



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Erasmus+

Vademecum per la Pianificazione Sostenibile del Verde Urbano





Questo documento è stato sviluppato all'interno del progetto Erasmus Plus "Viridis Loci" (2021 - 1 - IT01- KA220 - VET – 000025302).

Il supporto della Commissione Europea per la produzione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione dei contenuti, che riflettono solo le opinioni degli autori, e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni ivi contenute.

Tipo di risultato: Metodologie / linee guida – Quadro metodologico per l'implementazione.

Vademecum per la pianificazione sostenibile degli spazi verdi urbani

Indice:

1. Descrizione del progetto
2. Obiettivi del documento
3. Servizi Ecosistemici – definizione
4. Analisi e quantificazione dei servizi ecosistemici
5. Conclusioni e prossime tappe
6. Appendice

1. Descrizione del progetto

Il progetto **Viridis Loci (VL)** ha l'obiettivo di fornire formazione specializzata di VET (formazione professionale tecnica) e trasferimento di competenze nella corretta gestione delle aree verdi e dei parchi nei comuni, destinata ai tecnici pubblici e ai soggetti privati interessati a una gestione professionale avanzata della natura urbana in tre isole europee: Sardegna, Isole Baleari e Madeira. La Repubblica Ceca contribuirà allo sviluppo del progetto come uno dei paesi europei dove "la cultura della corretta gestione delle aree verdi nelle città come fornitori di servizi ecosistemici e sociali per l'intera comunità" è profondamente radicata, considerando anche il ruolo e la presenza dei partner cechi.

I partner del progetto provengono da quattro paesi europei: Italia, Spagna, Portogallo e Repubblica Ceca. I partner italiani sono ANCI Sardegna (capofila del progetto), Fito-consult e ATM Consulting; il partner spagnolo è FELIB (Federazione dei comuni delle Isole Baleari); il partner portoghese è AREAM (Agenzia Regionale per l'Energia e l'Ambiente della Regione Autonoma di Madeira). Il partner ceco è ABA International (un'associazione internazionale senza scopo di lucro per l'educazione e l'organismo di certificazione).

Il consorzio ha presentato questo progetto per tre motivi principali:

1. **Sostenibilità ambientale e lotta contro i cambiamenti climatici:** il progetto sottolinea il ruolo delle aree verdi/ parchi ben gestiti all'interno delle città e dei comuni in generale come fornitori di servizi ecosistemici (benefici che le persone ottengono dalla natura, ad esempio, regolazione del clima, cattura del CO₂, miglioramento della qualità dell'aria, valori culturali, salute pubblica e conservazione della biodiversità).
2. **Incremento dell'inclusione:** il progetto opererà in tre contesti insulari nel sud Europa, che, a causa della loro geografia, tendono a essere isolati e in svantaggio economico permanente rispetto ad altre regioni del continente.
3. **Colmare il divario di conoscenze con l'uso delle tecnologie ICT** per trasmettere una metodologia lavorativa altamente tecnologica e innovativa.

Il progetto opererà in tre contesti insulari nel sud Europa, che, a causa della loro geografia, tendono a essere isolati e in svantaggio economico permanente rispetto ad altre regioni del continente. Le isole tendono a essere in ritardo in termini economici e i processi di innovazione impattano negativamente sulle comunità che vi risiedono. I tassi di



disoccupazione nelle tre isole sono elevati, con picchi drammatici tra i giovani e in tutti i casi superiori alla media nazionale: Sardegna (18% - disoccupazione giovanile intorno al 45%), Isole Baleari (disoccupazione giovanile 17% - circa 40%) e Madeira (10% - 50,5% di disoccupazione giovanile).

2. Obiettivi del documento

Il “**Vademecum per la pianificazione sostenibile degli spazi verdi urbani**” rappresenta un risultato chiave nell'ambito del progetto **Viridis Loci**. Infatti, il presente documento ha l'obiettivo di:

- Introdurre nuovi concetti e competenze, rivolgendosi agli attori attivi nella pianificazione urbana e territoriale;
- Proporre soluzioni digitali in grado di quantificare i benefici ambientali (in particolare, i servizi ecosistemici) offerti dalla vegetazione urbana;
- Aumentare la consapevolezza tra gli attori sui benefici della vegetazione urbana e delle soluzioni basate sulla natura.

Questo porterà a una pianificazione urbana e una gestione più consapevole e, di conseguenza, a un aumento della sostenibilità nelle aree urbane. Il **Vademecum** risponde direttamente a una crescente esigenza, poiché è evidente che il coinvolgimento di attori e cittadini, interessati a nuove e innovative metodologie per valutare e analizzare la vegetazione urbana, comprese quelle digitali, è sempre più rilevante. Il documento va visto come una bussola per navigare tra concetti nuovi e come punto di partenza per apprendere le più recenti soluzioni digitali applicabili a livello urbano. Tuttavia, per chi è particolarmente interessato ad applicare le metodologie esposte, potrebbe essere utile approfondire la letteratura pertinente (vedi Appendice) e tenere presente che ogni ambiente ha le proprie caratteristiche specifiche, e quindi potrebbero essere necessarie calibrazioni e validazioni in ambienti specifici.

In generale, la necessità di proporre un **Vademecum** in grado di delineare un nuovo approccio per valutare, gestire e pianificare la vegetazione verde urbana nasce dall'importanza crescente e dalla complessità che oggi le infrastrutture verdi urbane ricoprono. Infatti, è chiaro che queste migliorano la qualità della vita degli abitanti urbani e contribuiscono al raggiungimento degli obiettivi dell'Agenda 2030, comprese la sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

A causa di questa crescente importanza e della crescente sensibilità anche tra i cittadini, negli ultimi anni molti progetti di sviluppo a livello cittadino hanno dovuto considerare il ruolo ambientale e socio-culturale delle aree verdi urbane sotto una nuova luce. Questo perché la "rigenerazione urbana" è diventata una priorità. Tuttavia, oggi non esistono quadri di riferimento accettati per valutare e misurare il valore della vegetazione urbana e i servizi ecosistemici forniti. Ciò si traduce in progetti che spesso non portano miglioramenti tangibili degli ambienti urbani o, nel migliore dei casi, miglioramenti che non possono essere quantificati.

Infatti, i quadri di valutazione attualmente disponibili offrono risultati qualitativi e soggettivi, con numeri e un possibile valore economico che dipendono da un numero limitato di indicatori, spesso derivati da altri ambiti scientifici e adattati agli ecosistemi urbani. Di conseguenza, sorge la necessità di un approccio innovativo, con la caratteristica di essere quantitativo. Al suo centro, la quantificazione della vegetazione urbana e dei servizi ecosistemici. La vegetazione urbana – che include tutti gli alberi, arbusti, prati e altre piante nelle città – se adeguatamente gestita, può svolgere un ruolo importante per garantire una buona qualità della vita e affrontare le sfide poste dall'Agenda 2030, contribuendo al raggiungimento di vari Obiettivi di Sviluppo Sostenibile: infatti, negli ambienti urbani, può fornire numerosi servizi ecosistemici, come la purificazione dell'aria, la regolazione del clima globale, la regolazione della temperatura, la mitigazione del deflusso delle acque e opportunità ricreative, aumentando i valori estetici. In poche parole, la vegetazione urbana può aiutare a rendere le città più sicure, sane, prospere e più attraenti, con benefici suddivisi in categorie sociali, comunitarie, ambientali ed economiche.

Nonostante questo ruolo centrale, la vegetazione urbana non è spesso considerata una priorità dai decisori, tanto che le risorse finanziarie vengono allocate ad altre aree, percepite come più importanti. Ancor peggio, nella maggior parte dei casi, è vista come un costo, anche se gli studi hanno dimostrato che i benefici degli alberi urbani superano i costi con rapporti che variano tra 1,37 e 3,09, con un valore stimato dei **servizi ecosistemici** forniti di 3,8 miliardi di dollari all'anno negli Stati Uniti. Pertanto, nonostante anni di ricerche e poiché l'ambiente urbano differisce da quello naturale, la vegetazione urbana vive in condizioni

inospitali, con una durata di vita limitata – un albero urbano vive in media tra i 19 e i 28 anni – influenzando la sua capacità di fornire benefici a lungo termine. Per questo motivo, negli ultimi anni molti ricercatori hanno iniziato a sviluppare strategie per potenziare l'impatto della natura sugli insediamenti umani, dando un ruolo scientifico primario – pur con molte possibilità di crescita – alla natura urbana, alla sua implementazione e alla sua gestione, che è cruciale per garantire i contributi ottimali al benessere fisiologico, sociologico ed economico delle società urbane. La vegetazione urbana dovrebbe essere studiata con un approccio integrato, interdisciplinare, partecipativo e strategico alla pianificazione e alla gestione della sua presenza dentro e intorno alle città. Pertanto, essendo una questione interdisciplinare, la pianificazione e la gestione della vegetazione urbana è altamente complessa, dovendo affrontare numerosi temi, come ecologia del paesaggio, arboricoltura, pianificazione urbana e scienze ambientali; soddisfacendo nel contempo gli interessi dei diversi attori – principalmente cittadini, autorità pubbliche, ricercatori e industrie coinvolte.

Oggi questi temi necessitano di un forte supporto alla ricerca per ottenere uno sviluppo a lungo termine, che dovrebbe affrontare quattro componenti principali:

1. la conservazione, implementazione e adattamento delle aree naturali all'interno delle città, per migliorarne l'adattamento all'ambiente urbano, migliorando quindi i servizi ecosistemici forniti;
2. la configurazione spaziale delle aree verdi urbane: sistemi ben progettati e pianificati possono garantire una migliore conservazione della biodiversità, collegando le aree rurali e urbane;
3. la gestione della vegetazione urbana – un aspetto che necessita ancora di essere approfondito – sviluppando piani locali e su misura, in grado di soddisfare esigenze peculiari;
4. un miglioramento dei processi decisionali che deve essere più partecipato e trasparente, con dati quantitativi forniti da quadri di riferimento affidabili.

Il documento che segue vuole rappresentare i primi tentativi in questa direzione, presentando una metodologia e strumenti che possono essere applicati nei contesti urbani per raggiungere un livello di gestione più consapevole.

3. Servizi Ecosistemici – definizioni

I partner di **Viridis Loci** sono profondamente radicati nei punti di vista degli attori coinvolti, e per questo motivo ritengono necessario introdurre e definire correttamente il concetto di **Servizi Ecosistemici**.

Il termine **Servizi Ecosistemici (SE)** è stato introdotto all'inizio degli anni '80 e successivamente sviluppato nel decennio successivo, principalmente grazie alle ricerche di Daily e Costanza. Quest'ultimo condusse una delle prime stime globali per calcolare il valore complessivo dei SE annualmente forniti dalla Terra all'umanità, con una cifra risultante compresa tra i 16.000 e i 54.000 miliardi di dollari. Questi studi portarono a ulteriori ricerche sviluppate in ambiti più specifici, che furono successivamente integrate su scala internazionale grazie al **Millennium Ecosystem Assessment (MEA)**. Qui, i SE sono definiti come i benefici che l'umanità ottiene, o può ottenere, dagli ecosistemi. Costanza propose 17 tipi di SE, mentre il MEA li riduce a 4 categorie principali, sottolineando fortemente le strette relazioni – con potenzialità e intensità differenti – tra i SE e il benessere umano in termini di sicurezza, fornitura di materiali essenziali, salute e relazioni sociali – tutti aspetti fondamentali per garantire la libertà nelle scelte e nelle azioni. Il MEA analizza il concetto di SE applicando l'idea di **valore di utilizzo diretto** (per indicare i benefici derivanti dall'uso diretto, il cui valore può essere ottenuto tramite indagini) o **indiretto** (per indicare i benefici derivanti da processi, quindi non direttamente disponibili, come i processi che portano alla formazione del suolo, alla purificazione dell'acqua, alla pollinazione...). Inoltre, il MEA aggiunge la declinazione del valore dei SE su diversi livelli individuali e futuri (indicando il valore che siamo disposti ad attribuire alla necessità di conservare e trasmettere alle generazioni future le risorse naturali, quindi non utilizzando una parte delle risorse naturali

disponibili).

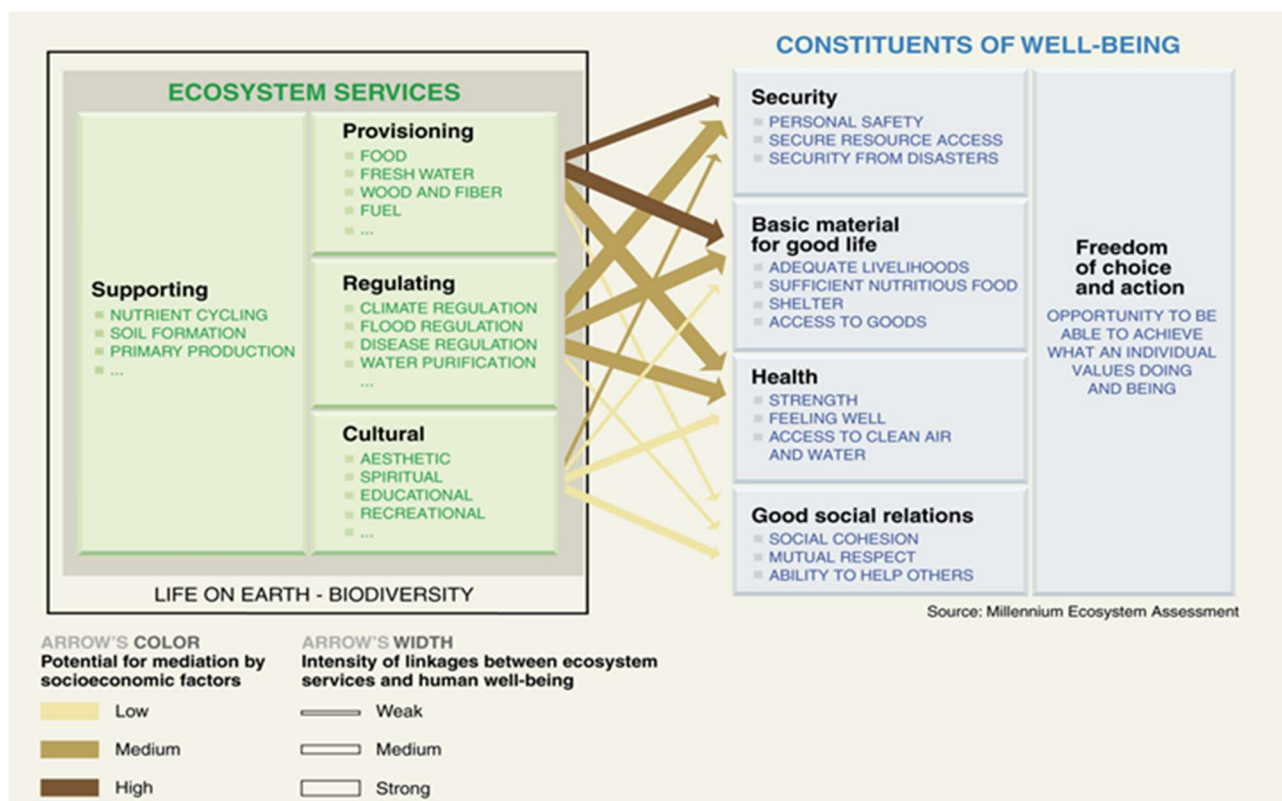


Fig. 1 Servizi ecosistemici, la loro classificazione e le relazioni con il benessere umano. Fonte: Millennium Ecosystem Assessment, 2005.

Il **Millennium Ecosystem Assessment (MEA)** rappresenta una tappa fondamentale: non solo definisce le quattro categorie di **servizi ecosistemici (SE)**, ma ha attirato l'attenzione accademica e degli attori coinvolti sulla condizione di degrado degli ambienti naturali, poiché oltre il 60% dei SE è stato classificato come a rischio. Le quattro categorie includono:

- **Servizi di approvvigionamento** (ad esempio, beni materiali come cibo, acqua potabile, legname, fibre, piante medicinali);
- **Servizi di regolazione** (ad esempio, processi ambientali che hanno effetti sul capitale naturale così come sulle attività antropiche);

- **Servizi culturali** (ad esempio, principalmente non materiali, come l'arricchimento spirituale, lo sviluppo cognitivo, le attività ricreative, i valori estetici e le esperienze, i sistemi di conoscenza, le relazioni sociali).

A queste tre categorie principali, sono stati aggiunti i **servizi di supporto**, per indicare processi fondamentali – ad esempio, la produzione di ossigeno atmosferico, la formazione e protezione del suolo, il ciclo dell'acqua, la formazione e manutenzione degli habitat – necessari per mantenere le prime tre categorie.

Negli ultimi anni, il concetto di SE ha acquisito ancora più importanza grazie all'**Agenda 2030** e al raggiungimento dei suoi obiettivi, che sottolineano l'importanza di fornire SE per il benessere umano. Ad esempio, l'**obiettivo 11** dell'Agenda evidenzia la necessità di sostenibilità nelle nostre città, fissando obiettivi precisi che dovrebbero essere raggiunti entro il 2030:

- **11.6** Riduzione dell'impatto ambientale negativo pro capite, prestando particolare attenzione alla qualità dell'aria e alla gestione dei rifiuti urbani.
- **11.7** Fornitura di accesso universale a spazi pubblici verdi sicuri, inclusivi e accessibili, specialmente per donne, bambini, anziani e persone con disabilità.
- **11.a** Sostenere i legami economici, sociali e ambientali positivi tra aree urbane, periurbane e rurali, rafforzando la pianificazione dello sviluppo nazionale e regionale.
- **11.b** Miglioramento significativo delle città adottando e implementando politiche e piani integrati per promuovere l'inclusione, l'efficienza delle risorse, la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, la resistenza ai disastri, promuovendo e attuando la gestione olistica del rischio di disastri a tutti i livelli, seguendo il **Sendai Framework per la Riduzione del Rischio di Disastri 2015-2030**.

Pertanto, è essenziale preservare, migliorare e implementare le aree verdi nelle zone urbane e periurbane, potenziando e valutando la fornitura di SE, per raggiungere gli ambiziosi obiettivi dell'Agenda 2030 e garantire ambienti sostenibili e piacevoli per i cittadini.

4. Analisi e quantificazione dei Servizi Ecosistemici

A partire da questo punto di partenza accademico, i partner di **Viridis Loci** mirano a tradurre in linee guida pratiche e applicabili alle situazioni di lavoro quotidiano, con un focus su ciò che la vegetazione urbana può offrire in termini di **Servizi Ecosistemici**. Negli ultimi decenni, molti studi hanno dimostrato l'importanza della vegetazione urbana e degli alberi urbani nel fornire servizi ecosistemici. Questi includono la cattura delle acque piovane, il raffreddamento dell'ambiente costruito e la cattura degli inquinanti atmosferici. Come detto, fino a poco tempo fa non era possibile misurare e dare un valore finanziario a questi servizi ecosistemici. C'era poca conoscenza concreta dei benefici degli spazi verdi per le nostre città.

Attualmente, sono disponibili diverse metodologie per condurre un'analisi sugli alberi urbani. Nella maggior parte dei casi, l'obiettivo della valutazione è stabilire i valori economici degli alberi e/o la valutazione del rischio degli alberi. Un esempio di sistema diffuso in Italia si basa sulla valutazione di fattori fissi - la cui definizione è in parte lasciata alla soggettività dell'evaluatore - moltiplicati per un coefficiente di prezzo, chiamato "prezzo unitario", che corrisponde a un decimo del prezzo di un albero con un'area basale di dieci cm² (ad esempio, con un diametro di 3,57 cm o una circonferenza di 11 cm), preso da un listino prezzi di vivaio. Questa metodologia considera diversi parametri dell'albero (valore estetico, stato fitosanitario, dimensioni e posizione) moltiplicati per il valore economico per ottenere un valore economico complessivo dell'albero. Tuttavia, spesso il valore finale è molto basso rispetto alle reali dimensioni e caratteristiche dell'albero: ad esempio, è chiaro che un albero con una circonferenza di 11 cm non può essere considerato uguale a un esemplare maturo con una circonferenza superiore ai 200 cm. Pertanto, le informazioni provenienti da questo tipo di valutazione sono spesso fuorvianti e imprecise. Per quanto riguarda la valutazione del rischio degli alberi, solitamente, gli valutatori seguono protocolli specifici – ad esempio, il protocollo ISA – per valutare le condizioni statiche dell'albero e poi decidere gli interventi necessari secondo un processo logico basato su quattro fasi fondamentali: anamnesi, diagnosi, prognosi e prescrizioni. L'obiettivo è quindi diverso e non include la quantificazione dei servizi ecosistemici, ma si riferisce principalmente alla gestione del rischio. Nei protocolli più comuni, il primo passo

fondamentale è valutare individualmente ogni albero, compilando un modulo **VTA** (Visual Tree Assessment), che riporta le caratteristiche dell'albero e eventuali difetti visibili, con informazioni generali sull'ambiente in cui è radicato. Se necessario, l'evaluatore può approfondire l'analisi con strumenti e tecniche appropriate (ad esempio, dendrodensimetro, tomografia acustica, test di trazione con metodo SIM) per indagare ulteriormente sulla stabilità dell'albero, con l'attribuzione finale di un grado (A, B, C, C/D, D), che rappresenta la propensione al cedimento, stabilendo i successivi controlli negli anni, o la manutenzione degli alberi o la rimozione (grado C/D e D) da eseguire immediatamente. Quindi, come è possibile valutare e quantificare i servizi ecosistemici offerti dagli alberi urbani?



Fig. 2 I vari benefici offerti dagli alberi nelle aree urbane. Credito: Treeconomics

Tra i diversi strumenti sviluppati negli ultimi anni, il più preciso e diffuso è I-Tree, sviluppato dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA). Questo software è in grado di calcolare i vari benefici forniti da alberi e arbusti negli ambienti urbani. Una partnership tra il Servizio Forestale USDA e diversi collaboratori (inclusi The Davey Tree Expert Company, The Arbor Day Foundation, Society of Municipal Arborists, International Society of

Arboriculture e Casey Trees) ha rilasciato I-Tree nel 2006. I-Tree, basato sul programma Urban Forest Effects (UFORE) utilizzato dal Servizio Forestale USDA per valutare i vari benefici degli alberi in luoghi specifici, si distingue come uno strumento peer-reviewed, accessibile a tutti senza costi. Gli utenti contribuiscono attivamente alla sua evoluzione continua. I-Tree ha esteso la sua portata in numerosi paesi europei, integrando le specie arboree locali e sfruttando i dati meteo e di inquinamento provenienti dalle stazioni di monitoraggio europee, grazie all'assistenza dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA). I dati recenti, che vanno dal 2015 al 2020 per alcune stazioni di monitoraggio meteo e di inquinamento selezionate, supportano i calcoli dei servizi ecosistemici all'interno di I-Tree. Questa integrazione dei dati europei consente agli utenti di personalizzare le analisi in base ai propri contesti locali, selezionando le stazioni di monitoraggio corrispondenti: entro il 2021, la comunità globale di utenti di I-Tree ha superato i 622.000, con oltre 93.000 utenti operanti fuori dagli Stati Uniti. I-Tree è composto da 11 software diversi, come Landscape, County, Design, Hydro, ecc.

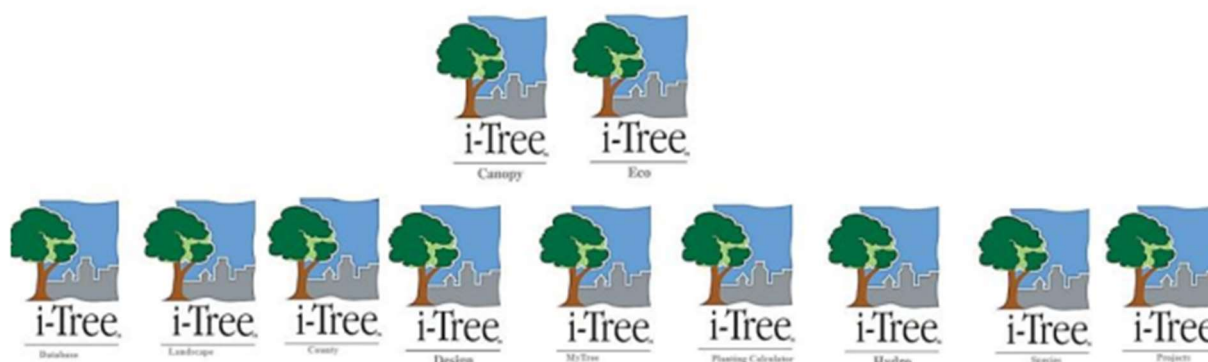


Figura 3: Panoramica della suite I-Tree, con i diversi software disponibili gratuitamente.
Fonte: I-Tree.

Ognuno di questi si concentra su aspetti distinti, che si tratti di servizi ecosistemici specifici come Hydro, che esamina gli effetti dell'uso del suolo sulla gestione delle acque, o di scale diverse come I-Tree Landscape. I-Tree Canopy e Eco si distinguono come i più utilizzati e adatti ai contesti europei, in quanto integrano dati meteo e di inquinamento atmosferico. I-Tree Canopy opera online e si adatta a aree più ampie come quartieri, distretti e città. D'altra

parte, I-Tree Eco, disponibile come download gratuito per desktop, copre da singoli alberi a interi stock di alberi all'interno di un'area designata. I-Tree Eco è di gran lunga il software più utilizzato, offrendo informazioni su tre aspetti cruciali dell'inventario arboreo di una città o di un'area: struttura, funzione e valore economico. I calcoli con I-Tree Eco possono derivare da un inventario completo o da uno studio su campioni. Quest'ultimo metodo, che impiega una selezione di campioni distribuiti casualmente con un diametro di 22,6 metri in tutta l'area del progetto, fornisce una panoramica globale della struttura, funzione e valore dell'inventario locale di alberi, sia pubblico che privato. Lo studio dei campioni si rivela particolarmente adatto per l'implementazione di I-Tree Eco su regioni ampie come intere città o aree forestali. Attraverso il censimento di un minimo di 200 campioni, emerge un quadro accurato dei servizi ecosistemici nell'area del progetto. Al contrario, un inventario completo include tutti gli alberi all'interno dell'area designata, come nel caso del Million Tree Project di New York City, che ha censito tutti i 592.130 alberi comunali, rappresentando una pionieristica implementazione su larga scala di I-Tree Eco. Per eseguire un calcolo con I-Tree Eco, è necessario raccogliere dati essenziali come la specie e il diametro del tronco per ciascun albero. I-Tree utilizza quindi queste informazioni per modellare ogni albero, facilitando i calcoli della superficie fogliare. Per una maggiore precisione, si consigliano ulteriori dati, come l'uso del suolo, l'altezza dell'albero, le dimensioni della chioma, lo stato di salute e l'esposizione alla luce. L'accuratezza e la completezza di questi dati influenzano significativamente i calcoli dei servizi ecosistemici risultanti. I dati possono essere importati nell'applicazione tramite vari mezzi, come Excel, o inseriti direttamente. Dopo aver verificato la completezza e l'accuratezza dei dati, questi vengono inviati al server statunitense per i calcoli di i-Tree. In un breve periodo di tempo, generalmente alcune ore, l'utente riceve una notifica per ritirare i risultati dall'applicazione. I parametri utilizzati da I-Tree come input sono diversi e numerosi. Il software, grazie a questi input, è in grado di calcolare i seguenti output: • Struttura e composizione della foresta urbana, • Stoccaggio del carbonio e sequestro del carbonio, • Produzione di ossigeno, • Rimozione di inquinanti atmosferici (PM 2,5; O3; NO2; CO), • Effetti sul ciclo dell'acqua (deflusso evitato). Per ciascuno di questi output, il software – oltre alla quantificazione – può calcolare un valore economico, corrispondente alle quantità rimosse

moltiplicate per coefficienti monetari. Ogni output viene quantificato grazie all'uso di diversi modelli matematici calibrati e validati per ogni simulazione, con alta affidabilità, certificata da numerosi articoli scientifici peer-reviewed, nonché da altri casi studio sull'analisi delle foreste urbane in diverse parti del mondo.

Struttura e composizione della foresta urbana

L'insieme complessivo degli alberi urbani forma quella che viene chiamata la foresta urbana. Comprendere la composizione effettiva della foresta urbana è fondamentale per valutare e quantificare correttamente i servizi ecosistemici forniti. In questa prospettiva, il database riveste una grande importanza: più dettagliati sono i dati, maggiore sarà l'accuratezza dell'analisi. I-Tree può analizzare la foresta urbana, fornendo, ad esempio, un quadro completo delle specie presenti, delle classi di diametro più comuni e della loro origine. Oltre a questi output puramente informativi, I-Tree può calcolare l'area fogliare e la copertura vegetale, utilizzati come metadati per quantificare i benefici ambientali.

Stoccaggio del carbonio e sequestro del carbonio

Il ruolo degli alberi nella mitigazione dei cambiamenti climatici è ben noto, grazie alla loro capacità di sequestrare e immagazzinare il carbonio atmosferico. In particolare, gli alberi riducono i livelli di carbonio sequestrandolo dall'atmosfera e immagazzinandolo nella nuova crescita che si sviluppa anno dopo anno. Per stimare la quantità di carbonio sequestrato, il modello si basa sui diametri di ogni albero – forniti come input, nell'anno considerato 0 – e poi calcola la crescita annuale media stimata, utilizzando parametri specifici di genere e specie e le condizioni di salute fornite. Pertanto, I-Tree stima il diametro dell'albero e il relativo sequestro nel periodo 0 + 1.

Lo stoccaggio del carbonio può essere definito come la quantità di carbonio nella biomassa dell'albero – aerea e sotterranea. Per calcolare lo stoccaggio del carbonio, il modello stima la biomassa totale di ogni albero, partendo dai dati misurati e da riferimenti bibliografici. Poiché gli alberi con chioma espansa e sottoposti a manutenzione – come quelli sotto analisi – tendono ad avere una biomassa inferiore rispetto agli alberi in ambienti naturali, dove la maggior parte dei modelli è calibrata, I-Tree risolve questo problema moltiplicando i risultati con un coefficiente standard di 0,8. Questo aggiustamento non viene effettuato sugli alberi considerati cresciuti in condizioni naturali. Infine, il modello moltiplica la biomassa secca per 0,5, ottenendo così il carbonio immagazzinato in ogni albero.

Produzione di ossigeno

La produzione di ossigeno è uno dei principali e più noti benefici garantiti dalle foreste urbane. L'ossigeno prodotto ogni anno è direttamente legato all'attività di sequestro del carbonio. L'ossigeno totale prodotto è quindi stimato grazie al carbonio sequestrato e al suo peso atomico: $O_2 \text{ prodotto (kg/anno)} = C \text{ sequestrato netto (kg/anno)} / \frac{32}{12}$

È interessante sottolineare che la produzione di ossigeno da parte della vegetazione ha un impatto relativamente minore da un punto di vista globale: infatti, la nostra atmosfera contiene livelli di ossigeno elevati e stabili, principalmente grazie alla componente acquatica del pianeta.

Rimozione dell'inquinamento atmosferico

La cattiva qualità dell'aria è un problema comune in molte aree urbane e può causare vari problemi alla salute umana e ai processi ecosistemici naturali. La vegetazione, specialmente negli ambienti urbani dove la pressione antropica è massima, può portare a miglioramenti della qualità dell'aria, ad esempio, riducendo la temperatura dell'aria, rimuovendo direttamente gli inquinanti e abbassando il consumo energetico negli edifici circostanti, il che riduce conseguentemente le emissioni di inquinanti atmosferici dovuti al consumo energetico. I-Tree considera l'impatto della vegetazione sulla rimozione dei principali inquinanti urbani: ozono, biossido di zolfo, diossido di azoto, monossido di carbonio e particolato atmosferico (PM) di 2,5 micron.

Queste stime sulla rimozione dell'inquinamento atmosferico derivano da diversi modelli, che considerano le resistenze fogliari orarie, calcolate con un modello ibrido delle foglie. Inoltre, poiché la rimozione di monossido di carbonio e PM non è direttamente correlata alla traspirazione, i tassi di rimozione per questi inquinanti sono stati calcolati utilizzando valori medi ottenuti dalla letteratura, aggiustati in base alla fenologia e all'area fogliare. Per quanto riguarda la rimozione delle particelle fini atmosferiche, il modello considera un tasso di risospensione pari al 50% delle particelle depositate, che poi ritornano nell'atmosfera – a causa di condizioni meteorologiche avverse, che in casi particolari possono anche portare a un aumento della concentrazione di PM 2,5 nell'atmosfera.

Simulazione dei servizi ecosistemici futuri

Per quantificare la fornitura di servizi ecosistemici futuri, è possibile utilizzare lo strumento I-Tree Forecast. Questo strumento simula la crescita e lo sviluppo degli alberi urbani in un periodo futuro. Basato sulla valutazione I-Tree Eco precedentemente condotta, il modello può simulare l'evoluzione annuale della comunità, tenendo conto dei possibili fattori disturbanti (parassiti, eventi meteorologici avversi) che potrebbero alterare lo sviluppo degli alberi. Inoltre, lo strumento consente di impostare alcuni parametri relativi

alla vitalità degli alberi, inclusi il tasso di mortalità e il tasso di nuove piante/anno, che influenzano la consistenza e la composizione delle foreste urbane. Lo strumento è quindi in grado di simulare la fornitura dei seguenti servizi: Stoccaggio del carbonio; Sequestro del carbonio; Rimozione dell'inquinamento atmosferico (NO₂, O₃ e SO₂ rimossi).

Risultati

Sostenuto da questa solida metodologia e richiedendo un set completo di dati, I-Tree è in grado di presentare i suoi risultati in vari modi, a seconda delle esigenze e degli interessi dell'utente. Un report scritto viene fornito in formato pdf, riportando i principali risultati e le grafico per tutti i servizi ecosistemici sopra menzionati. Inoltre, è possibile approfondire l'analisi, ad esempio, per valutare il contributo di singoli esemplari e/o specie. Questo è pensato specificamente per facilitare la comprensione e l'utilizzo da parte di un pubblico più ampio di stakeholder, rendendo così i benefici della vegetazione urbana più diffusi.

I dati possono poi essere utilizzati per campagne mediatiche personalizzate e di sensibilizzazione. Un esempio positivo di ciò può essere visto nella campagna TreeTag, iniziata nei Paesi Bassi e ora attiva in diversi paesi europei (ulteriori informazioni su www.treetags.eu). Pius Floris Tree Care ha sviluppato un poster informativo (il TreeTag) e lo ha applicato su 150 alberi urbani. Ogni poster fornisce informazioni sui benefici di quel particolare albero, basandosi sui calcoli di I-Tree Eco, con l'obiettivo di coinvolgere gli abitanti locali nella protezione degli alberi. I dati di I-Tree sono stati resi ancora più accessibili grazie a una conversione in metriche più comprensibili, come il numero di chilometri percorsi in auto risparmiati in CO₂ o il numero di giorni di ossigeno che questo albero produce per una persona.



Fig. 4 Un esempio di TreeTag installato su *Quercus rubra* nei Paesi Bassi. Credito: Pius Floris Boomverzorging.

5. Conclusioni e prossime tappe

Il presente documento ha l'obiettivo di mostrare una delle soluzioni attualmente disponibili per valutare e quantificare i servizi ecosistemici forniti dalla vegetazione urbana, con particolare riferimento agli alberi urbani.

Il partenariato di Viridis Loci crede che implementando questo approccio e approcci simili si possa raggiungere una maggiore consapevolezza sui benefici del verde urbano, con conseguenze positive sulla pianificazione e gestione del territorio e durante il processo decisionale. La metodologia qui presentata non intende offrire una risposta completa, né fornire soluzioni "universali". Infatti, diversi aspetti potrebbero essere aggiunti all'analisi, a partire dai servizi ecosistemici culturali, dalla creazione di habitat per gli animali e dagli altri strati di vegetazione e suolo.

Grazie a diversi progetti in corso e alle ricerche passate e attuali, c'è una crescente consapevolezza tra il mondo accademico e i professionisti riguardo a queste necessità e agli sforzi per valorizzare la vegetazione urbana per città vivibili e sane.

È quindi importante mantenere i portatori di interesse locali informati e aggiornati su questo tema, migliorando il loro profilo professionale con l'uso di nuove metodologie che possano aiutare nel loro lavoro quotidiano.

6. Appendice

Per ulteriori informazioni e per approfondire l'argomento, si suggeriscono i seguenti materiali come fonte:

- European Environmental Agency, 2014. Multiannual Work Programme 2014–2018: Expanding the knowledge base for policy implementation and long-term transition. European Environment Agency, Copenhagen Denmark
- UN News Centre. *UN Adopts New Global Goals, Charting Sustainable Development for People and Planet by 2030*; United Nations Department of Economic and Social Affairs: New York, NY, USA, 2015; doi:10.1080/02513625.2015.1038080
- FAO, 2016. Guidelines on urban and peri-urban forestry, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. FAO Forestry Paper No. 178, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- International Society of Arboriculture, 2011. Benefits of trees, available at: https://www.treesaregood.org/portals/0/docs/treecare/benefits_trees.pdf
- McPherson, E., Van Doorn, N., De Goede, J., 2016. Structure, function and value of street trees in California, USA, *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 104-115.
- Nowak, D.J. 2006. Institutionalizing urban forestry as a “biotechnology” to improve environmental quality. *Urban Forestry & Urban Greening* 5: 93–100.
- Roman, L.A., Scatena, F.N., 2011. Street tree survival rates: Meta-analysis of previous studies and application to a field survey in Philadelphia, PA, USA, *Urban Forestry & Urban Greening*, 10.
- Polomski, F., 2017. Cultivate biodiversity in the quest for tough trees for tough urban sites, *Arborist News*, Vol. 26, N. 4, 44-49
- Daily, Gretchen C.. "Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems (1997)". *The Future of Nature*, edited by Libby Robin, Sverker Sörlin and Paul Warde, New Haven: Yale University Press, 2013, pp. 454-464. <https://doi.org/10.12987/9780300188479-039>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260 (1997). <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- World Resource Institute, 2008. *Ecosystem Services: a guide to decision-makers*. ISBN 978-1-56973-669-2
- Comune di Milano, 2017. Regolamento d'uso e tutela del verde pubblico e privato. Available at: <https://www.comune.milano.it/documents/20126/1003516/Regolamento+d%27uso+e+tutela+del+verde+pubblico+e+privato.pdf/686eb7d4-f765-4c8e-a9d3-ce59e034181a?t=1551271304040>



- International Society of Arboriculture, 2017. Using the ISA Basic Tree Risk Assessment Form, available at: https://www.isa-arbor.com/education/resources/ISABasicTreeRiskAssessmentForm_Instructions.pdf
- I-Tree User's manual. 2008. Tools for assessing and managing Community Forests. Software Suite. Available at: <http://www.itreetools.org>.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., 2000. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying urban forest structure and functions. In Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century, ed. M. Hansen, and T. Burk, pp 714–720. St. Paul: North Central Research Station.
- Pataki, D.E., Alig, R. J., 2006. Urban ecosystems and the North American carbon cycle, *Global Change Biology*, Vol. 12, Issue 11, 2092-2102.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., Hoehn, R.E., Walton, J. T., 2008a. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture & Urban Forestry* 34: 347–358.
- Nowak, D.J., 1994. Air pollution removal by Chicago's urban forest. In *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, ed. E.G. McPherson, D.J. Nowak, and R.A. Rowntree, pp. 63–81. Radnor: USDA Forest Service General Technical Report NE-186.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. 2013. Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*. 178: 395-402.
- I-Tree Eco: Using the forecast model Available at: https://www.itreetools.org/documents/273/ECov6Guide_UsingForecast.pdf
- Ditto D. et al., 2016, Step by step development of HIRM-KW: a field-scale run-off model, *Italian Journal of Agrometeorology*.
- Donatelli M., Acutis M., 2001. SOILPAR 2.00: software to estimate soil hydrological parameters and functions, *European Journal of Agronomy*, Volume 18, Issues 3–4, 2003, Pages 373-377, ISSN 1161-0301, [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00128-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00128-4).
- Collins C., Cook-Monie I., Raum S., 2019. What do people know? Ecosystem service, public perception and sustainable management of urban park trees in London, U.K. *Urban Forestry & Urban Greening*, 43, 126362
- European Commission, Climate Change Service – C3S Climate & Energy Education Demo. Available at: <https://edudemo.climate.copernicus.eu/>
- Council of Tree and Landscape Appraisers (CTLA), 1992, *Guide for Plant Appraisal*, International Society of Arboriculture, Savoy, IL
- U.S. Environmental Protection Agency 2015, Interagency Working Group on Social Cost of Carbon 2015. Available at:



<https://archive.epa.gov/epa/production/files/2016-07/documents/social-cost-carbon.pdf>

- I-Tree in Europe, Pius Floris Boomverzorging, Jahrbuch der Deutsche Baumpflege 2024