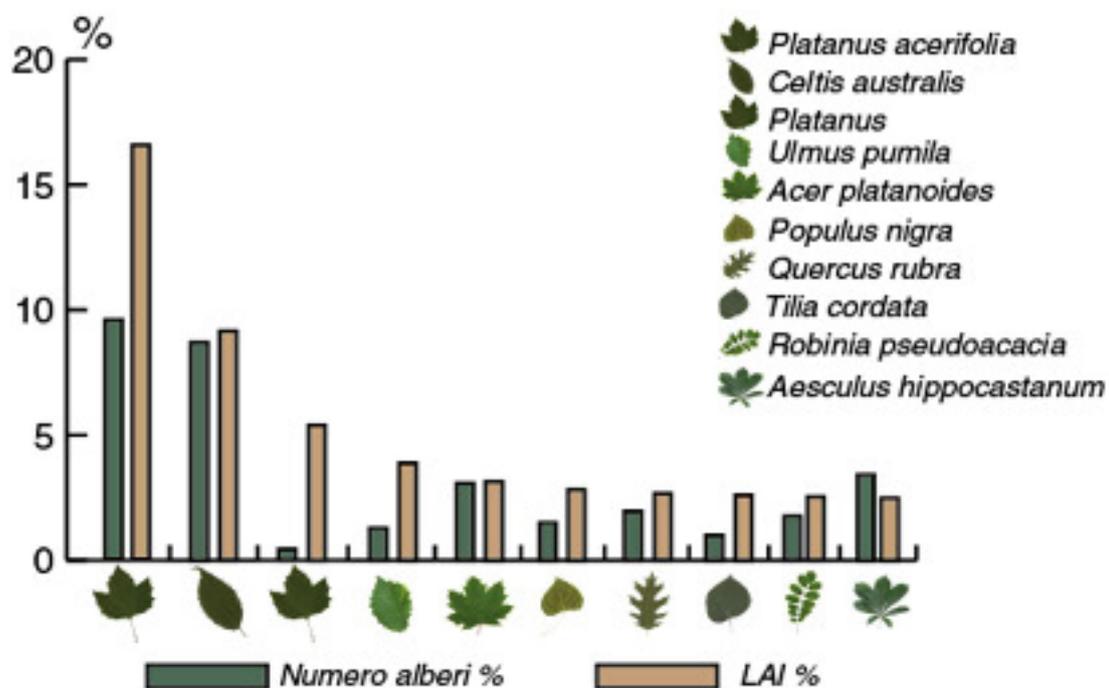


Figura 10 - Il grafico mostra il valore di superficie fogliare complessiva delle specie che contribuiscono maggiormente. I risultati, mostrati in % sono stati confrontati con il numero di piante rispetto al totale.

54,6 Km². Per fare un paragone se tutte le foglie fossero disposte sulla superficie del terreno coprirebbero il 30% della superficie di Milano.

Gli alberi che più contribuiscono ad aumentare l'area fogliare sono: Platani, Celtis, Olmi, Aceri, Pioppi, Querce, Tigli, Robinia e Ippocastani. È importante sottolineare come questa graduatoria non indichi le specie che hanno maggior capacità di alzare la superficie fogliare, ma rappresenta la sommatoria della superficie fogliare di ogni singola pianta per ogni specie che può essere determinata da numerosi fattori, ad esempio una campagna massiva di piantumazione di una specie fatta in passato, una dominanza numerica o un numero di piante di grosse dimensioni.

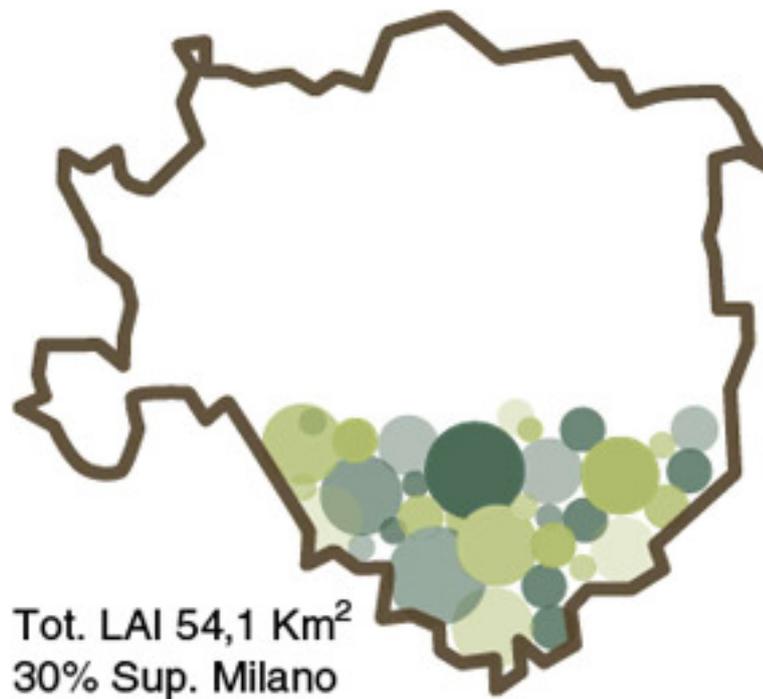


Figura 11 - La superficie fogliare complessiva di tutti gli alberi analizzati è di 54.1 Km², se tutte le foglie fossero disposte su un piano si coprirebbe una superficie pari al 30% dell'area del comune di Milano.

Si è provveduto ad analizzare le classi di diametro delle 50 specie che contribuiscono maggiormente ad incrementare la superficie fogliare. Nel grafico sottostante sono riportate le prime 10 specie, mentre nella tabella le restanti 40.

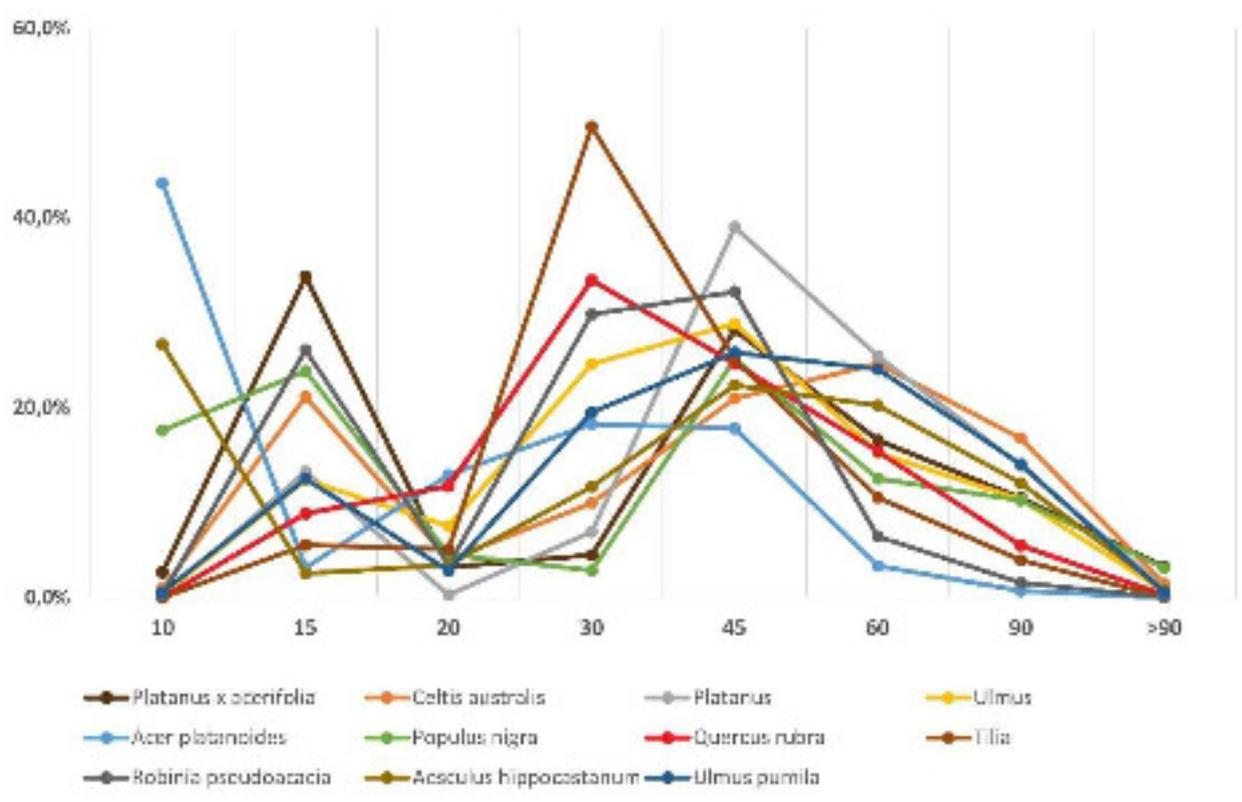


Figura 12 - Distribuzione delle classi di diametro del tronco per le specie che contribuiscono maggiormente alla superficie fogliare. Dove non è stato possibile riconoscere la specie degli alberi si è riportato solo il genere di appartenenza

Specie	Somma di Leaf Area (m ²)	10cm	15cm	20cm	30cm	45cm	60cm	90cm	>90cm
<i>Tilia cordata</i>	1132883,795	1,49%	7,34%	4,49%	72,60%	8,69%	3,98%	1,35%	0,05%
<i>Quercus robur</i>	1035636,563	0,02%	27,05%	14,92%	35,82%	10,76%	8,93%	2,29%	0,22%
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1009242,35	33,94%	3,52%	13,30%	26,80%	18,94%	2,93%	0,58%	0,00%
<i>Acer negundo</i>	964645,6431	23,68%	2,20%	9,21%	22,87%	29,51%	10,34%	2,16%	0,02%
<i>Acer saccharinum</i>	949045,2662	25,59%	2,79%	9,63%	23,53%	26,81%	8,88%	2,67%	0,09%
<i>Ulmus carpinifolia 'Hollandica'</i>	851068,6569	0,77%	14,00%	2,41%	15,11%	23,90%	26,36%	16,76%	0,68%
<i>Tilia x europaea</i>	809645,6636	0,00%	1,65%	2,94%	39,84%	29,75%	17,82%	7,57%	0,43%
<i>Fraxinus excelsior</i>	787564,9919	1,82%	69,67%	10,20%	11,49%	5,16%	1,36%	0,31%	0,00%
<i>Liquidambar styraciflua</i>	771117,1721	27,57%	16,09%	22,21%	13,10%	19,39%	1,28%	0,36%	0,00%
<i>Tilia americana</i>	764773,9042	0,08%	4,39%	5,28%	27,18%	40,82%	17,60%	4,64%	0,00%
<i>Celtis</i>	683352,3027	0,23%	5,90%	4,16%	19,13%	28,27%	23,35%	18,61%	0,35%
<i>Prunus cerasifera</i>	616327,6595	0,44%	34,13%	6,31%	36,94%	20,88%	1,17%	0,13%	0,00%
<i>Liriodendron tulipifera</i>	532172,7915	0,44%	61,41%	18,52%	9,78%	7,03%	2,56%	0,25%	0,00%
<i>Juglans nigra</i>	528235,9085	0,00%	26,99%	7,21%	33,95%	16,34%	12,32%	3,06%	0,13%

<i>Cedrus atlantica</i>	460472,8512	0,57%	0,80%	11,36%	12,73%	29,14%	28,10%	15,89%	1,41%
<i>Tilia platyphyllos</i>	440252,9819	0,12%	3,42%	5,74%	55,65%	22,03%	10,20%	2,84%	0,00%
<i>Platanus occidentalis</i>	333825,2036	0,15%	14,92%	0,00%	1,83%	35,77%	33,33%	11,87%	2,13%
<i>Ulmus glabra</i>	321026,4035	1,39%	7,05%	5,67%	17,13%	26,32%	27,71%	13,60%	1,13%
<i>Populus</i>	313923,6183	14,98%	10,10%	5,53%	1,17%	25,29%	13,50%	20,19%	9,25%
<i>Cedrus deodara</i>	311452,8931	4,76%	0,00%	90,48%	4,76%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Morus alba</i>	306722,0676	29,35%	0,53%	4,12%	51,86%	10,53%	2,98%	0,57%	0,04%
<i>Populus x canadensis</i>	303692,2575	8,33%	13,40%	0,45%	0,68%	28,94%	18,69%	21,73%	7,77%
<i>Prunus avium</i>	271984,0993	1,57%	41,24%	5,05%	28,47%	21,30%	1,82%	0,55%	0,00%
<i>Acer campestre</i>	255382,2888	53,37%	15,76%	10,77%	10,53%	8,02%	1,43%	0,12%	0,00%
<i>Tilia tomentosa</i>	230028,3553	0,00%	1,86%	9,64%	49,48%	21,49%	13,59%	3,83%	0,12%
<i>Prunus</i>	207415,8081	0,48%	44,46%	3,20%	31,56%	18,34%	1,49%	0,48%	0,00%
<i>Pinus nigra</i>	190530,4685	6,34%	11,05%	8,13%	14,61%	51,82%	6,84%	1,21%	0,00%
<i>Populus alba</i>	181590,1613	38,79%	23,77%	3,11%	5,98%	24,65%	2,53%	0,92%	0,24%
<i>Quercus palustris</i>	143304,0677	0,10%	21,93%	32,16%	30,80%	6,63%	7,02%	1,17%	0,19%
<i>Salix alba</i>	141774,7627	0,09%	50,90%	6,23%	23,74%	10,50%	6,32%	2,13%	0,09%
<i>Pinus strobus</i>	111587,0402	2,52%	7,56%	7,56%	2,13%	63,18%	14,92%	2,13%	0,00%
<i>Pinus wallichiana</i>	111248,7391	4,18%	8,77%	7,72%	3,13%	36,33%	29,23%	10,44%	0,21%
<i>Platanus orientalis</i>	54759,82742	0,00%	14,77%	0,00%	1,14%	28,41%	38,64%	12,50%	4,55%
<i>Quercus</i>	50293,74382	0,22%	39,60%	31,77%	20,81%	1,79%	4,47%	1,12%	0,22%
<i>Acer japonicum</i>	24343,7954	40,79%	0,66%	7,89%	34,87%	15,79%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Salix</i>	24055,33204	0,00%	33,12%	3,18%	34,39%	19,75%	7,64%	1,91%	0,00%
<i>Acer</i>	19671,84587	50,44%	31,14%	8,33%	6,58%	2,63%	0,44%	0,44%	0,00%
<i>Celtis occidentalis</i>	14748,28643	4,17%	27,08%	0,00%	0,00%	22,92%	22,92%	18,75%	4,17%
<i>Cedrus</i>	913,3294017	4,76%	0,00%	90,48%	4,76%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Abies</i>	238,554987	88,89%	0,00%	11,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Figura 13 - Distribuzione delle classi di diametro per le 40 specie che contribuiscono maggiormente alla superficie fogliare

Tree cover

La copertura media di Milano si attesta intorno al 7%.

Città	Stato	% Tree Cover	Città	Stato	% Tree Cover
Atlanta	USA	36,8	Boston	USA	22,3
Morgantown	USA	35,5	Baltimore	USA	21
Freehold	USA	34,4	New York	USA	20,9
Woodbridge	USA	29,5	Chicago	USA	17,2
Washington	USA	28,6	Philadelphia	USA	15,7
Moorestown	USA	28	London (UK)	United Kingdom	14
Syracuse	USA	26,9	Jersey City	USA	11,5
Toronto	Canada	26,6	Los Angeles	USA	11,1
Minneapolis	USA	26,4	Casper	USA	8,9
London (ON)	Canada	24,7	Milano	Italia	7
Providence	USA	23,9			

Figura 14 - Graduatoria secondo i valori di Tree Cover di alcune città che hanno utilizzato I-Tree eco

Rispetto alle altre città che hanno utilizzato I-tree Eco come metodo di calcolo della tree cover Milano copre le ultime posizioni. Va considerato che la copertura stimata è relativa esclusivamente agli alberi censiti dal Global Service. Rimangono esclusi gli alberi privati e gli alberi spontanei. Per provare ad avvicinarsi al valore di tree cover reali si è provveduto a stimare la copertura tramite ortofoto mediante l'utilizzo di I-Tree Canopy. La prova è stata fatta per ognuno dei singoli Municipi.

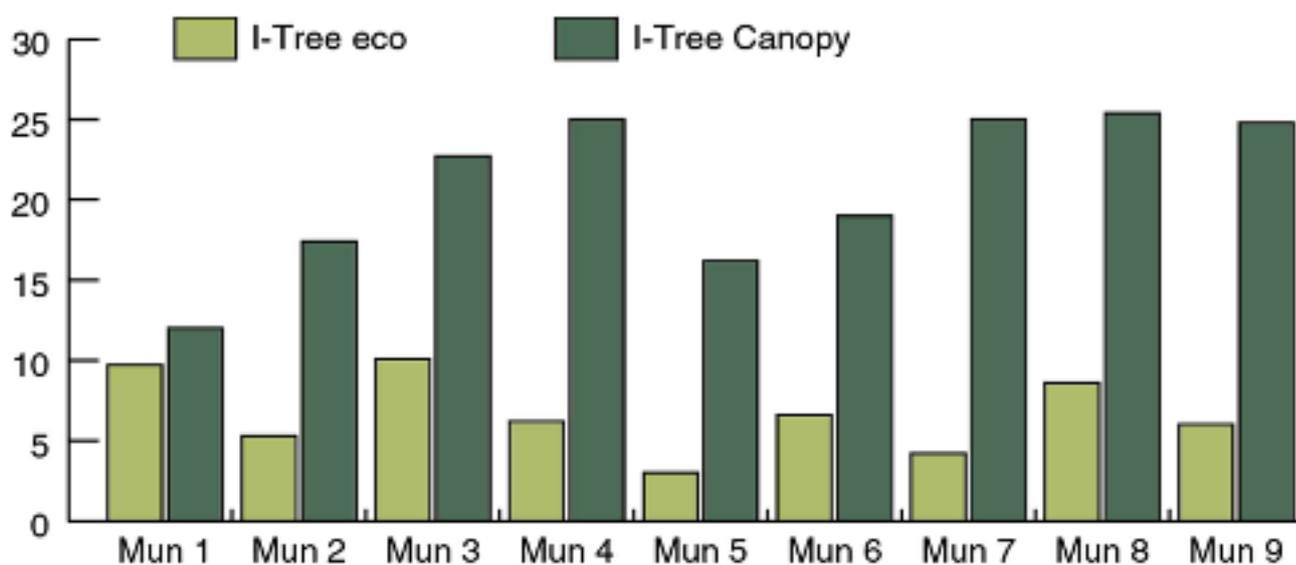


Figura 15 - Confronto tra i valori di Tree cover ottenuti per ogni Municipio con I-Tree Eco e I-tree Canopy

In Figura 15. come si può notare la copertura vegetale degli alberi gestiti dal global service è solo una parte della copertura stimata tramite ortofoto, si presuppone di conseguenza che anche i benefici ecosistemici reali di tutta la città di Milano siano effettivamente molto più alti di quanto stimato.

Valori Ecosistemici

Inquinanti dell'aria

La bassa qualità dell'aria è un problema che accomuna molte aree urbane del globo. Milano, a livello Italiano, è sicuramente uno dei punti critici su cui bisogna intervenire. Dai risultati ottenuti grazie agli alberi Milano beneficia in termini economici di una riduzione di inquinanti pari a 540000 mila €/anno per una quantità pari a 98.13 t/anno.

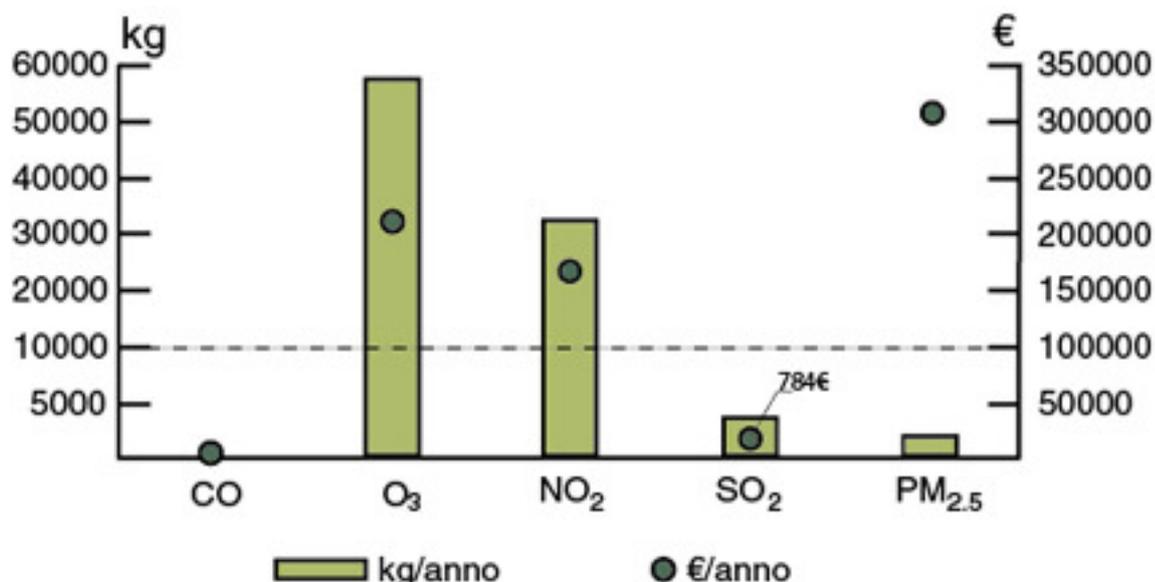


Figura 16 - Valori di rimozione degli inquinanti da parte della foresta urbana in kg (colonne verdi e asse di sinistra) e in valore monetario (punti e asse di destra)

Come si può notare dall'andamento delle misurazioni di inquinanti a Milano i maggiori picchi di inquinamento si hanno nella stagione invernale a causa della riduzione delle piogge che avviene comunemente nei mesi freddi e per l'aumento degli inquinanti emessi dal riscaldamento degli edifici. In concomitanza con questi fattori nel periodo invernale si ha anche la perdita delle foglie da parte degli alberi. Aumentare il numero di alberi sempreverdi contribuirebbe a tamponare l'effetto degli inquinanti nei mesi invernali.

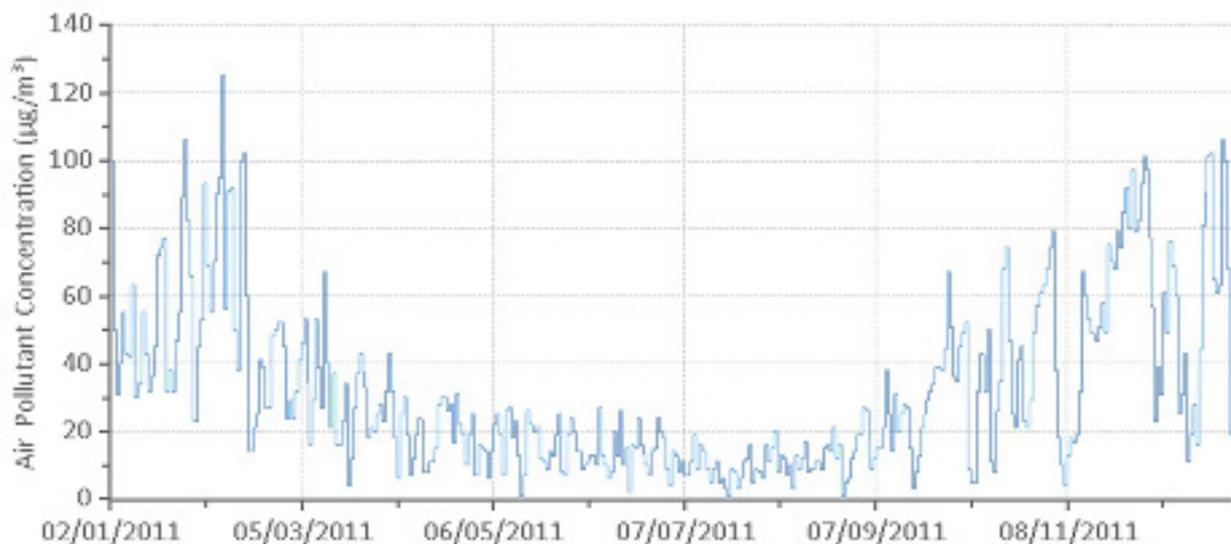


Figura 18 - Andamento delle concentrazioni di inquinanti rilevate a Milano nel 2011. Fonte dati ARPA Lombardia

Viceversa risulta l'andamento delle concentrazioni di Ozono, che vede i suoi picchi in concomitanza della stagione estiva e dei periodi di forte radiazione solare, in questo caso avere un'alta copertura vegetale favorisce fortemente la riduzione e scoraggia la formazione di Ozono in città .

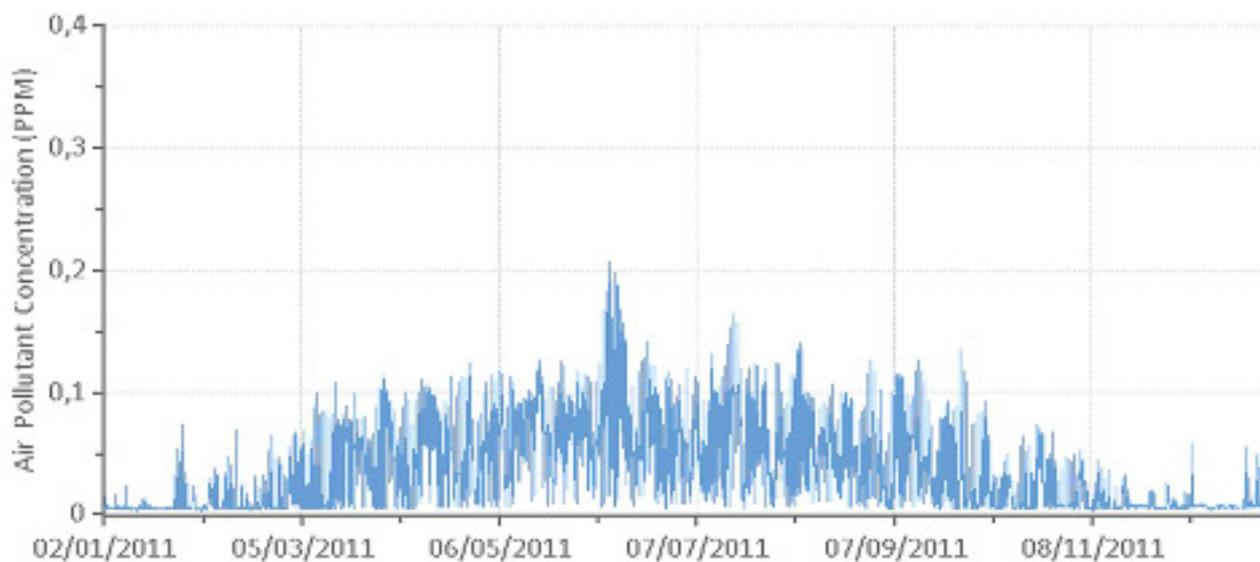


Figura 17 - Andamento delle concentrazioni di Ozono a Milano nel 2011. Fonte dati ARPA Lombardia

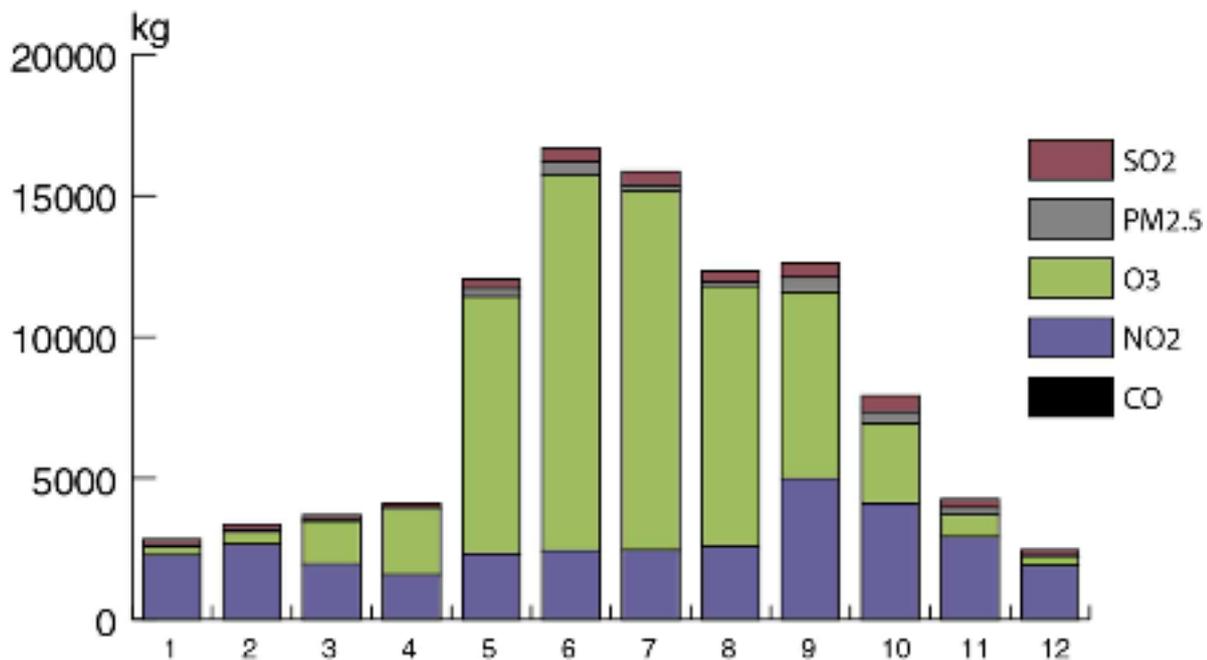


Figura 19 - Rimozione totale di inquinanti per ogni mese dell'anno. Si evidenzia l'incremento di rimozione complessiva durante il periodo vegetativo.

L'emissione di NO₂ e SO₂ è risultata costante durante l'anno, tuttavia il miglioramento della qualità dell'aria è maggiore nei periodi vegetativi.

Stoccaggio e sequestro di Carbonio.

Gli alberi hanno la capacità di sequestrare anidride carbonica dall'atmosfera e stoccarla nei loro tessuti durante le loro fasi di crescita. Ogni anno gli alberi di Milano sequestrano 1602 tonnellate di carbonio, per un valore monetario pari a 196 mila €/anno. La quantità di carbonio immagazzinata nella biomassa vegetale risulta invece di 59,6 milioni di tonnellate, per un valore stimato di 7.29 milioni di €.

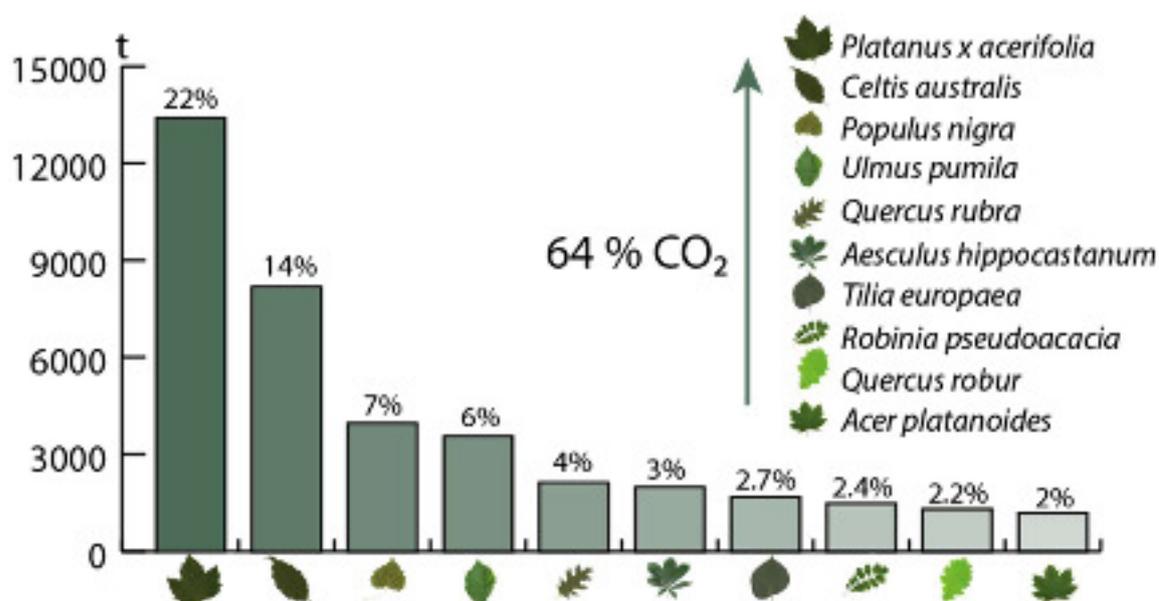


Figura 20 - Graduatoria delle specie che contribuiscono maggiormente a stoccare carbonio nei tessuti, le prime 10 specie stoccano il 64 % del carbonio totale

Un albero sano e più longevo permette di stoccare maggiori quantità di Carbonio. Risulta fondamentale gestire il patrimonio verde con le migliori tecniche agronomiche possibili. Inoltre cercare di utilizzare i sottoprodotti delle potature e degli abbattimenti per evitare che decomponendosi, o bruciando rilascino immediatamente carbonio. Risulterebbe economicamente ed ecologicamente conveniente costruire filiere per un utilizzo accorto delle biomasse (Nowak D. S., 2002). Un aspetto negativo dato dal fatto che 10 specie stoccano così tanto carbonio è dato dal fatto che in caso di un eventuale attacco patogeno con conseguente innalzamento dei tassi di moria di una specie porterebbe alla perdita di grosse quantità di Carbonio accumulato nei tessuti.

Analizzando le quantità di carbonio sequestrato annualmente si è potuto constatare l'assenza di una correlazione diretta tra la superficie fogliare e il carbonio sequestrato. Il Carbonio sequestrato dipende infatti dalla crescita dell'albero, piante giovani hanno tassi di crescita maggiori di conseguenza preleveranno più anidride carbonica dall'atmosfera.

Platani e Celtis hanno un alto valore di sequestro di carbonio anche grazie all'elevato numero di piante.

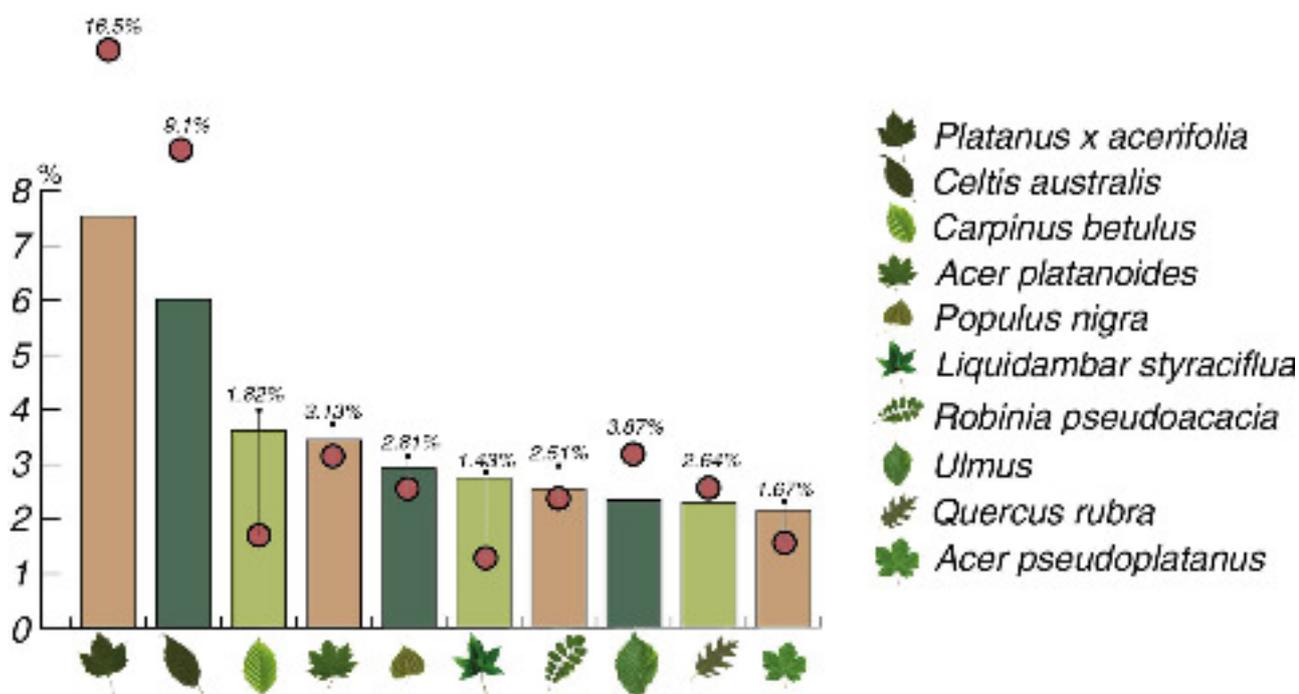


Figura 22 - Sequestro di carbonio in percentuale sul totale. Si è riportato anche il valore totale della superficie fogliare per confronto. Si denota scarsa relazione tra la superficie fogliare e sequestro di carbonio

Specie	<i>Platanus x acerifolia</i>	<i>Celtis australis</i>	<i>Carpinus betulus</i>	<i>Acer platanoides</i>	<i>Populus nigra</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Quercus rubra</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>
10	81	119	5300	4238	1350	1998	21	17	0	1878
15	3339	2618	1668	306	1829	1166	1845	751	500	195
20	171	497	879	1255	349	1609	245	455	662	736
30	814	1233	1316	1777	220	949	2109	1489	1887	1483
45	5933	2600	600	1730	1927	1405	2277	1746	1392	1048
60	4076	3048	52	325	962	93	455	923	870	162
90	2491	2075	6	71	785	26	110	626	310	32
600	464	181	1	1	240	0	3	41	18	0
TOTALE	17369	12371	9822	9703	7662	7246	7065	6048	5639	5534

Figura 21 - Frequenza di diametri delle specie con il maggior tasso annuo di sequestro di carbonio, per ogni specie si è utilizzata una scala colorata graduata che evidenzia il valore minimo (rosso) e il valore massimo (verde)

comparando il carbonio sequestrato ogni anno e la biomassa totale si può notare come il Municipio 8 spicchi grazie al numero di alberi considerevolmente superiore rispetto agli altri municipi.

Il carbonio sequestrato nel Municipio 1 risulta relativamente basso a causa dello scarso numero di piante giovani presenti.

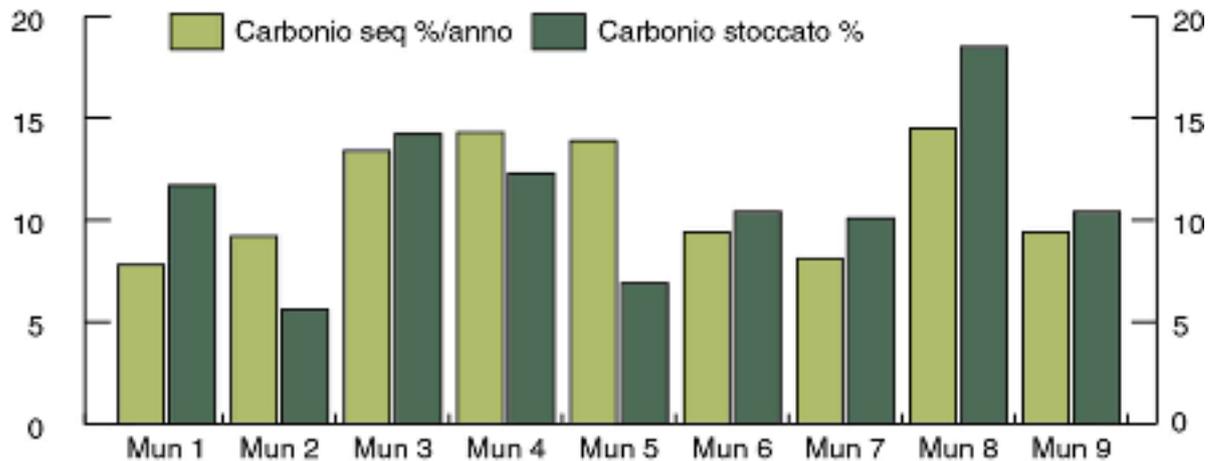
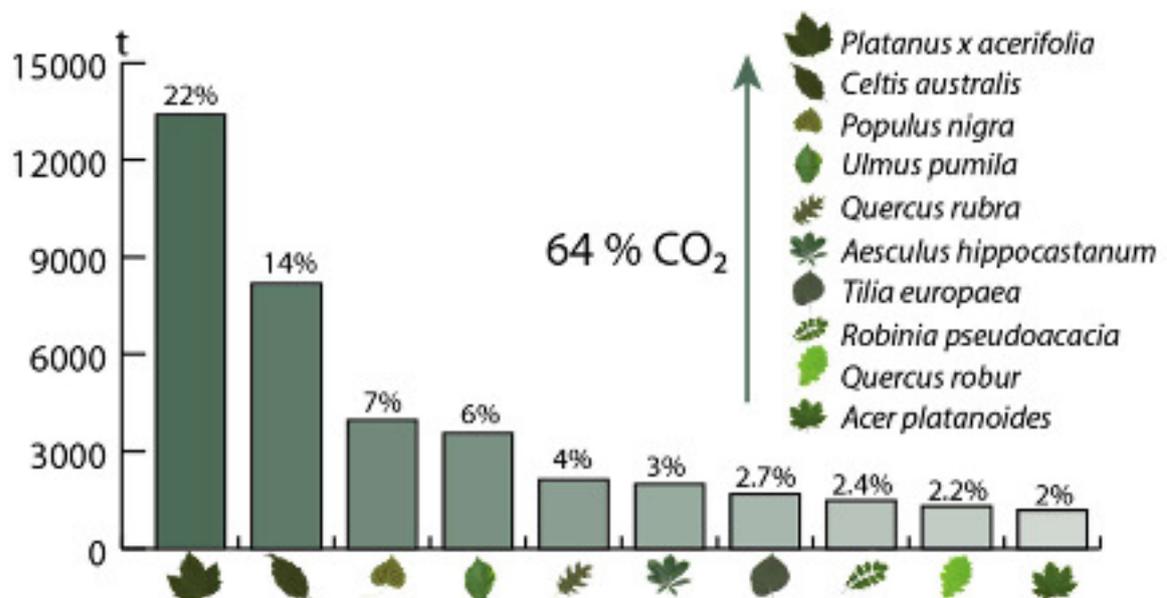


Figura 23 - Confronto tra Municipi per % carbonio sequestrato e % carbonio stoccato



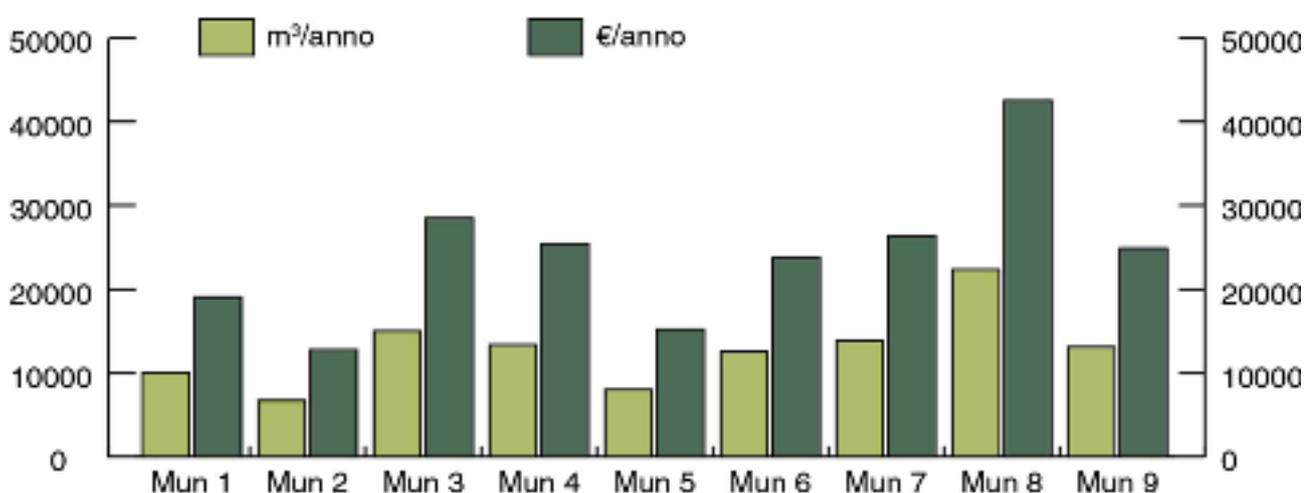
Runoff idrico evitato

Il ruscellamento idrico può essere causa di numerose preoccupazioni nelle città. Milano in particolare vede come elemento di criticità la tombinatura del Seveso, che nel corso degli

ultimi decenni ha esondato numerose volte, causando disagi e danni a popolazione e strutture non indifferenti. La capacità degli alberi di ridurre il runoff è fortemente influenzata dal LAI e dalle dimensioni della pianta. Alberi più grandi avranno maggiori influenze positive sulla capacità di trattenere l'acqua.

Si è stimato che gli alberi permettono di trattenere fino a 114538 m³/anno. Per un valore associato di 218000 €/anno.

Dalle stime effettuate il totale dei Municipi 2 e 5 risulta inferiore rispetto alla media, anche il municipio 1 ha un risultato inferiore alla media ma superiore rispetto ai municipi 2 e 5, inoltre possiede meno della metà degli alberi dei Municipi 2 e 5. La maggior età e dimensione degli alberi nel municipio 1 permette a quest'ultimi di intercettare molta più pioggia. La quantità di runoff evitato dal municipio 1 risulta quindi maggiore rispetto a quella dei municipi 2 e 5.



Ossigeno prodotto

Le piante emettono ossigeno come prodotto di scarto della fotosintesi clorofilliana, Non esiste un valore di mercato dell'ossigeno, in quanto presente in grosse quantità all'interno dell'atmosfera (21%). Non è quindi possibile attribuire un valore all'ossigeno emesso dalle piante di Milano, è stato però calcolato l'ammontare totale che è di 4272 tonnellate/anno.

Valore Strutturale

La foresta urbana possiede un suo valore strutturale basato sul valore che può avere ogni singolo albero nel caso dovesse essere sostituito. il valore strutturale tende ad aumentare in base alle dimensioni e all'età degli alberi, decresce invece se questi si trovano in cattivo stato di salute.

Il valore strutturale della foresta urbana di Milano è stato stimato attorno ai 334 milioni di €

Conclusioni

Grazie allo studio effettuato con I-Tree si è potuto quantificare per la prima volta i benefici apportati dalla foresta urbana di Milano. È importante sottolineare come il valore stimato dei benefici ecosistemici sia solo una parte di quelli realmente forniti. Numerosi e molto diversificati sono infatti i servizi ecosistemici forniti dalla foresta urbana, molti dei quali non sono stati calcolati nel modello; si può citare a titolo di esempio i servizi sociali forniti dalle piante (ritrovo, benessere psicologico), servizi di mantenimento della biodiversità e di risparmio energetico, di riduzione dell'isola di calore e molto altro. I risultati ottenuti applicando il modello UFORE alla foresta urbana di Milano sono quindi di riduttivi rispetto al valore reale che si potrebbe ottenere considerando tutti i benefici ecosistemici esistenti..

È importante evidenziare come lo studio sia stato effettuato solo sugli alberi censiti dall'appalto del Global Service, la foresta urbana di Milano risulta tuttavia molto più grande, comprendendo anche il verde urbano, il verde spontaneo e agricolo e i rimboschimenti.

L'utilizzo dei dati delle piante censite sotto l'appalto del Global Service ha tuttavia permesso di fare una analisi "ad inventario completo" per 270000 elementi tra alberi e arbusti. In tempi relativamente brevi e a costi molto contenuti. Nessuno studio di tale portata era mai stato fatto per Milano, che si ritrova quindi un ottimo punto di partenza su cui basare successivi approfondimenti, in particolare sarebbe opportuno includere nello studio di Bosco in città, la nuova "Biblioteca degli alberi" ed il parco delle cave, tutte aree che richiederebbero campagne di analisi dettagliate e molto approfondite, ma che sarebbero in grado di raffinare ulteriormente i risultati ottenuti.

I risultati ottenuti sono quindi relativi esclusivamente agli alberi gestiti direttamente dall'amministrazione comunale ed inclusi nell'appalto del global service. I reali benefici ecosistemici forniti dalla Foresta Urbana di Milano sono in realtà maggiori di quanto stimato proprio per l'enorme quantità di alberi, arbusti e aree verdi che non sono state censite.

La popolazione della foresta urbana di Milano con 399 specie di alberi e arbusti risulta ben differenziata. Come regola generale è raccomandato non avere più del 10% di una popolazione costituita da una singola specie, e non più del 20% costituita da un unico genere. (Lauren Barker, 2016). Milano rientra pienamente in questi parametri, risulta quindi munita di una foresta urbana generalmente equilibrata. Scarsi sono tuttavia gli esemplari con diametro superiore a 60cm (5.19%) di cui solo 12 sono stati proposti come alberi monumentali. Numerosi sono invece gli alberi giovani, il 40,5% degli alberi ha infatti un diametro inferiore a 15 cm. Tale valore può essere il risultato di una spinta positiva delle amministrazioni alla piantumazione di nuovi alberi negli scorsi anni, che ha portato ad un incremento del numero alberi. Con una corretta cura e manutenzione un numero così alto di giovani alberi può rappresentare una risorsa, in quanto maturando e crescendo

apporteranno maggiori benefici alla città. Milano deve tuttavia lavorare molto sul mantenimento delle piante in salute agendo sulla riduzione di stress antropici come i lavori stradali, il parcheggio delle auto sulle aiuole e le scorrette manutenzioni che portano a danneggiare in modo significativo alberi e arbusti, compromettendone la stabilità e la longevità.

Nella scelta delle specie da piantumare è importante mantenere un ottimo grado di diversità per permettere alla foresta urbana di resistere meglio ai cambiamenti climatici in atto e agli attacchi di eventuali patogeni. Come riporta (Miller 1991) è consigliabile non avere una specie dominante per più del 10% della foresta Urbana. Oltre alla diversità è tuttavia consigliabile non eccedere nell'utilizzo di piante esotiche in quanto spesso è preferibile avere piante ben adattate alle condizioni pedoclimatiche proprie della foresta urbana. Gli alberi cittadini sono infatti sottoposti a numerosi stress, avere piante robuste e resistenti è una priorità per la longevità della foresta urbana e la sicurezza dei cittadini (Richards 1993). L'amministrazione comunale ha come regola di sostituire tutte le piante morte in un'annata piante della stessa specie nell'annata di piantumazione successiva. Sebbene sia una pratica che garantisce il mantenimento del numero di piante spesso non si indagano le motivazioni che hanno portato uno o più alberi alla morte. Succede non tanto di rado che vengano perpetuate piantumazioni di specie non adatte a determinati luoghi con spesso il risultato di dover sostituire gli esemplari dopo pochi anni. Superare gli automatismi burocratici e soffermarsi invece a riflettere sui reali motivi del deperimento di un esemplare potrebbe indurre per decisioni tecniche ad utilizzare specie diverse, che potrebbero garantire risultati migliori e minor costi.

Per migliorare la qualità dell'aria nei periodi invernali, in cui la maggior parte delle piante perde le foglie e viene meno la capacità di trattenere gli inquinanti, bisognerebbe aumentare il numero di piante sempreverdi. Solo 1390 sono gli alberi sempreverdi attualmente censiti. Ovviamente molti di più sono i sempreverdi presenti nelle aree private, tuttavia non è ancora possibile, senza effettuare onerose indagini di campo stimarne il reale numero. L'amministrazione non può lasciare al caso e al privato la responsabilità di tamponare gli inquinanti nei periodi non vegetativi. Rimane quindi una misura essenziale aumentare la quota di alberi sempreverdi.

La Copertura vegetale fornita dagli alberi del Global Service risulta del 7%, seppur si è visto tramite indagini delle fotografie satellitari che se venissero considerate le aree verdi non censite il valore sarebbe maggiore.

Aumentare la tree cover è importante perché porta ad un aumento complessivo di tutti i servizi ecosistemici. Per farlo è importante intervenire su molti fronti. Alcune soluzioni possono essere migliorare le aree verdi che risultano scarsamente alberate, creare nuove aree verdi recuperando i lotti abbandonati e in disuso, interessante e attuale per il caso Milanese è il recupero degli scali ferroviari dismessi. Aumentare il verde pensile e i tetti verdi quest'ultima azione potrebbe risultare particolarmente vincente nelle aree già largamente urbanizzate dove potrebbe risultare difficile recuperare nuovi spazi. L'incentivazione dei

tetti verdi può essere fatta con sgravi fiscali o iniziative di promozione, un esempio positivo è il “Bonus Verde” 2018 che ha permesso il recupero fino a 5000 € per la realizzazione di opere di miglioramento e realizzazione di giardini e terrazzi.

Si incoraggia ad utilizzare i risultati dello studio per sensibilizzare le amministrazioni e i cittadini alla corretta gestione e all'importanza della foresta urbana per la qualità della vita nelle città. Sotto questo punto di vista il Dipartimento Area Verde Agricoltura e Arredo Urbano in collaborazione con il SIT di Milano hanno effettuato una scelta lungimirante rendendo pubblici i risultati ottenuti tramite un servizio WFS ad accesso libero per ogni cittadino interessato, poter accedere facilmente a questi dati e conoscere i servizi ecosistemici forniti da ogni albero (ad esempio gli alberi sotto casa o di uno specifico parco) può essere una spinta per le persone ad approfondire i temi ambientali riguardanti il verde.

Lo studio svolto rappresenta quindi un primo passo effettuato per comprendere la foresta urbana. In futuro potrà essere integrato e approfondito con altre analisi su aree non incluse e i dati mancanti. Studi futuri, svolti a distanza di anni potranno permettere di analizzare lo sviluppo della Foresta Urbana nel tempo e sapere se la gestione del verde che verrà dalle amministrazioni porta a migliorare o peggiorare la qualità del verde.

I risultati ottenuti sono inoltre un ottimo materiale per i progettisti e gli addetti del settore, in un periodo in cui le certificazioni ambientali per nuovi progetti sono sempre più richieste avere dati disponibili per la città consente di fare previsioni a breve-medio e lungo termine sui reali vantaggi apportati dalla realizzazione di nuove aree verdi, o dalla piantumazione di nuovi alberi. Saper coinvolgere politici e cittadini con dati reali permette di avere un quadro chiaro dei vantaggi apportati dal verde in grado di sopportare scelte politiche e progettuali.

Indice delle Figure

Figura 1 - Schema delle principali azioni e obiettivi proposti dalla Strategia nazionale del Verde Urbano. Come si può vedere gli interventi sono strettamente correlati tra di loro ..	12
Figura 2 - Classificazione dei servizi ambientali secondo De Groot 1992 e alcuni esempi ...	13
Figura 3 - Schema concettuale delle decisioni da intraprendere prima di avviare un progetto con I-Tree eco. Fonte: Manuale utente	37
Figura 4 - Disposizione delle stazioni di rilevamento di ARPA Lombardia da cui sono stati raccolti i dati di inquinamento e piovosità	40
Figura 5 - Generi più rappresentativi della foresta urbana di Milano	47
Figura 6 - Distribuzione del numero di alberi per ogni Municipio	48
Figura 7 - Distribuzione percentuale del numero di alberi che crescono per ogni classe di uso di suolo in ogni Municipio	49
Figura 8 - Distribuzione per classi di diametro degli alberi analizzati	49
Figura 9 - Distribuzione delle classi di frequenza del diametro del tronco degli alberi per ogni municipio. una scala graduata colorata mostra il valore più alto in verde e più basso in rosso per ogni classe di frequenza tra i Municipi	50
Figura 10 - Il grafico mostra il valore di superficie fogliare complessiva delle specie che contribuiscono maggiormente. I risultati, mostrati in % sono stati confrontati con il numero di piante rispetto al totale.	51
Figura 11 - La superficie fogliare complessiva di tutti gli alberi analizzati è di 54.1 Km2, se tutte le foglie fossero disposte su un piano si coprirebbe una superficie pari al 30% dell'area del comune di Milano.	52
Figura 12 - Distribuzione delle classi di diametro del tronco per le specie che contribuiscono maggiormente alla superficie fogliare. Dove non è stato possibile riconoscere la specie degli alberi si è riportato solo il genere di appartenenza	53
Figura 13 - Distribuzione delle classi di diametro per le 40 specie che contribuiscono maggiormente alla superficie fogliare	54
Figura 14 - Graduatoria secondo i valori di Tree Cover di alcune città che hanno utilizzato I-Tree eco	55
Figura 15 - Confronto tra i valori di Tree cover ottenuti per ogni Municipio con I-Tree Eco e I-tree Canopy	55
Figura 16 - Valori di rimozione degli inquinanti da parte della foresta urbana in kg (colonne verdi e asse di sinistra) e in valore monetario (punti e asse di destra)	56
Figura 17 - Andamento delle concentrazioni di Ozono a Milano nel 2011. Fonte dati ARPA Lombardia	57
Figura 18 - Andamento delle concentrazioni di inquinanti rilevate a Milano nel 2011. Fonte dati ARPA Lombardia	57
Figura 19 - Rimozione totale di inquinanti per ogni mese dell'anno. Si evidenzia l'incremento di rimozione complessiva durante il periodo vegetativo.	58
Figura 20 - Graduatoria delle specie che contribuiscono maggiormente a stoccare carbonio nei tessuti, le prime 10 specie stoccano il 64 % del carbonio totale	59

Figura 22 - Frequenza di diametri delle specie con il maggior tasso annuo di sequestro di carbonio, per ogni specie si è utilizzata una scala colorata graduata che evidenzia il valore minimo (rosso) e il valore massimo (verde)	60
Figura 21 - Sequestro di carbonio in percentuale sul totale. Si è riportato anche il valore totale della superficie fogliare per confronto. Si denota scarsa relazione tra la superficie fogliare e sequestro di carbonio	60
Figura 23 - Confronto tra Municipi per % carbonio sequestrato e % carbonio stoccato	61

Bibliografia

- Baldocchi, D. (1994, An analytical solution for coupled leaf photosynthesis and stomatal conductance models). *An analytical solution for coupled leaf photosynthesis and stomatal conductance models*. Tree physiology.
- Baldocchi, D., Hicks, B., & Camara, P. (1987). A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*(21), 91-101.
- Barbera, G., Pecorella, G., & Silvestrini, G. (1991). Reduction of cooling loads and CO2 emission through the use of vegetation in Italian urban areas. *Architecture and urban space*.
- Barbour, M. G., Burk, J., & Pitts, W. D. (1980). *Terrestrial plant ecology*. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings Publication.
- Bingham, G., & et al. (1995). Issues in ecosystem valuation: improving information for decision making. *Ecol. Econ*(14), 73-90.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*(29), 293-301.
- Bonaiuto, M. F. (2003). indexes of perceived residential environment quality and neighbourhood attachment in urban environments: a confirmation study on the city of Rome. *Landscape and Urban Planning*, 65, 41-52.
- Brasseur, G. P., & Chatfield, R. B. (1991). *The fate of biogenic trace gases in the atmosphere*. New York: Academic Press.
- Buffoni, A., & Siena, F. (2007). Inquinamento atmosferico in città: il ruolo del verde urbano. *Sherwood*.
- Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., & Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111, 1-11.
- Cardellino, C., & Chameides, W. (1990). Natural hydrocarbons, urbanization, and urban ozone. *Journal Geophys. res.*(95), 971-979.
- Chiesura, A. (2007). *Gestione ecosistemica delle aree verdi urbane: analisi e proposte*. Roma: ISPRA.
- Comitato per lo sviluppo del verde. (2018). *Strategia Nazionale Del Verde Urbano*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
- Comitato per lo sviluppo del verde pubblico. (2017). *Linee guida per il governo sostenibile del verde urbano*. MATTM.

- Costanza, R. R. (1997, 387(6630)). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*(6630), 253-260.
- Costanza, R., Perrings, C., & Cleveland, C. (1997). The development of ecological economics. *Brookfield: Elgar*.
- Daily, G. (1997). Nature's Services, Societal Dependence on Natural Ecosystems.
- De Groot, R. (1992). Functions of Nature. Evaluation of nature in environmental planning management, and decision making.
- EEA. (2011). *Green infrastructure and territorial cohesion* (Vol. 18). EEA Technical Report.
- (2010). *Every Tree Counts. A portrait of Toronto's Urban Forest*. Toronto. Tratto da www.toronto.ca/trees/pdfs/Every_Tree_Counts.pdf
- Fankhauser, S. (1994, 2). The social costs of greenhouse gas emissions: an expected value approach. *15*, 157-184.
- Ferrini, F. (2006, Aprile). Forestare la città: ruoli e funzioni del verde urbano e periurbano. *Arboricoltura tecnica*.
- Geron, C. D., Guenther, A. B., & Pierce, T. E. (1994). *An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forest in the eastern United States*. (Vol. 99). Journal of Geophysical Research.
- Geron, C., Guenther, A., & Pierce, T. (1994). An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forests in the eastern United States. *Journal of Geophysical Research*, 99(D6), 773-791.
- Guenther, A. (1997). Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. *Ecological Applications*, 7(1), 34-45.
- Guenther, A., Hewitt, C., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T., . . . Klinger, L. (1995). A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research*, 100(D5), 8873-8892.
- Hahn, J. T. (1984). *Tree volume and biomass equations for the Lake States* (Vol. NC-250). St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service,.
- I-tree Eco's, i. p. (s.d.). <https://www.itreetools.org/eco/international.php>. Tratto da <https://www.itreetools.org/eco/international.php>
- Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). The Experience of nature: a psychological perspective. . *Cambridge University press*.
- Kumar, M., & Kumar, P. (2008). Valuation of the ecosystem services: A psycho-cultural perspective. *Ecological economics*, 4(64), 808-8018.
- Lauren Barker, M. P. (2016). *State of Denton Urban Forest*. Texas Trees Foundation, Preservation Tree Services, Plan-It Geo.

- McPherson, E. G., & Simpson, J. R. (1999). *Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters*. Albany, CA: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Miller, R. a. (1991). Planting survival of selected street tree taxa. *17*, 185-191.
- Mirabile, M. (2004). *Il verde urbano e la biodiversità nelle città in : I Rapporto APAT "Qualità dell'ambiente urbano"*.
- Monteith, J., & Unsworth, M. (1990). *Principles of environmental physics*. New York: Edward.
- Murray, F. J., Marsh, L., & Bradford, P. A. (1994). New York state energy plan, vol II: issue reports.
- Norazian, N. M., Shukri, Y. A., Azam, N. R., & Bakri, M. A. (2008, Giugno). Estimating of missing value in air pollution data using single imputation techniques. *ScienceAsia*, *34*, 341-345.
- Nowak, D. (1991). *Urban forest development and structure: analysis of Oakland*. dissertation, University of California., Berkeley.
- Nowak, D. (1995). Trees pollute? A "TREE" explains it all. *7th National Urban Forest Conference* (p. 28-30). Washington DC: American Forests.
- Nowak, D. (1996). Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban. *Forest Science*, *4*(42), 504-507.
- Nowak, D. J. (1994). *Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest*. (E. McPherson, D. Nowak, & R. Rowntree, A cura di) Chicago's urban forest ecosystem:.
- Nowak, D. J. (1994). Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. *department of agriculture, Forest Service, northeastern Forest Experiment Station*, 83-94.
- Nowak, D. J. (1994). *Urban forest structure: the state of Chicago's urban forest*. Chicago: U.S. Department of agriculture, Forest Service.
- Nowak, D. J. (1996). *Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees* (Vol. 42). Forest science.
- Nowak, D. J. (1998). Modelling the effects of urban vegetation on air pollution. *Air pollution modelling and its application*, 399-407.
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2000). *The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying Urban Forest Structure and Functions*. U.S. Dept. of Agriculture.
- Nowak, D. J., & et all. (2013). www.itreetools.org/eco/resources/UFORE%20Methods.pdf. (U. f. service, A cura di) Tratto da <https://www.itreetools.org/resources/archives.php>.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Dwyer, J. F. (2002). *Compensatory value of Urban trees in the United States* (Vol. 28). (U. F. Service, A cura di) Journal of Arboriculture.

- Nowak, D. J., McPherson, E. G., & Rowntree, R. A. (1994). *Air pollution removal by Chicago's urban forest*. department of agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- Nowak, D. S. (2002). *Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide* (Vol. 28). *Journal Arboric*.
- Richards, N. A. (1993). *Reasonable guidelines for street tree diversity* (Vol. 19).
- Sanesi, G., & Laforteza, R. (2002). Verde urbano e sostenibilità: identificazione di un modello e di un set di indicatori. *Il sole 24 ore*(9).
- Satoshi , H., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (s.d.). *Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE – D) Model description*.
- Simpson, J. (1998, 4). Urban forest impact on regional cooling and heating energy use: Sacramensto County case study. *journal arboric*(24), 201-214.
- VV., A. (1997). *Manuale per tecnici del verde utbano*. Città di Torino.
- Zimmerman, P., Chatfield, R., Fishman, J., Crutzen, P., & Hanst, P. (1978). Estimating the production of CO and H₂ from the oxidation of hydrocarbon emissions from vegetation. *Geophysical Research Letters*, 5(8), 679-682.

