

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Orientamento Idraulica



Applicazione del software *i-Tree* per la determinazione degli Ecosystem Services in ambito urbano. Il caso del parco di Via Revello, Torino, Italia

Relatore

Prof. Roberto Revelli

Candidato

Francesca Vigliocco

Correlatore

Dott. Francesco Busca

Anno Accademico 2018/2019

Si è liberi di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre, in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera alle seguenti condizioni:

- attribuzione: Bisogna attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da colui al quale è stata data quest'opera in licenza; in questo caso si tratta del Politecnico di Torino;
- non commerciale: Non si può usare quest'opera per fini commerciali;
- non opere derivate Non si può alterare o trasformare quest'opera, né usarla per crearne un'altra;
- ogni volta che si usa o si distribuisce quest'opera, lo si deve fare secondo i termini di questa licenza, che va comunicata con chiarezza;
- in ogni caso si possono concordare con il titolare dei diritti d'autore (il Politecnico di Torino, in questo caso) utilizzi di quest'opera non consentiti da questa licenza.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare innanzitutto il Professor Roberto Revelli per avermi introdotta all'attuale ed estremamente importante argomento dei Servizi Ecosistemici, che bene rappresenta il mio lato ecologista. L'obiettivo della tesi era fare luce su un tema specifico mostrandone le potenzialità e, attraverso le richieste e i suggerimenti del Prof. Revelli, si è definita una strada che ha permesso una maggior comprensione del problema, dandomi, così, la possibilità di approfondire le mie conoscenze in materia.

Ringrazio il Comune di Torino, nelle persone di Matteo Castiglioni e Simone Mangili, per aver accettato di collaborare a questo progetto, fornendo supporto nella scelta del caso studio e dando preziose indicazioni.

Ringrazio, poi, il Dottorando Francesco Busca per la sua costante e attiva presenza durante tutto il mio percorso di tesi. Sempre disponibile, si è rivelato essenziale durante l'organizzazione delle scadenze e per la risoluzione di alcune criticità.

Ringrazio la mia famiglia per aver continuamente sostenuto economicamente questo percorso di studi, ringrazio le persone a me vicine per aver condiviso con me fondamentali momenti di svago e ringrazio per aver avuto la possibilità di convivere, in questi anni di università, con i miei animali, che più di tutti inconsapevolmente hanno costituito il mio sostegno emotivo.

ABSTRACT

Il presente elaborato si inserisce nel panorama degli studi sul cambiamento climatico, basandosi sulle tesi di sovra sfruttamento delle risorse, aumento degli inquinanti e conseguente diminuzione della qualità della vita. Partendo dal concetto di Servizi Ecosistemici, questo lavoro si propone di sottolineare l'importanza di restaurare un bilancio equo tra ciò che viene richiesto a un ecosistema e ciò che da esso viene fornito.

Nello specifico, tale argomento è stato sviluppato attraverso lo studio e l'impiego di *i-Tree*, software americano che valuta, su piccola e larga scala, i benefici economici, ambientali e idrologici, di un'area verde. Si è approfondito, poi, il modello matematico di alcuni tool, in particolare: *Canopy*, *Eco* e *Hydro*, i più completi al di fuori del contesto americano.

Infine, è stata validata l'applicabilità di *i-Tree* sul territorio italiano, in un parco di recente costruzione nella città di Torino, sito in Via Revello, con la collaborazione del Comune. Per questa area verde sono stati impiegati i tool *Canopy*, *Eco* e *Hydro* confrontando scenari passati, presenti e futuri del parco.

Questo elaborato ha lo scopo di approfondire i vantaggi e gli svantaggi di *i-Tree*, attraverso la sua applicazione ad un caso studio italiano, e, allo stesso tempo, fornire strumenti utili a future valutazioni economiche e ambientali nel caso di rimaneggiamento o nuova creazione di un'area verde.

INDICE

1. SERVIZI ECOSISTEMICI	7
1.1. Incremento demografico e sovra sfruttamento delle risorse	7
1.2. Servizi Ecosistemici: classificazione e approfondimenti	9
1.2.1. Servizi Ecosistemici legati all'uso del suolo	11
1.2.2. Servizi Ecosistemici Idrici	12
1.2.3. Metodi di valutazione dei Servizi Ecosistemici	14
1.3. Confronto tra Software di valutazione dei Servizi Ecosistemici	14
2. I-TREE: FUNZIONALITA' E MODELLI MATEMATICI	17
2.1. <i>i-Tree</i> tool	17
2.2. Modelli	20
2.2.1. <i>i-Tree Canopy</i> Model	20
2.2.2. <i>i-Tree Eco</i> : UFORE Model	23
2.2.3. UFORE <i>Hydro</i>	35
3. APPROFONDIMENTO SULL'UTILIZZO DI I-TREE	43
3.1. <i>i-Tree Canopy</i>	43
3.2. <i>i-Tree Hydro</i>	45
3.2.1. Dati in input	49
3.2.2. Risultati del programma	55
3.3. <i>i-Tree Eco</i>	58
3.3.1. Dati in input	59
3.3.2. Risultati del programma	65
4. APPLICAZIONE DI I-TREE A UN CASO STUDIO	67
4.1. Informazioni generali sul parco sito in via Revello (TO)	67
4.2. Applicazione di <i>i-Tree Canopy</i>	71
4.2.1. Scenario passato t_0	71
4.2.2. Scenario presente t_1	72
4.2.3. Confronto tra scenari	73
4.3. Applicazione di <i>i-Tree Hydro</i>	74
4.3.1. Risultati del programma	78
4.4. Applicazione di <i>i-Tree Eco</i>	82

4.4.1.	Scenario presente t_1	86
4.4.2.	Scenario futuro t_2	93
4.4.3.	Confronto tra scenari	98
5.	CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	106
6.	BIBLIOGRAFIA	111
7.	SITOGRAFIA	114

1. SERVIZI ECOSISTEMICI

1.1. Incremento demografico e sovra sfruttamento delle risorse

L'epoca geologica attuale viene definita Antropocene [S1] e deriva il suo nome da *άνθρωπος*, ovvero uomo. Si tratta appunto di un periodo storico in cui le componenti chimiche, fisiche e biologiche della Terra, su larga e piccola scala, vengono influenzate drasticamente dall'operato umano. Se la popolazione mondiale si attestava intorno a 1 miliardo agli inizi del 1800, per il 2030 si stima una crescita che toccherà gli 8,4 miliardi.

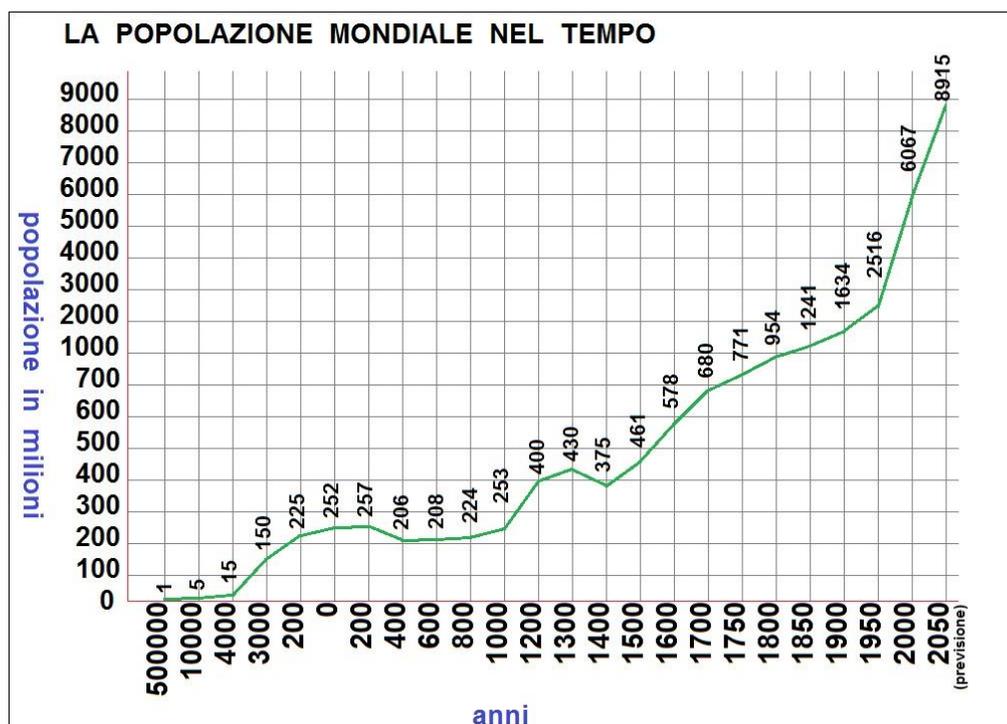


Fig. 1.1 – Grafico crescita popolazione mondiale nel tempo (Fonte: *“Imparare con la Geografia”*, sito internet)

Questa crescita però non è supportata dalle risorse attualmente disponibili e dalle modalità di sfruttamento impiegate. Secondo il Global Footprint Network [S2] il 29

luglio, quattro giorni prima rispetto all'anno passato, la specie *Homo Sapiens* ha, infatti, raggiunto l'Overshoot Day per il 2019. Questa data rappresenta, ogni anno, il giorno di sovra sfruttamento delle risorse, ovvero il consumo che l'uomo opera su tutto quello che gli ecosistemi terrestri possono produrre nell'anno corrente. Dal trend crescente del grafico sottostante si capisce come l'umanità stia consumando le risorse a una velocità sempre maggiore, come se esistesse un pianeta 1,75 volte il nostro da cui attingere cibo, acqua, legname ed energia.

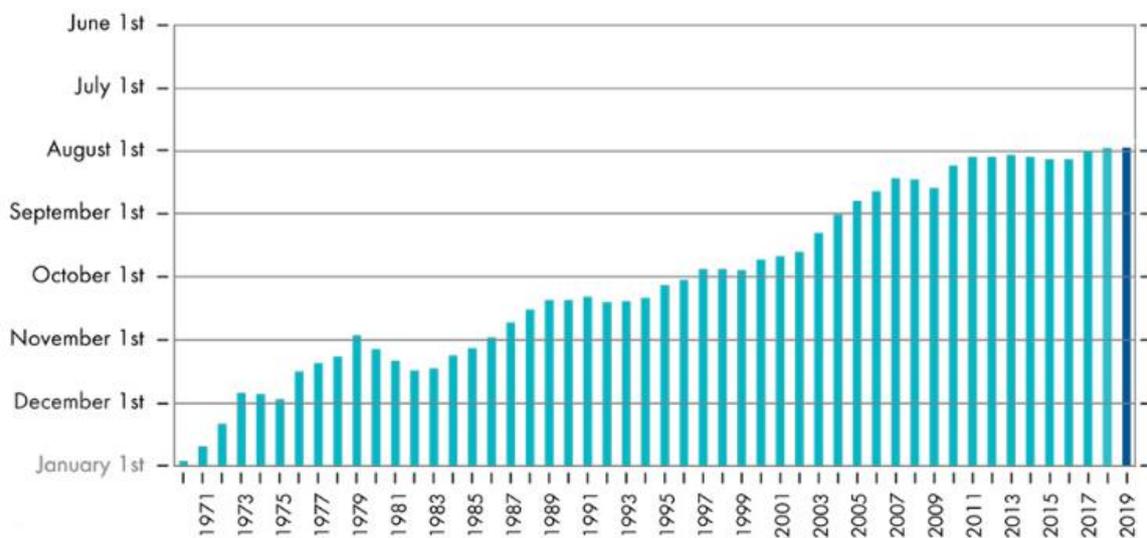


Fig. 1.2 – Grafico andamento Overshoot Day (Fonte: overshootday.org)

A questi ritmi l'erosione di capitale naturale (valutato in termini di suolo, aria, acqua e organismi viventi) comporta perdita irrimediabile di biodiversità, deforestazione, erosione del suolo, riduzione di quantità e qualità delle risorse idriche, aumento della CO₂ e, dunque, cambiamenti climatici imprevedibili. Poiché le risorse diminuiscono senza dare il tempo al pianeta di rigenerarle, gli effetti saranno visibili anche sulla società andando verso un aumento della povertà in maniera disuniforme [S3] [S4].

Alcuni dati forniscono una immagine netta del cambiamento in atto: l'agricoltura ricopre circa un quarto della superficie terrestre e ha causato il 75% delle estinzioni

di animali e piante dal 1500 ad oggi; lo sfruttamento dell'acqua dolce si attesta intorno al 50% di quella corrente disponibile, raddoppiando negli ultimi 40 anni; un quarto delle specie di pesci è sovra sfruttata e circa il 20% dei coralli è scomparso, mentre un altro 20% è in fase di degrado a causa dell'inquinamento dei mari [S6].

Le componenti del capitale naturale che forniscono prodotti e servizi diretti all'uomo prendono il nome di Servizi Ecosistemici (S.E.). Questo concetto iniziò a delinearsi intorno agli anni '40 del secolo scorso ed è stato avvalorato da molteplici studi scientifici che hanno cercato di associare un valore economico ai servizi che la natura ci offre. Questo sarebbe servito a nobilitarli e far comprendere l'importanza della loro tutela sullo sfruttamento perennemente in atto. Ma ancora questo valore non è stato riconosciuto dai mercati, forse perché difficilmente quantizzabile o per il fatto che siano risorse e servizi facilmente reperibili. In ogni caso, innumerevoli analisi si sono alternate nel corso degli anni e i dati riportati dall'ultimo report del WWF sono impressionanti: i servizi offerti dalla natura vengono stimati intorno a 125000 miliardi di dollari, cifra nettamente più alta del PIL globale, (WWF, 2018). Ma ad ora non venendo considerati nelle decisioni politiche [S5] e, a causa del continuo incremento demografico, la perdita di risorse planetarie può risultare inarrestabile [S7].

1.2. Servizi Ecosistemici: classificazione e approfondimenti

Da sempre l'uomo ha dovuto occuparsi del bilancio tra risorse disponibili e domanda e, secondo G.P. Marsh, politico statunitense degli inizi del 1800, il collasso di alcune civiltà del passato può essere ricondotto a un disequilibrio tra ecologia ed economia [S5]. Solo dopo la seconda guerra mondiale però si sono iniziate ad avvalorare le connessioni tra risorse naturali ed esigenze economiche con ricerche scientifiche. A partire dal 2001, poi, fino al 2005 è stato condotto un esperimento

internazionale chiamato MEA (Millennium Ecosystem Assessment), con lo scopo di *“individuare lo stato degli ecosistemi globali, valutare le conseguenze dei cambiamenti negli ecosistemi sul benessere umano e fornire una valida base scientifica per la formulazione di azioni necessarie alla conservazione e all’uso sostenibile degli ecosistemi”* [S8]. Da esso hanno preso vita molte ricerche scientifiche che hanno man mano ampliato e dettagliato il concetto dei Servizi Ecosistemici.

Questi sono stati suddivisi in quattro macro categorie con ulteriori suddivisioni interne [S7] [S9]:

- 1) Servizi di supporto: necessari per la realizzazione di tutti gli altri servizi. Toccano l’uomo indirettamente e sul lungo periodo. In questi rientrano creazione di suolo e minerali, supporto alla riproduzione, alimentazione, rifugio ed evoluzione delle specie animali;
- 2) Servizi di approvvigionamento: sono i beni di consumo direttamente prelevabili dagli ecosistemi come cibo, materie prime (legname, minerali, metalli, fibre, resine, combustibili), variabilità biologica (variabilità genetica e di principi attivi), acqua dolce;
- 3) Servizi di regolazione: sono servizi più o meno diretti e riguardano la regolazione dei processi ecosistemici. Riguardano:
 - Regolazione dei gas: immissione ed emissione in atmosfera di gas (O₂, CO₂, O₃);
 - Regolazione del ciclo dell’acqua;
 - Regolazione del clima in relazione alle caratteristiche regionali idrologiche e relative alla vegetazione;
 - Regolazione dei dissesti idrogeologici, che influenza a sua volta l’agricoltura;
 - Regolazione dell’erosione, che l’albedo opera stabilizzando il terreno;
 - Regolazione degli habitat;
 - Regolazione dell’impollinazione.

- 4) Servizi culturali: sono benefici immateriali offerti all'uomo. I S.E. offrono infatti ispirazione per arte, musica, simbolismi, architettura, dando significato a valori estetici e ricreativi.

Per questi ultimi l'IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) ha introdotto il concetto di NCP (contributo della natura alle persone), specificando come siano fondamentali i servizi culturali. Attraverso il concetto di NCP, soprattutto nelle piccole società e culture etniche, è possibile studiare i giusti rapporti tra la domanda di risorse e la risposta naturale (Hewitt et al., 2018). Si sottolinea così l'importanza del rispetto mostrato a ciò che la natura può offrire e la necessità a preservare le biodiversità senza le quali non si garantisce l'equilibrio tra i vari servizi a cui si può attingere.

Gli ambienti che maggiormente garantiscono Servizi Ecosistemici sono legati alle foreste, macchie vegetate e bacini idrici. Ma anche questi si stanno degradando rapidamente con conseguente diminuzione dei servizi garantiti all'essere umano. Per questo è fondamentale coordinare le scelte politiche e di mercato a livello globale, ma anche regionale e locale.

1.2.1. Servizi Ecosistemici legati all'uso del suolo

I servizi legati all'uso del suolo vedono cambiamenti drastici del paesaggio a causa di scelte umane nella gestione del territorio, oltre a cause naturali come incendi e cambiamenti climatici. I cambiamenti del paesaggio vengono analizzati attraverso l'uso che se ne fa, da uso naturale a uso semi-naturale, a causa di un incremento nella richiesta di nuove zone residenziali e l'espansione delle industrie forestali e dell'agricoltura (Montoya-Tangarife et al., 2017).

Nella maggior parte dei casi questi cambiamenti d'uso di suolo fertile risultano permanenti e irreversibili. La crescita e la diffusione delle aree urbane e delle loro infrastrutture creano un impatto negativo aumentando fabbisogno di trasporto,

consumo di energia, inquinamento acustico ed emissione di inquinanti in atmosfera. Inoltre, l'agricoltura crea frammentazione del territorio, riduzione della biodiversità, alterazioni del ciclo idrogeologico e modificazioni microclimatiche.

1.2.2. Servizi Ecosistemici Idrici

Anche i Servizi Ecosistemici idrici sono influenzati e influenzano gli ecosistemi che attraversano, sempre in funzione della scala considerata. Essi producono processi idrogeologici di vario tipo: interazione con il clima locale, controllo della velocità di piena, fornitura e uso stagionale dell'acqua, alterazione dei suoli, filtrazione, cambiamento della qualità dell'aria, sequestro del diossido di carbonio.

I Servizi Ecosistemici legati all'acqua dolce, in particolare, sono i più sfruttati e possono essere suddivisi in: fornitura dell'acqua estratta da falda e da acqua corrente, mitigazione dei danni prodotti da eventi alluvionali, servizi culturali e servizi di supporto associati.

L'approvvigionamento da acqua di falda è un servizio di approvvigionamento che descrive le modifiche della risorsa per l'estrazione o l'uso in sito. L'acqua estratta viene impiegata per il consumo umano, per l'uso agricolo, commerciale, industriale e termoelettrico. Nel secondo caso, invece, l'uso della risorsa è legato ad esempio alla produzione ittica o alla produzione idroelettrica.

La mitigazione dei danni prodotti, invece, è un servizio di regolazione. Gli ecosistemi mitigano, ad esempio, i danni delle piene, regolano i depositi fluviali e influenzano la salinizzazione di terreni asciutti.

Per quanto riguarda i Servizi Ecosistemici culturali legati all'acqua, essi possono essere ricondotti al suo uso spirituale, alla sua valenza estetica e al turismo.

Infine, l'acqua come servizio di supporto ha la sua manifestazione più chiara in termini di fonte di vita per uomini, animali, piante e, nello specifico, come habitat per gli organismi acquatici.

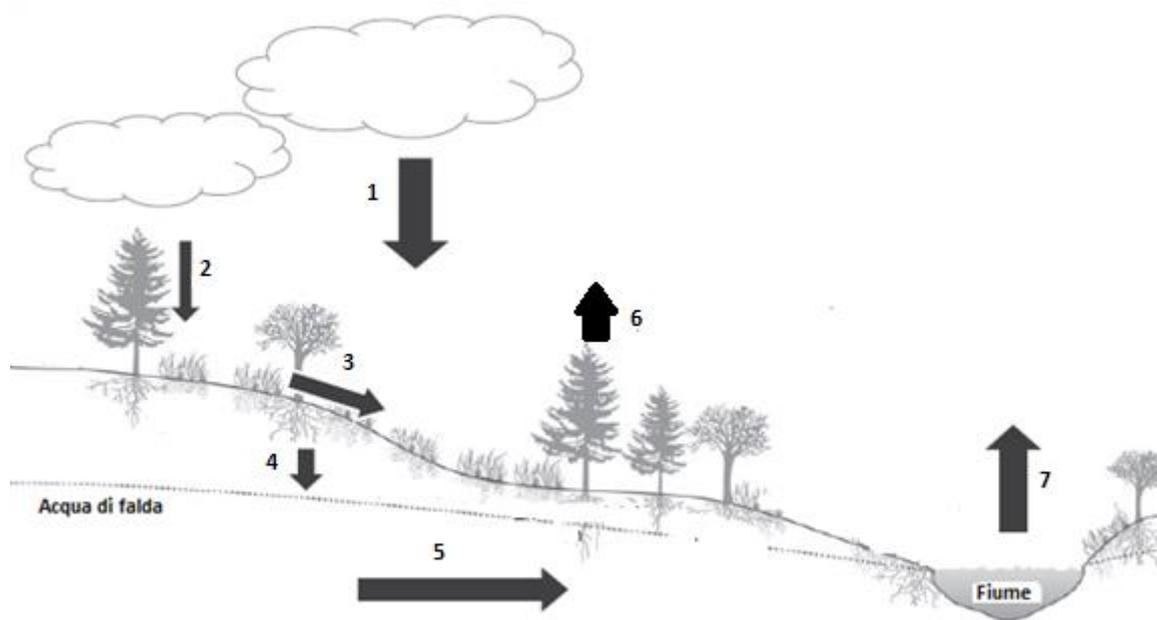


Fig. 1.3 - Ciclo idrologico di una zona vegetata: Precipitazione (1), Intercettazione (2), Ruscellamento (3), Infiltrazione (4), Deflusso di falda (5), Evapotraspirazione vegetale (6), Evaporazione da corso d'acqua (7). (Fonte: Google Immagini)

I servizi idrologici sono interconnessi tra loro e possono avere più o meno impatto gli uni sugli altri. Ecco l'importanza di individuare dei parametri che possano descrivere al meglio le connessioni. Si sceglie di usare attributi impersonali di quantità, qualità, localizzazione della risorsa, tempi di deflusso, essendo questi gli unici che possono al meglio indicare i cambiamenti nella disponibilità idrica a causa dei mutamenti dei bacini idrici generati dall'uomo. Per esempio, nel fenomeno dell'evapotraspirazione la quantità a livello globale si mantiene costante, ma la presenza massiccia in una zona influenzerà negativamente la presenza idrica in un'altra area. Inoltre, sottolineando l'importanza della scala, in una stessa zona, un tipo di vegetazione, non autoctona, può produrre un consumo eccessivo di risorse idriche piuttosto che una vegetazione nativa. Il parametro di qualità riguarda i componenti chimici, i nutrienti, i patogeni, sali e sedimenti presenti sia nell'acqua

di superficie e sia di falda. Gli effetti delle interazioni su questo parametro si possono però valutare solo in tempi lunghi (Brauman, 2007).

1.2.3. Metodi di valutazione dei Servizi Ecosistemici

I metodi di approccio attuali non sono sufficienti a gestire la mole di dati che arriva da campi molto diversi tra loro.

La valutazione monetaria non è l'unico modo per definire i S.E., ma può permettere un paragone nelle economie globali. Quantizzare i S.E. può chiarire i trend di preferenze e programmare la gestione dei fondi per le generazioni future. Robert Costanza nel 2012 ha presentato i risultati di una analisi condotta sul confronto di dati provenienti da esperimenti svolti in tutto il mondo su dieci biomi attraverso l'ESVD (Ecosystem Service Valuation Database), (de Groot et al., 2012). Con bioma viene definita un'ampia regione spaziale comprendente vari ecosistemi, ventidue secondo la classificazione TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). Ai dati, calcolati con criteri scientifici reperibili nell'articolo di riferimento [S10], sono stati associati valori economici valutati in \$/ettaro. Questo metodo ha toccato con mano il problema della quantificazione economica poiché solo i servizi di approvvigionamento sono direttamente associabili a un prezzo di mercato.

1.3. Confronto tra Software di valutazione dei Servizi Ecosistemici

Si è sentita l'esigenza di definire in termini quantitativi ed economici i Servizi Ecosistemici, per renderli strumento di valutazione nelle decisioni di tipo amministrativo e gestionale delle risorse. Poiché l'argomento risulta ampio e incredibilmente complesso, lo sviluppo di tali software è ancora in atto e l'utilizzo

di essi limitato a numeri contenuti di utenti, anche se alcune piattaforme sono gratuite, di facile utilizzo e disponibili anche per un uso privato.

La scelta nell'uso di tali programmi deve essere compiuta individuando il proprio campo di studio. Ci sono infatti software che propongono uno studio dei servizi sistemici in termini generali, come inVEST, ARIES o il progetto LIFE+ MGN, ovvero senza concentrare le proprie potenzialità su S.E. ben definiti. Altri, invece, sono stati pensati per lavorare su specifici Servizi Ecosistemici come ciò che riguarda le risorse idriche (SWAT) o la vegetazione (*i-Tree*), ad esempio.

Qui, una breve tabella che riporta le caratteristiche generali dei software appena descritti.

Software	LIFE+MGN	inVEST	ARIES	SWAT	<i>i-Tree</i>
S.E.	Generale	Generale	Generale	Acqua	Vegetazione
Tempi elaborazione	Bassi	Medi/Alti	Bassi per casi esistenti	-	Bassi per casi esistenti
Livello di sviluppo e documentazione	Sviluppato e documentato	Quasi totalmente sviluppato e documentato	Web tool in fase di sviluppo e documentato	Sviluppato e documentato	Sviluppato (principalmente negli U.S.) e documentato
Personalizzabile	No	-	Sì	Sì	Sì
Scala di lavoro	Ampia scala	Ampia scala/scala di bacino	Ampia scala/scala di bacino	Ampia scala/scala di bacino	Ampia e piccola scala (di quartiere)
Risultati	Qualitativi	Qualitativi e quantitativi	Qualitativi e quantitativi	Qualitativi e quantitativi	Qualitativi e quantitativi

Fig. 1.4 – Tabella di confronto software S.E., (Vigerstol, 2010), (Sharps, 2016)

In questo lavoro di tesi, si è voluto studiare nello specifico uno di questi software, *i-Tree*. Essendo tale suite di programmi largamente sviluppata per il territorio americano, si è deciso di provarne l'applicabilità sul territorio italiano, attraverso uno studio il più possibile approfondito del modello. *i-Tree*, attraverso la

realizzazione di svariati tool, si propone di fornire una risposta il più possibile completa sui Servizi Ecosistemici che un'alberata, un parco, un quartiere cittadino o addirittura un'intera regione con la sua vegetazione possono fornire alla popolazione residente.

La scelta di concentrarsi sui Servizi Ecosistemici legati alla vegetazione risulta chiara se si pensa alla sua utilità per la vita dell'uomo. Inoltre, oltre ad essere indispensabile per la salute, risulta la prima barriera a protezione da eventi improvvisi meteorologici, vedasi i dissesti idrogeologici che interessano di continuo il territorio italiano e mondiale.

2. I-TREE: FUNZIONALITA' E MODELLI MATEMATICI

Si tratta di una suite di software, sviluppata principalmente dall'USDA (United States Department of Agriculture) Forest Service. E' gratuita e fruibile, a seguito di una registrazione, sul sito www.itreetool.org. I tool forniti dalla suite permettono ad amministrazioni, privati, associazioni, studiosi, di conoscere nel dettaglio i Servizi Ecosistemici forniti da una area verde e migliorare la gestione della stessa attraverso interventi mirati. *i-Tree* consente, inoltre, di lavorare su piccola e grande scala, passando dall'analisi di un singolo albero a livello di città, regioni e interi stati (*i-Tree Eco User's Manual v6.0*).

2.1. *i-Tree* tool

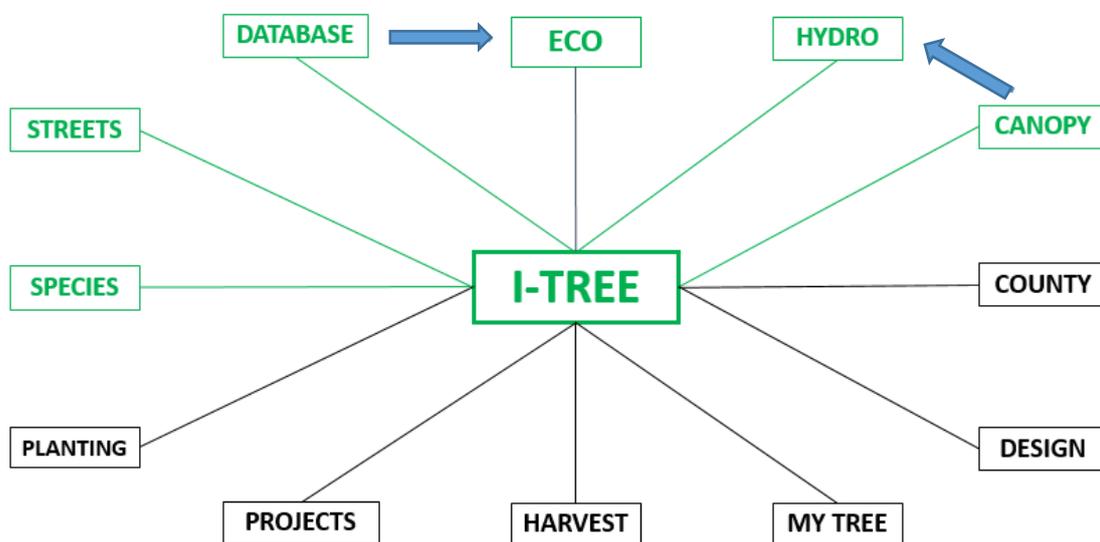


Fig. 2.1 - Mappa tool *i-Tree*. In verde quelli disponibili per l'Italia. Le frecce rappresentano le interazioni tra i tool

La suite di *i-Tree* scaricabile dal sito internet permette di accedere a svariati tool: per alcuni viene creato un collegamento internet e per altri si apre una interfaccia sul desktop.

Gli applicativi utilizzabili online, in ordine alfabetico, sono:

- *i-Tree Canopy*: fruibile anche in Italia, realizza una stima statistica della copertura del suolo e fornisce un'idea sui Servizi Ecosistemici procurati dall'area, aiutando l'utilizzatore nella pianificazione di un possibile intervento sull'area. Le informazioni fornite da questo tool vengono usate all'interno della simulazione di *i-Tree Hydro*;
- *i-Tree County*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, permette di avere immediato accesso, per ogni contea, a dati di sequestro di carbonio, rimozione annuale di inquinamento atmosferico e al loro valore economico. Fa inoltre riferimento a valori corrispondenti ai danni evitati alla salute per aumento della qualità dell'aria, intercettazione e traspirazione annue e deflusso annuo evitato;
- *i-Tree Database*: fruibile in Italia, è stato realizzato per gli utenti internazionali al fine di utilizzare il tool *Eco* a cui è subordinato. Si possono inserire, rispettando un formato pre-impostato, informazioni sulla località da studiare, quali dati di inquinamento dell'aria e serie storiche delle altezze di pioggia. È presente, inoltre, una sezione dedicata ad archivio in cui sono presenti tutte le specie arboree da cui *i-Tree* attinge per processare i calcoli. Questa sezione è consultabile e si possono fare delle aggiunte. I tempi di elaborazione dei dati inseriti, per entrambe le sezioni, sono molto lunghi, possono anche essere di mesi. Questo dipende dal fatto che i dati devono essere validati e resi disponibili per tutti gli utenti a livello globale;
- *i-Tree Design*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, fornisce un collegamento a Google Maps che indica gli effetti sull'uso dell'energia e altri benefici attorno

- a un edificio in funzione della selezione del tipo di albero, dimensione e posizione. Permette di fare una stima a più anni;
- *i-Tree Landscape*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, rende possibile la consultazione dei dati locali di un'area tra cui la popolazione, la copertura del suolo, i benefici degli alberi presenti, e programmare eventi di piantumazione per migliorare i servizi forniti dall'area verde;
 - *i-Tree My Tree*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, è un tool accessibile da dispositivo mobile e fornisce delle informazioni di base sugli alberi vicini all'utilizzatore;
 - *i-Tree Planting Calculator*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, stima i benefici di un progetto di piantumazione su lungo periodo;
 - *i-Tree Species*: fruibile anche in Italia, aiuta l'utilizzatore nel progettare una nuova area verde. Permette di definire l'importanza (da 0 a 10) dei servizi ambientali che si vogliono ottenere dalla stessa, fornendo così una lista di piante che maggiormente possano garantire le aspettative una volta raggiunta la maturità;
 - *i-Tree Storm*: fruibile anche in Italia, è utilizzabile su varie scale e tipi di comunità e fornisce informazioni riguardanti tempi e fondi per mitigare i danni causati da un evento temporalesco.

Gli applicativi con interfaccia desktop, in ordine alfabetico, risultano:

- *i-Tree Eco*: fruibile anche in Italia, questo tool fornisce informazioni sulla struttura della foresta urbana e sui suoi effetti ambientali ed economici (es. sequestro di carbonio e il suo valore economico, VOC, deflusso minimo evitato, ossigeno fornito, etc.). Questo è possibile per l'area d'interesse di piccola o grande scala, in seguito all'inserimento di dati di campo e dati orari di pioggia e degli inquinanti;
- *i-Tree Hydro*: fruibile anche in Italia, è un modello idrologico specifico per la vegetazione. Considerando eventi di piena orari, mostra come questi

- vengano influenzati dalla vegetazione e da un terreno più o meno impermeabile. Valuta anche la qualità dell'acqua;
- *i-Tree Streets*: fruibile anche in Italia e simile a Eco, si concentra sulla valutazione ambientale, culturale ed economica dei Servizi Ecosistemici di una strada urbana;
 - *i-Tree Vue*: sviluppato solo per gli Stati Uniti, dà libero accesso alle immagini di copertura del suolo e dei Servizi Ecosistemici forniti dalle foreste urbane presenti nel NLCD (National Land Cover Database), con la possibilità di modellare scenari futuri di piantumazione, mostrando come cambiano i servizi forniti.

2.2. Modelli

Poiché i programmi maggiormente significativi per l'Italia sono *Canopy*, *Eco* e *Hydro*, si è deciso di approfondire i modelli matematici attraverso cui essi sono stati sviluppati.

2.2.1. *i-Tree Canopy Model*

Questo tool, fruibile online, permette agli utenti di definire puntualmente, su una mappa cittadina o non, la classe di copertura del terreno (albero, erba, edificio, strada, etc.). I risultati forniti dal programma riguardano le percentuali di copertura del terreno, esportabili e utilizzabili in altri programmi, valutate attraverso una analisi statistica che ne definisce l'errore standard (SE, ovvero l'intervallo di confidenza delle variabili) ad esse associato. Viene utilizzata la Binomiale, come distribuzione discreta di probabilità, che si basa sulla mutua indipendenza delle coperture del terreno e su un campionamento aleatorio dei punti. Per il

procedimento applicativo del programma si rimanda al terzo capitolo, paragrafo 3.1.

Per calcolare l'errore standard il programma definisce in sequenza le seguenti variabili aleatorie (N ed n), che forniscono solo due tipi di esito (positivo o negativo):

N: numero totale di punti analizzati;

n: numero totale di punti classificati come "Tree";

e le combinazioni di esse:

$p = \frac{n}{N}$: probabilità di successo del test;

$q = 1 - p$: probabilità di insuccesso del test;

$SE = \sqrt{\frac{pq}{N}}$ o $SE = \frac{\sqrt{n}}{N}$ se $n < 10$;

$\% = p \pm SE$: percentuale di copertura del terreno legata alle varie classi.

Canopy, inoltre, in funzione dell'area di copertura fogliare corrispondente alla classe "Tree", mostra il valore annuale degli inquinanti intercettato dagli alberi per deposizione secca (valutato in $g \cdot m \cdot yr^{-1}$) e ad esso associa un valore monetario ($\$ \cdot m^2 \cdot yr^{-1}$) (Hirabayashi, 2014).

I valori annuali di rimozione e il loro corrispettivo economico sono incrementati da moltiplicatori forniti dal modello con cui è stato sviluppato *Canopy*. Per i Paesi al di fuori degli Stati Uniti, sono usati gli stessi moltiplicatori disponibili entro i confini statunitensi.

Tutte le variabili, misurabili con strumentazione e utilizzate nella creazione del modello, derivano da quelle ottenute dalle stazioni più prossime alle aree studiate. L'EPA (U.S. Environmental Protection Agency) ha definito sei inquinanti che vengono stimati dal programma: CO, NO₂, O₃, SO₂, PM (particolato) che include PM_{2.5} e PM_{10*}, ottenuto sottraendo la concentrazione del particolato PM_{2.5} da quella

di PM₁₀. Per stimare l'incidenza degli effetti negativi sulla salute risultanti da cambiamenti di concentrazione degli inquinanti, è stata usata la BenMAP (Environmental Benefits Mapping and Analysis Program) ovvero un programma open source che calcola la quantità di inquinanti e il loro valore economico in funzione della qualità dell'aria.

I valori dei moltiplicatori della rimozione e del corrispettivo economico, usati di default dal programma, sono stati calcolati negli Stati Uniti nel 2010 attraverso tre analisi riguardanti:

- Il valore di copertura totale arborea, il calcolo della percentuale di sempreverde e dell'indice d'area fogliare (LAI o Leaf Area Index);
- Una stima della rimozione degli inquinanti e dei cambiamenti di concentrazione dovuti alla deposizione;
- Un calcolo della rimozione degli inquinanti.

Queste analisi, condotte in tutte le contee statunitensi per ogni area urbana (i cui confini sono stati stabiliti attraverso le informazioni reperibili dall'U.S. Census Bureau) e rurale (tutte quelle non urbane), sono state poi sovrapposte a quelle disponibili a livello di contea. Nello specifico, per ogni area è stato calcolato il quantitativo totale di rimozione e il corrispettivo economico, divisi per l'area totale di copertura arborea per ottenere i moltiplicatori. A livello di contea, invece, i moltiplicatori sono stati derivati aggregando i valori ottenuti per le aree urbane e per quelle rurali.

Per la copertura arborea sono state usate delle mappe (USGS 2008) a cui sono state applicate delle modifiche. I valori di rimozione degli inquinanti e del cambio di concentrazione, dato dal deposito sulle fronde degli alberi degli inquinanti, derivano da una stima oraria, poi ricondotta a un calcolo annuale tramite *i-Tree Eco*. I valori monetari di rimozione degli inquinanti in area urbana derivano dai valori medi di esternalità statunitensi, modificati secondo l'indice di prezzo del

produttore, mentre quelli relativi alle aree rurali derivano dai precedenti secondo delle modifiche.

In alcune contee, però, dei moltiplicatori dell'inquinante PM_{2,5} sono risultati negativi in quanto, dai calcoli BenMAP, si evidenzia che in particolari situazioni gli alberi contribuiscono a un decremento della qualità dell'aria, aumentando gli effetti negativi sulla salute. Questi dati sono spiegabili in quanto viene valutata la deposizione a secco sulle fronde degli alberi, cosicché il particolato PM_{2,5} possa facilmente essere disperso nell'atmosfera circostante a causa di un vento di normale entità o possa depositarsi sul terreno attraverso un acquazzone sporadico o ancora con la caduta fogliare. In zone ventose e poco piovose, quindi, la concentrazione di PM_{2,5} può risultare annualmente crescente. In tutti gli altri casi di moltiplicatori positivi, sia per il particolato che per le altre tipologie di inquinanti, i valori monetari sono stati stimati attraverso equazioni lineari di regressione del tipo:

$$y = mx + q \quad (1)$$

dove y rappresenta i dollari per tonnellata metrica e x rappresenta la popolazione per km².

2.2.2. *i-Tree Eco: UFORE Model*

Il modello matematico, validato da innumerevoli sperimentazioni e supportato da review e manuali consultabili, con il quale è stato programmato il modulo *Eco* di *i-Tree*, è denominato "The Urban Forest Effects (UFORE) model". Esso può essere applicato ad aree di qualsivoglia dimensione, urbane e non. Permette di monitorare la struttura della foresta urbana e stimarne i Servizi Ecosistemici. Il modello usa una tecnica random di campionatura, con errore noto, su lotti, che si è visto essere più efficace in termini di tempo e costi rispetto a collezionare dati per ogni singolo albero su aree di studio ampie, ottenendo comunque risultati accettabili. I dati

acquisiti in campo (DBH o Diameter at Breast Height, numero e tipo di alberi) vengono combinati per stimare altri elementi strutturali della foresta urbana (ad esempio: la copertura fogliare o la biomassa fogliare). Il modello integra inoltre dei dati ambientali locali, come concentrazione degli inquinanti e dati meteorologici orari, per restituire ulteriori stime riguardo lo stoccaggio del carbonio, la riduzione degli inquinanti, etc. Più è elevata la conoscenza della struttura della foresta urbana, maggiore sarà la precisione della stima dei benefici offerti e del loro valore economico. Quest'ultimo si ottiene utilizzando fattori moltiplicativi che provengono dalla letteratura, quindi, questo permette all'utilizzatore di cambiarli a suo piacimento per adattare la stima al proprio caso studio. Di contro, però, questo modello si basa su molte funzioni, per cui è difficile mantenere la precisione richiesta durante la raccolta dei dati in campo, che prevedono, quindi, delle correzioni.

Di seguito i suoi moduli: *UFORE-A*, *UFORE-B*, *UFORE-C*, *UFORE-D*, *UFORE-E* (Nowak, 2008), (*UFORE Methods*, pdf scaricabile da <https://www.itreetools.org/>).

UFORE-A: Anatomy of the Urban Forest

Basandosi principalmente su dati di campo fornisce informazioni adeguate, con errore standard noto, sulla composizione della foresta urbana, il suo stato di salute, l'area fogliare, la biomassa fogliare e la sua disposizione spaziale, in funzione di altri oggetti presenti. L'area fogliare, la popolazione arborea viva e i valori di compensazione, citati in seguito, vengono poi utilizzati per evidenziare potenziali criticità in presenza di alcune specie infestanti. L'errore registrato per il calcolo dell'area e della biomassa fogliare riguarda un errore di campionamento più che un errore di stima. Esso sottostima l'errore standard di cui è difficile la misura a causa della scarsità delle informazioni sugli errori accumulati nelle equazioni allometriche (del tipo $y = ax^b$ con a e b costanti con le quali si stima la biomassa) e a causa dei fattori di aggiustamento.

Metodo di campionamento

Il metodo parte dal campionamento che, nella stagione di crescita vegetativa, prevede l'uso di plot (circa 200 per un confronto efficace tra dati provenienti da studi diversi) di circa 400 m², misura che può essere però variata dall'operatore e che tutt'ora è oggetto di studio. Questi dividono il terreno in due modi possibili:

- Attraverso una distribuzione a priori dei plot tra i tipi di copertura del suolo, proporzionalmente alla quantità di copertura fogliare, successivamente alla stratificazione del terreno. Eventualmente, per diminuire l'incertezza della stima della popolazione di dati, il modello permette l'inserimento dei plot manualmente da parte dell'utente, aumentando i tempi di rielaborazione dei dati per nuovi scenari.

In definitiva la precisione aumenta nel caso di pre stratificazione, poiché permette di concentrare il numero di plot in aree con maggior quantità di alberi;

- Attraverso una griglia, distribuita casualmente, di celle ad uguale area il cui numero corrisponde al numero di plot desiderato. I plot vengono, poi, distribuiti casualmente in ognuna di esse. Le celle possono essere ulteriormente suddivise nei cosiddetti "strata", dando una stratificazione dei plot in funzione del tipo di copertura del suolo post-priori. Questo metodo permette una più facile valutazione dei dati nel caso di cambiamenti futuri di scenario, ma provoca una maggiore incertezza nella stima della popolazione.

Variabili richieste

I dati richiesti dal modulo sono facilmente reperibili anche attraverso tool che ne facilitano il campionamento e riguardano:

- Informazioni sul plot (percentuale di copertura arborea, uso del terreno e percentuale dello stesso sul plot, tipo di copertura del terreno, distanza da oggetti, direzione in cui si trovano gli oggetti, etc.);

- Informazioni sugli arbusti (specie, area coperta da fogliame, altezza, area fogliare mancante, etc.);
- Informazioni sugli alberi (specie, numero, DBH, altezza, percentuale secca, volume della chioma, esposizione solare, diametro chioma nelle direzioni N-S e E-O, distanza da edifici, etc.);
- Informazioni sulla copertura del terreno.

Alcune accortezze sono da considerarsi per piante con altezza inferiore a 30,5 cm considerate come copertura erbacea e sugli arbusti (ovvero quel materiale legnoso con DBH inferiore a 2,54 cm, che per la raccolta dei dati viene raggruppato in gruppi simili di specie e dimensioni).

Calcolo dell'area fogliare e della biomassa fogliare

Per quanto riguarda il calcolo della biomassa, nel caso degli alberi, essa si ottiene effettuando una conversione, attraverso misure specifiche per ogni specie arborea, dei m² di area fogliare in grammi di fogliame secco. Per gli arbusti, invece, si moltiplica il volume della chioma occupata dalle foglie in m³ a fattori di biomassa, definiti per ogni specie, in g*m⁻³.

Per il calcolo dell'area fogliare, nel caso di arbusti, non è permesso il superamento di un LAI di 18, a causa di problemi nella stima attraverso la valutazione del volume della chioma, come avviene per il calcolo della biomassa fogliare. Per le specie urbane arboree decidue vengono usate le equazioni di regressione, che per alberi cresciuti all'aperto e singolarmente risultano le migliori nella stima e più di tutte si avvicinano ai dati misurabili in campo. Le equazioni vengono applicate con le seguenti particolarità:

- Per alberi di questa specie con DBH troppo elevato, il LAI (Leaf-Area Index: m² di area fogliare moltiplicati ai m² di chioma proiettata sul terreno) viene calcolato per il diametro massimo definito da un appropriato rapporto altezza-peso e coefficiente di ombreggiatura per quel tipo di albero. Il LAI

viene poi riferito all'area occupata dall'albero per il calcolo della copertura fogliare;

- Se i coefficienti d'ombreggiatura (percentuale di luce intercettata dal fogliame) non esistono per una specie, vengono sostituiti con intervalli appartenenti a quelli relativi ai rami secchi;
- L'area fogliare viene calcolata usando il criterio del massimo o minimo ratio, scalata poi opportunamente, nel caso di alberi decidui il cui rapporto altezza/larghezza sia fuori scala;
- Per gli alberi di conifere vengono definite opportune classi di coefficienti di ombreggiatura, tipiche degli alberi decidui.

Per il calcolo del LAI, nel caso di alberi con chioma molto ravvicinata, si può usare la formula di Beer-Lambert Law:

$$LAI = \frac{\ln(\frac{I}{I_0})}{-k} \quad (2)$$

con I , intensità della luce sotto chioma, I_0 , intensità luce sopra la chioma, e k , coefficiente di estinzione della luce (0,52 per le conifere e 0,65 per legni duri).

Da qui, la stima dell'area fogliare diventa:

$$LA = [\ln(\frac{1-x_s}{-k})] * \pi r^2 \quad (3)$$

con x_s , coefficiente di ombreggiatura tipico della specie, ed r , raggio della chioma.

Sia la biomassa fogliare sia l'area fogliare vengono calcolate aggiustando il risultato in funzione dello stato di salute della pianta (da eccellente con meno dell'1% di secco a morto con il 100% di secco). La percentuale di morto è una approssimazione, non totalmente accurata però, del reale stato di salute della pianta. Il valore finale di LA si ottiene moltiplicando quello ottenuto dai calcoli con il fattore che esprime la condizione di salute della pianta.

Diversità delle specie

Nel metodo sono calcolati sia gli indici di diversità delle specie arboree sia il loro numero per tutti gli alberi vivi nelle città in cui è stato applicato. Si crea così un rapporto tra gli alberi autoctoni e quelli originari di altri Paesi.

Valori di compensazione

Questi valori, basati sul costo di piantumazione dello stesso albero in sito, si basano sul moltiplicare i valori riguardanti l'area del tronco e la specie di albero a quelli (da 0 a 1) relativi alle condizioni di salute e posizionamento (legato alla copertura del terreno, anche questa approssimazione non precisa delle informazioni sulla zona in cui è posizionata la pianta). Alcuni valori di costo di trapianto della pianta possono essere derivati dalle pubblicazioni ISA. Per gli Stati non citati, sono stati usati i valori presenti per quelli più vicini ad essi. Altre correzioni sono presenti per alberi con diametro superiore a quello possibile per le specie trapiantabili.

UFORE-B: Emissioni Biogeniche

Questo modulo riguarda la produzione delle VOC, componenti organiche volatili. Esse dipendono dal tipo di albero e da fattori ambientali come ad esempio la temperatura dell'aria. Questo modulo esprime in termini orari la produzione, per ogni specie arborea in funzione della copertura del suolo, principalmente di monoterpene e isoprene, che contribuiscono alla formazione di ozono e monossido di carbonio.

Le emissioni di VOC, standardizzate a 30°C e corrette con dati meteorologici e fattori relativi a luce e temperatura, e il flusso attivo di radiazioni fotosintetiche (PAR) di 1000 μ mol/m²/s sono ottenuti moltiplicando la biomassa fogliare per dei fattori di emissione specifici per ogni famiglia. Se questi ultimi non sono disponibili si usano valori medi di emissione. Nello specifico, il PAR è stato valutato come il 46% del totale della radiazione solare in ingresso, la quale a sua volta è stata

calcolata dal METSTAT (National Renewable Energy Laboratory Meteorological/Statistical Solar Radiation Model) assumendo in input i dati meteorologici dell'NCDC (National Climatic Data Center), da cui vengono misurati anche i valori orari di temperatura dell'aria.

Per stimare la produzione di O₃ dovuto alle VOC ci si rifà a delle scale di incremento di reattività di ozono i cui valori sono moltiplicati per l'emissione delle VOC nelle ore diurne. Queste scale però hanno un alto valore di incertezza nelle stagioni fredde, dovuta alla bassa produzione di O₃ conseguente alla altrettanto bassa emissione di VOC. Le scale di incremento di reattività dell'ozono sono usate per la conversione della CO in O₃. La CO viene calcolata a sua volta come il prodotto tra le emissioni di VOC (E) e il rapporto di peso atomico tra CO e C, considerando un fattore di conversione del 10%:

$$COFP = 0,1 * E * R \quad (4)$$

con COFP il potenziale di formazione di CO espresso in grammi.

La conversione da CO a O₃ usata da questo modello però è molto sommaria rispetto ai processi che si esplicano verosimilmente in natura, oltre all'incertezza presentata da questo modello anche nella stima delle VOC. L'ozono è inoltre limitato nella produzione alla traspirazione delle piante che abbassa la temperatura delle foglie e dell'aria circostante. Questo riduce la circolazione di VOC. Quindi un aumento del numero di alberi, produce una diminuzione ancora più sentita delle temperature. Per queste valutazioni si sono eseguite delle prove nella zona Nord-Est degli Stati Uniti e nella stagione di crescita fogliare.

UFORE-C: Stoccaggio del carbonio e sequestro annuale

Il vantaggio di questo modulo sono le stime statistiche della distribuzione dei diametri, per specie, che influenzano lo stoccaggio del carbonio e il campionamento statistico degli alberi.

La rimozione della CO₂ e lo stoccaggio di carbonio sono permessi dai processi di crescita delle piante attraverso la loro biomassa fogliare. Questi gas, bloccando alcune radiazioni nella atmosfera per via della loro lunghezza d'onda, contribuiscono all'aumento delle temperature. La quantità lorda di carbonio sequestrato annualmente viene stimata come differenza tra quella valutata nell'anno successivo e in quello precedente. Per migliorare la stima della variabilità regionale nella crescita arborea in funzione delle condizioni locali, però, è stata provata la necessità di coinvolgere nel modello più dati di crescita degli alberi della foresta urbana. Infatti, nell'attuale modello vengono considerati principalmente dati standardizzati sulla lunghezza della stagione di crescita delle piante e sulle dimensioni della chioma.

I tassi di crescita delle piante, in funzione della lunghezza della stagione di crescita, vengono corretti con fattori che esprimono le condizioni di salute della pianta stessa e si ottengono a partire da un valore di crescita standard (SG) diminuito attraverso un fattore che esprima l'esposizione della chioma alla luce (CLE). Nello specifico:

Per CLE: 0-1 (condizioni di crescita della foresta), $Base\ growth = \frac{SG}{2,26}$;

2-3 (condizioni di crescita del parco), $Base\ growth = \frac{SG}{1,78}$;

4-5 (condizioni di crescita all'aperto), $Base\ growth = SG$,

con $SG = 0,83 \left[\frac{cm}{yr} \right] * \frac{num\ di\ giorni\ senza\ freddo\ intenso}{153} * CLE$.

Le equazioni allometriche per il calcolo della biomassa (nel caso del calcolo di quella fuori terra e quella di peso fresco), all'interno del metodo, subiscono degli aggiustamenti attraverso dei fattori assunti dalla letteratura disponibile. Fattori correttivi vengono anche utilizzati nel caso di alberi coltivati all'aperto, derivanti da

prove di campo effettuate nell'area della città metropolitana di Chicago, mentre non vengono usati nel caso di alberi cresciuti spontaneamente. Per quanto riguarda gli alberi di conifere, che perdono le foglie in un periodo dell'anno, si calcola solo il carbonio immagazzinato nella biomassa del legno.

All'interno del modello le svariate equazioni impiegate per il calcolo del sequestro in tutte le specie sono state combinate per ottenerne una unica utilizzabile per un numero limitato di diametri in ciascuna specie, questo per evitare di avere stime disgiunte a causa dell'eterogeneità. Qualora non disponibili le equazioni allometriche specifiche per la singola pianta, sono state usate quelle della famiglia, oppure quelle relative a conifere o latifoglie.

Allo stoccaggio e sequestro del carbonio sono stati associati costi sociali di emissione per il diossido di carbonio calcolati tra il 2001 e il 2010 pari a 22,8\$/tonC.

Una precisazione va fatta per gli alberi morti che perdono il carbonio stoccato a causa della decomposizione o a causa di processi di rimozione, come la loro conversione in concime o la loro combustione. Inoltre se non rimossi, possono essere accidentalmente annoverati nel campionamento di stima dello stoccaggio: per questo motivo nel modello si tiene conto di un periodo più o meno lungo (da 1 a 20 anni in funzione della collocazione geografica) di rimozione di una certa percentuale di alberi che si assume come a fine vita.

UFORE-D: Rimozione degli inquinanti

Usato per stimare annualmente la deposizione a secco oraria su alberi e arbusti di O₃, SO₂, NO₂, CO e PM10 in funzione di dati di copertura del terreno, climatici provenienti dall'NCDC e di concentrazione degli inquinanti segnalati dall'EPA (Environmental Protection Agency) provenienti da stazioni locali o da quelle site in cittadine limitrofe con dimensioni similari. Nel caso di mancanza di dati orari il modello permette l'utilizzo di stime medie mensili relative all'ora d'interesse. Se mancano, infine, dati relativi a un intero mese, è concessa una interpolazione tra i

dati offerti dai mesi a cavallo del periodo mancante. Inoltre, nel caso di Paesi al di fuori dai confini statunitensi sono richiesti dati orari di concentrazione nel formato specifico usato dal metodo.

Il flusso degli inquinanti (F), in $g^*m^{-2}*s^{-1}$, è calcolato come prodotto tra la velocità di deposizione (V_d) in $m*s^{-1}$ e la concentrazione degli inquinanti (C) in g^*m^{-3} , come portato dall'equazione (5):

$$F = V_d * C \quad (5)$$

La velocità di deposizione a sua volta dipende delle resistenze:

- Aerodinamica (R_a);
- Dello strato limite quasi laminare (R_b), ovvero la resistenza al movimento attraverso il sottile strato di aria che è a diretto contatto con la superficie e non mosso dal flusso del vento [S10];
- Della chioma (R_c).

La seguente formula (6) mostra come la velocità sia legata alle resistenze (Baldocchi et al., 1987):

$$V_d = (R_a + R_b + R_c)^{-1} \quad (6)$$

R_a e R_b derivano dai dati meteorologici di stazioni, spesso aeroportuali, vicini alla zona di misura. In particolare R_a dipende dalla velocità del vento a una certa quota, ($u(z)$), e dalla velocità d'attrito (u^*), come si può vedere nella equazione (7):

$$R_a = u(z) * u^{*-2} \quad (7)$$

R_b , invece, è data dalla velocità d'attrito, (u^*), combinata alla costante di von Karman, (k), al numero di Schmidt, (Sc), e a quello di Prandtl, (Pr), come nella equazione (8):

$$R_b = 2 * Sc^{\frac{2}{3}} * Pr^{-\frac{2}{3}} * (k * u_*)^{-1} \quad (8)$$

R_c, infine, dipende da tre sotto resistenze:

- Stomatica (r_s), ovvero di passaggio del vapore acqueo o del diossido di carbonio attraverso i pori delle foglie [S11];
- Alla mesofilla (r_m), opportunamente spiegata dall'articolo riportato in Sitografia [S12];
- Cuticolare (r_t);

così come si può apprezzare dalla equazione (9):

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{(r_s+r_m)} + \frac{1}{r_t}. \quad (9)$$

Per r_m e r_t sono stati assunti valori predefiniti nel caso di SO₂, O₃ e NO₂.

Per il calcolo di R_c, i dati orari utilizzati sono il PAR (Photosynthetic Active Radiation), la temperatura dell'aria, la velocità del vento, l'attrito dell'aria, la concentrazione di CO₂ e l'umidità assoluta. Poiché, inoltre, la rimozione di PM₁₀ e di CO non dipendono direttamente dalla traspirazione, R_c per questi valori è stata definita attraverso due costanti, una per la stagione di crescita vegetativa e una per quella concomitante con la caduta fogliare, (Bidwell et al.,1972).

Il modello si basa sui calcoli del LAI derivanti dal modulo A del modello UFORE. Inoltre, per la valutazione della traspirazione e della relativa deposizione degli inquinanti sulle specie decidue, il modello viene aggiustato attraverso l'inserimento delle date inerenti al periodo di crescita vegetativa relativo alla località in esame.

Il valore monetario associato alla rimozione del singolo inquinante è stato calcolato per i casi usati per la validazione del metodo negli Stati Uniti e stimato usando i valori medi di esternalità, in cui quello relativo all'ozono viene uguagliato a quello del diossido di azoto.

Dal modello si ottiene, quindi, I_x ovvero la rimozione in kg/albero degli inquinanti in funzione della classe di diametro (x) e della superficie fogliare come:

$$I_x = R_t * \frac{\left(\frac{L A x}{L A t}\right)}{N_x} \quad (10)$$

con R_t , kg totali di inquinanti rimossi per tutte le classi di diametro, LA_x , m² di area fogliare per la classe di diametro x , LA_t , m² di area fogliare per tutte le classi di diametro, e N_x , numero di alberi nella classe di diametro x .

UFORE-E: Effetti sull'uso dell'energia dell'edificio

Questo modulo permette di valutare il risparmio nell'uso dell'energia in quartieri residenziali, quindi a scala locale, nei processi di condizionamento (MWh) e riscaldamento (MWh), grazie alla presenza di piante, partendo da valori statali. Ad esso viene associata una minor produzione di carbonio da parte delle centrali, (McPherson et al. 1999).

Per questo modello vengono registrate le informazioni sulla distanza e posizione solo di piante superiori a 6 m di altezza e distanti meno di 18 m da edifici a due piani. Si parte da dati di default che riguardano gli effetti sull'energia per albero: dimensione della pianta, tipo di fogliame (deciduo o sempreverde), regione climatica, periodo di costruzione dell'edificio, tipo di uso dell'energia. Soprattutto a causa dei dati climatici e riguardanti il tipo di edificio, questo modulo diventa di difficile applicabilità per Paesi esterni agli Stati Uniti.

I valori degli effetti sull'energia dati di default vengono corretti in funzione delle condizioni di salute della pianta, in tutti i casi se si tratta di processi di condizionamento, solo per specie sempreverdi nei processi di riscaldamento, come segue:

$$\text{Correzione energetica} = 0,5 + [0,5 * (1 - \%morto)] \quad (11)$$

Gli effetti locali sul clima sono influenzati dalla crescita arborea e sono valutati su plot con copertura del 10, 30 e 60%. Per percentuali minori del 10%, vengono usati i valori dell'intervallo 10-30% nelle interpolazioni. Nei casi di percentuali superiori al 60%, viene usato l'intervallo 30-60%, considerando un valore minimo (per evitare di avere valori negativi) pari a 1/3 dell'effetto di una copertura al 60%. Per ogni plot

gli effetti su un particolare uso dell'energia, in funzione della classe energetica, sono misurati come sommatoria degli effetti prodotti da ogni singolo albero.

Gli effetti sull'energia per il condizionamento sono stati valutati moltiplicando tutti gli effetti sul condizionamento calcolati in un plot per il rapporto tra il fattore di emissioni elettriche specifico per lo Stato in esame e il fattore di emissioni elettriche della regione climatica.

Inoltre, è stato valutato l'impatto economico dei cambiamenti nell'uso dell'energia di un edificio attraverso i prezzi statali medi per kWh tra il 1970 e il 2002 o per MBtu nel caso di gas naturali, combustibile e legno tra il 1990 e il 2002. Un ulteriore aggiornamento è stato apportato con i valori disponibili per l'anno 2007.

2.2.3. UFORE Hydro

Nel secolo scorso si è visto un incremento significativo della popolazione mondiale: dal 51 al 73% in Europa e dal 64 all'80% nel Nord America, per citare alcuni continenti. E, sempre confrontando le stesse popolazioni, nel 2030 è previsto che l'80% degli Europei e l'87% degli Americani abiterà in aree urbane, le quali verranno sottratte a foreste, pascoli e campi coltivabili. Questi cambiamenti porteranno a vincolare gli elementi naturali spontaneamente presenti nel luogo, alterandone le caratteristiche e modificando la loro consueta efficacia a prevenire eventi naturali, come quelli idrologici. Diminuire la quantità di alberi presenti in una zona per la sua conversione in area urbana produce una diminuzione drastica dell'acqua intercettata. Così anche il cambiare la struttura del suolo, compattandolo maggiormente o coprendolo con materiali poco drenanti, va a diminuire l'infiltrazione e ad aumentare il ruscellamento, diminuendo la capacità di evaporazione dell'acqua nel suolo. Il ruscellamento copioso superficiale carica l'acqua in maniera non puntuale (quindi non concentrata nei siti industriali ad

esempio) di inquinanti dannosi per la qualità delle acque in cui quelle di ruscellamento si riversano.

UFORE-*Hydro* è un modello topograficamente basato, sviluppato attraverso la struttura OBJTOP (Object-oriented, Topographic), e utilizza algoritmi i quali lavorano, modificandoli leggermente, con dati di intercettazione, stoccaggio, infiltrazione, evaporazione e ruscellamento. È un modello di facile utilizzo per ricercatori, urbanisti o tecnici ambientali, ai quali vengono richiesti minimi dati in ingresso.

L'articolo consultato per questo studio si rifà alla prima versione di UFORE-*Hydro*, (Wang et al., 2008).

Struttura del modello

La versione studiata, da cui prenderanno spunto tutti gli aggiornamenti del modello, prevedeva l'utilizzo di uno schema urbano di scambi terreno-vegetazione-atmosfera rappresentati da layer verticali. Inoltre, la superficie veniva riconosciuta come permeabile o impermeabile e veniva quantizzata la percentuale di copertura dovuta alla presenza di albedo.

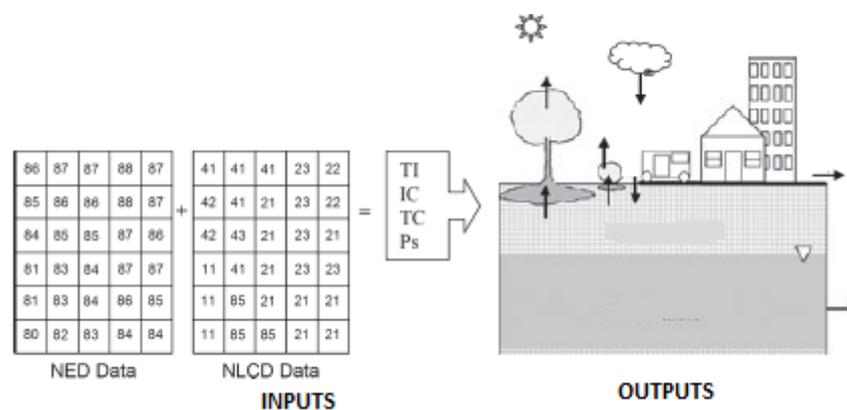


Fig. 2.2 - Input e Output di i-Tree Hydro (Fonte: *Mechanistic simulation of tree effects in an urban water balance model*, Nowak 2008)

Il modello di flusso prevede i seguenti input: dati NED (National Elevation Data), sotto forma di raster con ogni pixel corrispondente a un'area di dimensioni definibili a piacimento dall'utilizzatore, e dati NLCD (National Land Cover Data). Da questi, si possono ricavare, dunque, le seguenti informazioni: dai dati NED, l'indice topografico (TI), e dai dati NLCD (Yang et al., 2003), stime della copertura impermeabile (IC) e la chioma degli alberi (TC). TI, nel modello, viene calcolato come quoziente tra l'area per lunghezza del contorno e la tangente alla pendenza del pixel locale. IC e TC vengono definite per ogni blocco di TI, ovvero gruppi di pixel con uguale indice topografico idrografico.

Altri dati di input, che riguardano il terreno, devono essere l'iniziale livello di falda, la composizione chimica del suolo e i suoi parametri fisici. Infine, si richiedono dati meteorologici quali le precipitazioni (consigliati intervalli di tempo di un'ora o più piccoli) e le potenziali evaporazione ed evapotraspirazione.

I dati forniti in output dal modello sono poi: la quantità di precipitazione intercettata dalla vegetazione e quella immagazzinata nelle buche impermeabili del terreno, l'infiltrazione, l'evapotraspirazione, i deflussi superficiali, la profondità della falda e i suoi flussi laterali.

Risultati del modello

Intercettazione delle piogge

L'intercettazione dipende sia dalle caratteristiche di durata e d'intensità dell'evento di precipitazione atmosferica sia da quelle di area fogliare e di capacità di immagazzinamento dell'albero.

L'algoritmo utilizzato dal modello UFORE-*Hydro* è di tipo deterministico e teorizzato da Rutter, (Rutter et al., 1971, 1975). Si usa una variazione, proposta da Valente, (Valente,1997), che permette di considerare vegetazione sparsa. Il modello utilizza un bilancio dell'acqua che scorre tra chioma, rami e tronco e valuta eventuali cambiamenti nell'intensità e nella durata delle precipitazioni oltre a una

variazione nella TC. UFORE-*Hydro*, inoltre, introduce una variabilità stagionale del LAI e una diminuzione dei parametri del modello bloccando il gocciolamento dalla chioma fino a che si è raggiunto l'immagazzinamento totale della precipitazione.

L'equazione di riferimento è:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = P - R - E \quad (12)$$

con C , in metri, la profondità della pioggia sull'unità di chioma al tempo t , P (m/s), precipitazione sopra la chioma, R (m/s), precipitazione sotto la chioma che raggiunge il suolo, ed E (m/s), evaporazione. Δt rappresenta invece l'intervallo di tempo della simulazione, nella quale si considera che solo una piccola parte della precipitazione cada senza contatto con la chioma sul terreno (P_f) e, prima che la capacità di accumulo (S) raggiunga quella massima (C_{max}), P_f coincide con R . Nello specifico S viene considerata come il totale di acqua accumulabile dalla chioma senza che questo cada al di sotto e, dal modello, prima di qualsiasi sgocciolamento, si considera il raggiungimento di C_{max} . Nella seconda fase della simulazione si considera che non ci sia più acqua accumulabile e quella che raggiunge l'albero cada a terra. Infine, quando si interrompe il fenomeno di precipitazione atmosferica, inizia il momento della evaporazione. Il modello in realtà permette all'evaporazione di comparire anche durante l'evento meteorico, dando origine a un modello dinamico in cui cambia la percentuale di acqua ritenuta.

P_f si può calcolare a partire da P e da c , frazione di copertura fogliare, secondo l'equazione (13):

$$P_f = P(1 - c) \quad (13)$$

con $c = 1 - e^{-kLAI}$, e "k", coefficiente di estinzione (0,7 per le foreste e 0,3 per vegetazione più contenuta), LAI, area cumulativa unilaterale sana per unità di area.

A sua volta S viene espressa dall'equazione lineare (14):

$$S = S_L * LAI \quad (14)$$

con S_L , in metri, massima capacità di immagazzinamento specifica della foglia, ovvero il livello massimo di acqua trattenuta dalle foglie di una specie per unità di area fogliare. S_L assume il valore di default di 0,0002 m.

Il LAI, invece, per gli alberi decidui tiene conto anche di un indice d'area del tronco che, nel periodo di perdita delle foglie, intercetta la pioggia. Per fare questo si introduce un nuovo termine, il TAI (total Tree Area Index) giornaliero, tramite l'equazione (15):

$$TAI = LAI * F_{leaf} + BAI \quad (15)$$

con BAI (Bark Area Index) ovvero indice dell'area della corteccia, che presenta un unico valore costante durante tutto un anno di crescita per la pianta in esame. Compare, inoltre, un ulteriore nuovo termine, F_{leaf} , ovvero la frazione di TC nella stagione di crescita vegetativa. F_{leaf} assume un valore massimo a fine estate, influenzando il TAI che diventerà TAI_{max} , e minimo in inverno per le specie decidue, con il suo corrispondente TAI_{min} .

Per i valori giornalieri di TAI in primavera e autunno, quando la percentuale di verde cambia, si propone l'interpolazione data dalla formula (16):

$$TAI_{daily} = \frac{(TAI_{max} - TAI_{min})}{1 + e^{-0,37(day_a - day_b)}} + TAI_{min} \quad (16)$$

Con "day_a", in primavera, si intende il giorno Giuliano della simulazione e, in autunno, il giorno che rappresenta la transizione tra la crescita e la caduta fogliare. Il "day_b", invece, in primavera diventa il giorno di transizione tra la caduta e la crescita fogliare, mentre in autunno corrisponde al giorno della simulazione.

Per questo sotto-modello i vantaggi derivano dal fatto che il TAI possa valutarsi per altre specie vegetali, che sia comprovato da svariati studi e che i dati legati alla lunghezza del periodo di transizione siano inseriti dall'utente.

Stoccaggio dell'acqua negli avvallamenti impermeabili del terreno

Questa teoria si basa sull'algoritmo SWMM relativo alla non pendenza, di cui all'utilizzatore viene raccomandato l'inserimento della profondità dello stoccaggio o di altri valori derivati da misurazioni di campo. Il valore di default, massimo, della profondità di stoccaggio dell'acqua assunto dal modello, prima del ruscellamento, vale 1,5 mm. L'evaporazione viene tenuta in conto in quanto modificatore del valore di profondità di stoccaggio disponibile.

Vegetazione, suolo e superfici idriche: processi di evaporazione e traspirazione

L'evaporazione, come accennato nei paragrafi precedenti, influisce sulla quantità d'acqua intercettata e stoccata.

Si definisce E (m/s) il flusso d'evaporazione, (Deardorff, 1978), (Noilhan e Planton, 1989), secondo la formula (17):

$$E = \left(\frac{C}{S}\right)^{2/3} * E_p \quad (17)$$

dove E_p è l'evapotraspirazione potenziale (m/s).

E_p consta di tre termini da fornire in input al programma: E_p dell'acqua libera della TC, quella dell'acqua libera su erba, arbusti e di quella accumulata nelle depressioni del terreno e la ET_p , l'evapotraspirazione potenziale dei volumi d'acqua contenuti nel terreno attraverso la vegetazione.

E_p per alberi e arbusti si calcola dall'equazione modificata di Penman-Monteith con specifici valori per la resistenza della chioma, r_s . ET_p a sua volta deriva dalla formulazione di Penman-Monteith, considerando valori potenziali modificati in funzione delle resistenze all'umidità del terreno e della chioma, sulle quali si basa l'evaporazione diretta del terreno. Queste resistenze, collocate nella zona radicale, vengono espresse dalla velocità, in metri al secondo, (Beven et al., 1995), rappresentato dall'equazione (18):

$$ET_a = ET_p \left(1 - \frac{S_r}{S_{max}}\right) \quad (18)$$

con S_r , deficit di stoccaggio della zona radicale, in metri, e S_{max} , deficit massimo a disposizione. Una evapotraspirazione maggiore si ottiene per un numero crescente di alberi e resistenze inferiori.

Infiltrazione nei terreni

UFORE-Hydro suddivide l'acqua sul piano di calpestio, da quella infiltrata nel terreno e da quella di ruscellamento attraverso la teoria sui processi di infiltrazione e saturazione espressa dal TOPMODEL unita a quella, modificata, di Green-Ampt. Il tasso di infiltrazione proposto risulta pari alla derivata nel tempo dell'infiltrazione accumulata (I), secondo l'equazione (19):

$$i = \frac{dI}{dt} = \frac{\Delta\Psi + Z}{\int_{z=0}^z \frac{dz}{K_z}} \quad (19)$$

Z (m) rappresenta la profondità studiata nel terreno, $\Delta\Psi$ è l'effettivo fronte bagnato di suzione, in metri, e K_z rappresenta la conducibilità idraulica (m/s), la quale diminuisce attraverso una legge di potenza (20) con la profondità:

$$K_z = K_0 * (1 - fz)^n \quad (20)$$

Per aree urbane K_z presenta valori caratteristici tipici dei terreni compatti e il modello, che tiene conto del livello della falda, una volta saturato il terreno, trasforma la pioggia in deflusso superficiale o acqua ferma sul piano di calpestio.

Deflusso superficiale e sub-superficiale

Il deflusso per area imbriferata, in m/s, (q_{total}), risulta dalla sommatoria del flusso sub-superficiale unitario ($q_{subsurface}$), di quello superficiale ($q_{overland}$) e di quello delle aree impermeabili ($q_{impervious}$), secondo l'equazione (21):

$$q_{total} = q_{subsurface} + q_{overland} + q_{impervious} \quad (21)$$

Il deflusso superficiale è riferito ai terreni permeabili ed è dato dalla somma dai flussi superficiali dovuti all'eccesso di saturazione e all'eccesso di infiltrazione. Si può determinare con la teoria TOPMODEL come presentato dalla formula (22):

$$q_{overland} = \frac{A_{sat}}{A} * P_W \quad (22)$$

con il rapporto tra l'area saturata (A_{sat}) e l'area totale di versante (A) e la precipitazione (m/s), ponderata spazialmente, sopra e sotto la chioma.

Il deflusso sub-superficiale, invece, viene studiato applicando sempre la teoria TOPMODEL e considerandolo come il flusso dell'acqua che si muove dalle aree sature del terreno. I rapporti tra profondità e trasmissibilità del suolo, nello studio del deflusso sub-superficiale, sono rappresentati da una legge di potenza e il TI mappa il terreno in aree idraulicamente simili. Infine, le equazioni del modello usato da *Hydro* richiedono una serie di parametri tra cui si ricordano i più significativi:

- T_0 : trasmissibilità del terreno a saturazione;
- λ : il principale TI;
- m : parametro di scala;
- s : il deficit d'umidità media del terreno relativo a λ .

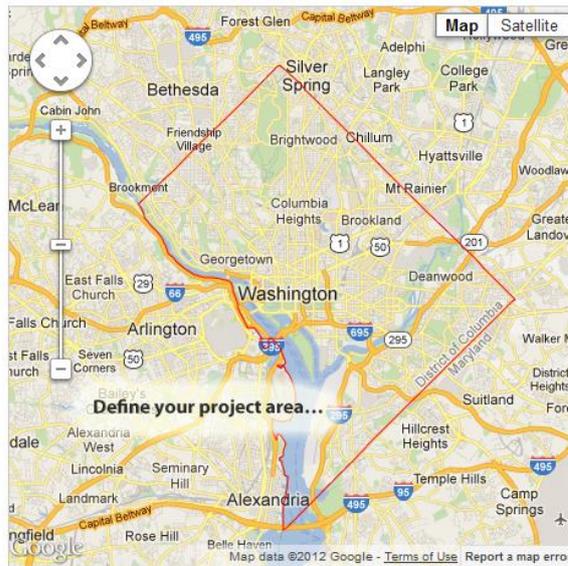
3. APPROFONDIMENTO SULL'UTILIZZO DI I-TREE

3.1. *i-Tree Canopy*

Canopy lavora su mappe geo referenziate (ESRI GIS shapefile) da caricare sul programma stesso oppure direttamente su un collegamento interattivo di Google Maps in cui bisogna definire però i confini dell'area di studio attraverso un apposito comando di selezione. Se si fosse interessati a studiare un'area all'interno dei confini statunitensi è possibile ricercarla sul sito dell'US Census. È inoltre possibile caricare un progetto precedentemente iniziato.

Definito il contorno dell'area, si passa a creare una legenda che raggruppa le classi di copertura del terreno. Quelle presenti di default sono: Tree/ Non-Tree. Per esigenze di chiarezza all'utilizzatore viene data la possibilità di aggiungere o modificare queste classi, ma solo prima dell'inizio della simulazione.

Vengono poi richiesti valuta e caratteristiche della zona (urbana o non) per generare automaticamente rapporti tra i benefici forniti dall'albedo e il loro valore economico. Gli output forniti da *Canopy* sono comunque largamente indicativi, in quanto fuori dai confini statunitensi le stime sono poco accurate.



i-Tree Canopy v6.1

Estimate tree cover and tree benefits for a given area with a random sampling process that lets you easily classify ground cover types.

Start using i-Tree Canopy:

Step 1 or

Step 2

Been here before?

Already started an i-Tree Canopy survey?
Load it here and resume your work.

Want to compare a completed i-Tree Canopy project to Google Earth historical imagery?

Would you like to learn more?

Fig. 3.1 – Schermata principale *i-Tree Canopy*

Come si può vedere nella Fig. 3.1, nella pagina iniziale, inoltre, sono presenti i riferimenti ai manuali d’uso e al forum degli utenti di *i-Tree*.

Il programma, poi, come si può evincere dalla Fig. 3.2, permette di registrare i dati puntualmente nell’area spostando in maniera casuale un cursore sulla mappa. Questo consente di selezionare per ogni punto indicato la classe di copertura tra l’elenco definito in fase di progettazione. È un procedimento manuale lasciato all’utente, che sceglie la classe di copertura del terreno in funzione del punto mostrato.

Si consiglia, per avere una tolleranza accettabile sull’errore, di definire almeno 800 punti. Più il numero di punti cresce, più cresce la precisione della stima, diminuendo l’errore standard.



Fig. 3.2 – Schermata tipo per la definizione dei punti su *i-Tree Canopy*

Il programma restituisce il numero di punti relativi a ogni classe di copertura con i relativi valori in percentuale e in m², e i loro errori standard. I dati vengono presentati sia in un grafico che in tabella. Infine il programma fornisce una tabella che riporta, per ogni inquinante, la quantità rimossa dall'area studiata e il suo corrispettivo economico. Per un approfondimento su come si presentano le tabelle fornite da *i-Tree Canopy* si rimanda al caso studio al quarto capitolo.

3.2. *i-Tree Hydro*

Hydro permette di valutare volumi e qualità dei deflussi idrologici, considerando l'intero ciclo idrico. Lavora su scale diverse e su aree definite "Watershed" e "Non-Watershed" e, in funzione di queste, richiede dati in input di tipo differente (*i-Tree Hydro User's Manual*, scaricabile dal sito <https://www.itreetools.org/>).

Il bilancio idrico che Hydro assume a modello può essere presentato su scale dimensionali differenti:

- A scala di parco:

$$PR = VET + VI + S + PI + PF + IF + SF + GET \quad (23)$$

con PR, precipitazione, VET, evapotraspirazione della vegetazione, VI, intercettazione della vegetazione, S, stoccaggio, PI, infiltrazione su terreno permeabile, PF, flusso su terreno permeabile, IF, flusso su terreno impermeabile, SF, flusso sub-superficiale, GET, evapotraspirazione del terreno.

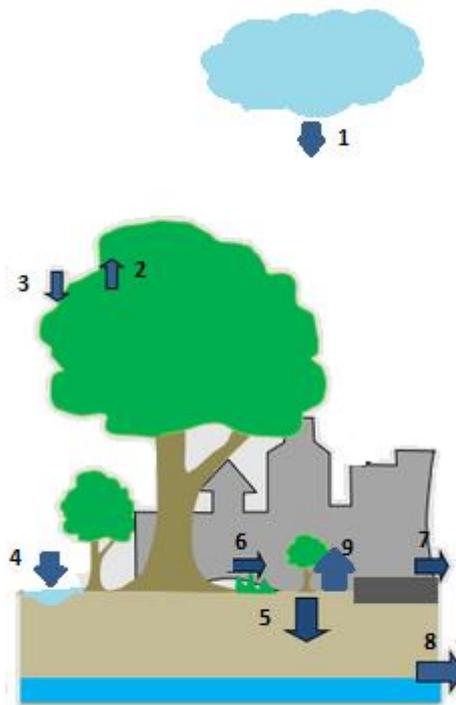


Fig. 3.3 - Bilancio idrico a scala di parco (Fonte:

<https://www.itreetools.org/tools/hydro>)

L'equazione (23) assume (come si può vedere dalle frecce numerate in Fig. 3.3) in input la quantità di pioggia, PR (1), e mostra come questa dipenda

dall'evapotraspirazione della vegetazione, VET (2), dall'intercettazione fornita dalla stessa, VI (3), dall'immagazzinamento nelle depressioni del terreno, S (4), dall'infiltrazione nel terreno permeabile, PI (5), dal deflusso superficiale su terreno permeabile, PF (6), dallo stesso su terreno impermeabile, IF (7), dal deflusso di falda, SF (8), e dall'evapotraspirazione del terreno, GET (9).

- A scala di albero/arbusto:

$$PR = LET + D + S + F \quad (24)$$

$$F = GET + I \quad (25)$$

con PR, precipitazione, LET, evapotraspirazione fogliare, D, deposizione, S, stoccaggio, F, acqua di caduta, GET, evapotraspirazione del terreno, I, infiltrazione.

Nella pagina seguente l'immagine (Fig. 3.4) che rappresenta il bilancio idrico a scala di albero/arbusto con relativo commento.

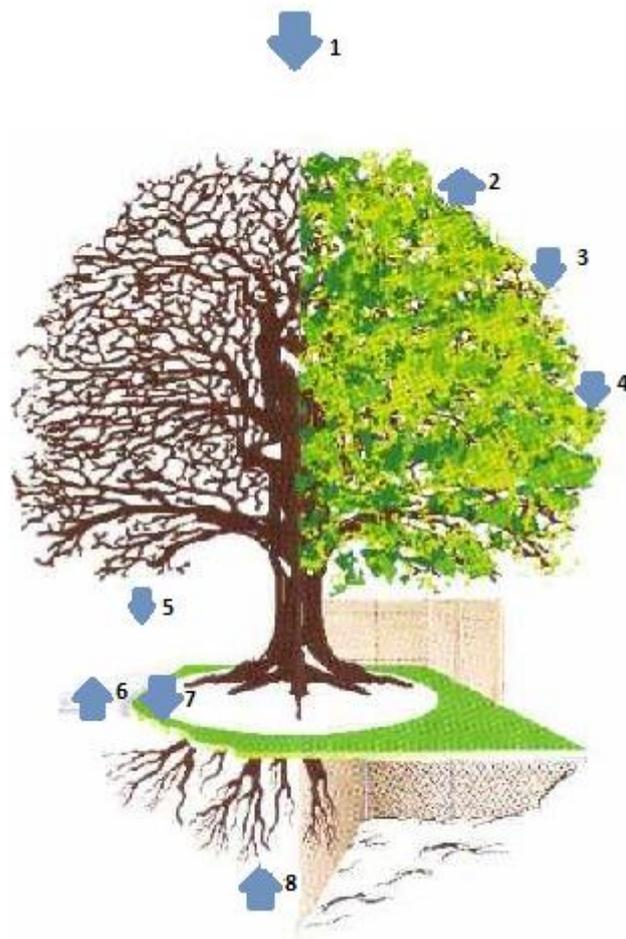


Fig. 3.4 - Bilancio idrico a scala di albero

Il bilancio idrico a scala d'albero, presentato dalle equazioni (24) e (25), (come mostrato dalle frecce in Fig. 3.4) vede in ingresso della quantità di precipitazione (1) e in uscita l'evapotraspirazione prodotta dall'apparato fogliare della pianta (2), il deposito dell'acqua sulle foglie (3), l'immagazzinamento dell'acqua attraverso foglie e corteccia (4) e la caduta dell'acqua in eccesso sul terreno (5). Quest'ultima crea un sotto bilancio dove essa viene equilibrata dal processo di evapotraspirazione del terreno (6) e dall'acqua infiltrata nel terreno direttamente sotto l'albero (7), di cui una parte viene sottratta dall'apparato radicale della pianta (8).

3.2.1. Dati in input

La schermata principale di *i-Tree Hydro* permette di esplorare un file d'esempio, "Sample Project".

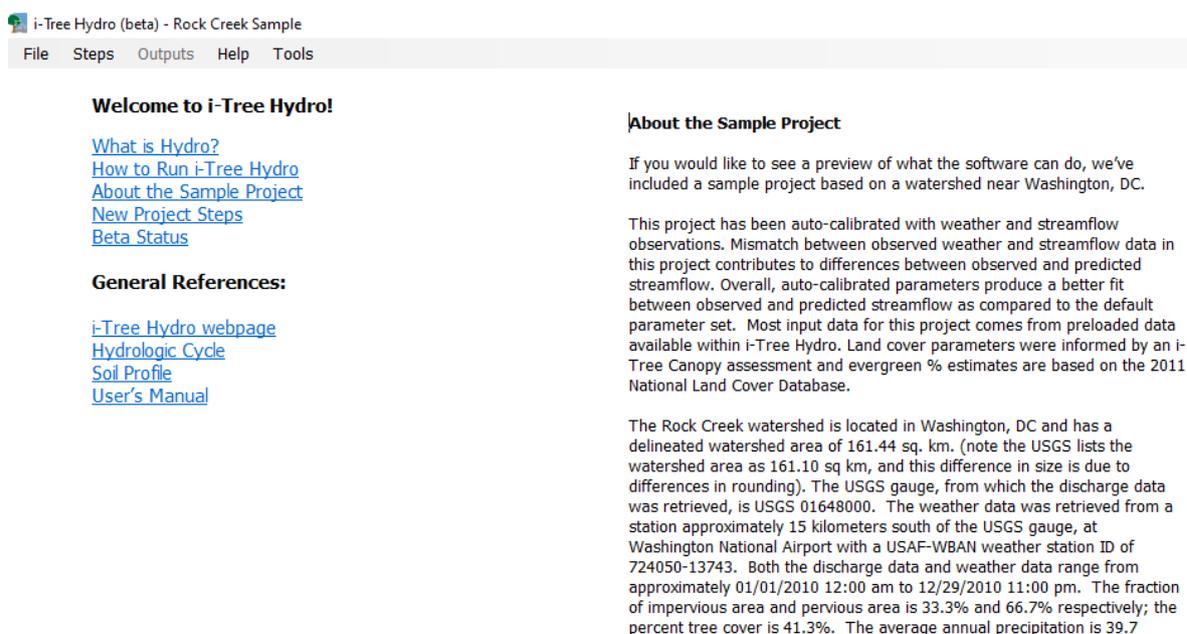


Fig. 3.5 - Sample Project

Per creare un nuovo progetto, invece, bisogna definirne innanzitutto la natura: "Watershed" o "Non-Watershed", ovvero se si tratti o meno di un'area in cui sia possibile individuare un punto ben preciso da cui defluisce l'acqua, come ad esempio un bacino idrografico con visibili le zone di passaggio dell'acqua (sorgenti, corsi d'acqua, canali, etc.). Solo per le aree "Watershed", con flusso osservabile, è disponibile su *Hydro* la funzione di auto calibrazione che permette di trovare i parametri migliori per simulare le condizioni in loco, idrologiche e di suolo. L'auto calibrazione confronta il flusso d'acqua previsto dai dati meteorologici inseriti in input e quelli osservati localmente.

Per alcune aree all'interno degli Stati Uniti (i cui dati sono reperibili su HUC8 Data Basin, USGS GAGES II) sono disponibili dati topografici già caricati sul programma, sotto forma di TI (Topographic Index). Se si tratta, invece, di una area non standard,

se si è al di fuori degli Stati Uniti o, ancora, si volessero usare i propri dati di elevazione, *Hydro* permette di caricare un file DEM (Digital Elevation Model) o TI.

Hydro prevede tre step di inserimento dati:

- Step 1: informazioni sull'area di progetto;
- Step 2: dati sulla copertura del suolo;
- Step 3: parametri idrologici.

Selezionando "New Project" dal menu principale si accede direttamente al primo passaggio.

Nello Step 1 si richiedono per prima cosa i dati di località. *Hydro* lavora solamente impostando una zona all'interno del territorio statunitense. Quindi, selezionando "Italia" dall'elenco delle Nazioni, il programma non funziona. Per coerenza si sceglie una zona degli Stati Uniti che abbia caratteristiche (altitudine, longitudine, etc.) simili a quella del proprio caso studio.

Bisogna, poi, definire l'intervallo di tempo che corrisponde a quello delle serie storiche di dati, che di default il programma propone dal 2005 al 2012.

Successivamente, si chiede di selezionare i dati topografici se direttamente disponibili nel programma, o caricarli manualmente, come TI (Topographic Index) data o DEM (Digital Elevation Model). In questo secondo caso è necessario specificare il tipo di area "Watershed" (a.k.a. catchment) o "Non-Watershed". Nella sezione "Appendix" del manuale utenti è possibile trovare informazioni per la generazione di un file TI o DEM. Si ritiene, però, di dover precisare che per ottenere un DEM dell'area d'interesse, *Hydro* consiglia di affidarsi al sito USGS fornendo un indirizzo internet che è valido solo per il territorio americano. Per il territorio italiano si consiglia, invece, il seguente iter:

- Registrarsi gratuitamente sul sito USGS (risulta questo un passaggio obbligatorio per poter scaricare i dati delle mappe);

- Aprire il sito USGS all'indirizzo: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Fare lo zoom sulla mappa nella zona di cui si vogliono i dati di elevazione;
- Impostare "Use map" per ottenere i dati relativi all'immagine corrente che compare sulla mappa;
- In "Data sets" selezionare in ordine: "Digital Elevation", "SRTM", "SRTM 1 Arc-Second Global";
- Su "Results" scaricare i dati.

La precisione del dato sarà di 1 arc-second ovvero di 30 metri, con proiezione geografica e datum orizzontale WGS84.

Nello Step 1 vengono, poi, richiesti i dati meteorologici provenienti dalla stazione più vicina al sito studiato. Questi possono essere ricavati selezionando la stazione da una mappa, il cui utilizzo non è sempre possibile in funzione dei dati di località inseriti, oppure possono essere caricati dall'utente. Per questa seconda opzione i dati possono essere eventualmente scaricati dal sito NCDC, secondo il procedimento spiegato sul forum di *i-Tree Hydro* [S17].

In ultimo viene richiesto l'inserimento di dati di calibrazione attraverso la scelta di una sorgente da mappa oppure inserendoli manualmente. L'opzione che non prevede la calibrazione diventa l'ultima disponibile quando la natura del progetto non la permette.

 Step 1) i-Tree Hydro Project Area Information

Geographic Reference Location

Nation ▾

State ▾

County ▾

City ▾

Project Time Period

Start Date / Time (Local) ▾

End Date / Time (Local) ▾

Topographic Data

Select from preloaded topography data DEM or TI file not specified.

Select my own topography data

Weather Station Data

Select a weather station from map

Select raw NCDL weather file

Select processed weather files

Calibration Data

Select USGS gage from map

Select raw USGS data file

Select processed data file

Not auto calibrating

Fig. 3.6 - Step 1, inserimento dati in *i-Tree Hydro*

Il secondo step, invece, risulta il più significativo per l'interpretazione dei risultati in quanto, cambiando tipo di copertura del suolo, si otterranno valori molto diversi sull'effetto dell'acqua sul luogo. *Hydro* permette di definire più scenari alternativi, proponendo automaticamente un paragone tra i risultati.

Oltre a indicare i m² di progetto dell'area, viene richiesto, per tutti gli scenari confrontati, di inserire le percentuali relative ai vari tipi di copertura del suolo (arborea, erbacea, idrica, terreno permeabile o impermeabile, etc.).

L'opzione "Green Infrastructure" ancora non è selezionabile, benché se ne possa apprezzare la struttura poiché già presente sull'interfaccia.

Viene richiesta invece la DCIA (Directly Connected Impervious Area), ovvero quella porzione di terreno impermeabile che direziona la precipitazione direttamente nel più vicino corso d'acqua o canale di scolo. Essa viene calcolata attraverso le equazioni proposte da Suthrland, (Suthrland, 2000). Si richiede di individuare, da tabella, la percentuale di IA (Impervious Area) in funzione del tipo di uso del suolo e inserire la stessa nella equazione più utile a rappresentare il tipo di area studiata, sempre attraverso l'uso di una tabella, entrambe presenti nella sezione "Additional Information" nel manuale utenti di *Hydro*.

Vengono, infine, riportati i parametri della chioma (Leaf Area Index, Evergreen Tree Canopy, etc.) con dei valori di default, i quali possono essere eventualmente modificati con i dati provenienti da uno studio condotto con il tool *i-Tree Eco*.

Nella pagina successiva si riporta in Fig. 3.7 la schermata relativa allo Step 2.

Project Area
 Area Units

Bulk Land Cover Area

	Base Case		Alternate Case 1	Alternate Case 2	Alternate Case 3
	<input checked="" type="radio"/> %	<input type="radio"/> Area	(%)	(%)	(%)
Tree Canopy (TC)	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Pervious under TC	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Impervious under TC	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Shrub Canopy	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Herbaceous	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Water	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Impervious	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Bare Soil	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Green Infrastructure (In Development - Coming Soon)

Tree Pit	<input type="text" value="0"/>						
Rain Garden	<input type="text" value="0"/>						
Green Roof	<input type="text" value="0"/>						
Rain Barrel	<input type="text" value="0"/>						
Porous Pavement	<input type="text" value="0"/>						

Total Cover

Directly Connected Impervious Area

Directly Connected IA	<input type="text" value="65.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="65.00"/>	<input type="text" value="65.00"/>	<input type="text" value="65.00"/>
-----------------------	------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

Canopy Parameters

Tree Leaf Area	<input type="text" value="4.7"/>	<input type="text" value="4.7"/>	<input type="text" value="4.7"/>	<input type="text" value="4.7"/>
Shrub Leaf Area	<input type="text" value="2.2"/>	<input type="text" value="2.2"/>	<input type="text" value="2.2"/>	<input type="text" value="2.2"/>
Herbaceous Leaf Area	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.6"/>
Evergreen Tree Canopy	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="10.0"/>

Fig. 3.7 - Step 2, inserimento dati in *i-Tree Hydro*

Lo Step 3, infine, riporta i dati riguardanti i parametri idrologici relativi al tipo di terreno e quelli legati alle proprietà della vegetazione, in funzione delle condizioni di modello. Sono presenti dati forniti di default dal programma, modificabili manualmente grazie a conoscenze pregresse dell'utente o attraverso le evidenze provenienti da ricerche con la relativa calibrazione (disponibile solo per aree "Watershed"). Sul manuale utenti è possibile trovare indicazioni riguardanti tali modifiche, anche nelle sezioni finali "Additional Information" e "Appendix 3". Nella pagina successiva è possibile apprezzare la schermata relativa ai parametri idrologici dello Step 3, in Fig. 3.8.

Step 3) Hydrological Parameters

These parameters define project area soil and vegetation properties and model conditions. Starting with the Suggested Default Values, these parameters can be adjusted in one of two ways: (1) manually based on prior knowledge, testing or research and (2) through calibration to observed streamflow values.

Note: Calibration of a parameter set is available only when modeling a watershed with observed streamflow values. Calibration of a parameter set adjusts the hydrological parameters to reduce the differences between the predicted streamflow and observed streamflow values across the time step set within the calibration window on the right.

Current parameter set: Suggested Default Values

Save Save As Delete

Auto-Calibration

Time Step Weekly

Auto-Calibrate Compare Results

Parameters:

We start with a preliminary value for the amount of water flowing out of the project area.

Annual Average Flow of Project Area (m³/s) 0.00002222

Then we select a soil type to account for the way water moves into and through the ground.

Soil Type Sandy Loam

Wetting Front Suction (m) 0.1101000

Effective Porosity 0.4120000

Surface Hydraulic Conductivity (cm/h) 1.0900000

Condition of the upper soil zone in terms of depth and starting saturation is set next.

Max Depth of Water in Upper Soil Zone (m) 0.05

Initial Soil Saturation (%) 50

Pollutant Coefficients

Pollutant coefficients are independent from the project parameter sets or calibration. You can view and configure pollutant coefficients from the menu below.

Current Pollutant Coefficients: National Default Values

Advanced Settings

Leaf Transition Period (days)	28
Leaf On Day (Day of year 1-365)	127
Leaf Off Day (Day of year 1-365)	280
Tree Bark Area Index	1.7
Shrub Bark Area Index	0.5
Leaf Storage (mm)	0.2
Pervious Depression Storage (mm)	1.0
Impervious Depression Storage (mm)	2.5
Scale Parameter of Power Function	2
Scale Parameter of Soil Transmissivity	0.023
Transmissivity at Saturation (m ² /h)	0.13
Unsaturated Zone Time Delay (h)	10
Time Constant for Pervious Area flow: PAQ_RT_A (h)	40.0
Time Constant for Pervious Area flow: PAQ_RT_B (h)	40.0
Time Constant for DCIA flow: DCIAQ_RT_A (h)	40.0
Time Constant for DCIA flow: DCIAQ_RT_B (h)	40.0
Time Constant for Subsurface Flow: SSQ_RT (h)	120.0
Soil Macropore Percentage	0.000001
Watershed area where rainfall rate can exceed infiltration rate (%)	100

Next: Step 4) i-Tree Hydro Run Model

Fig. 3.8 – Step 2, inserimento dati in *i-Tree Hydro*

Vi è un ultimo passaggio, Step 4, in cui viene richiesto al modello di elaborare i dati e produrre i relativi risultati. A differenza di *i-Tree Eco*, i dati vengono processati direttamente dal programma.

3.2.2. Risultati del programma

Gli output vengono resi disponibili sotto forma di tabelle e grafici. Qualora si decidesse di realizzare un caso alternativo, sarebbe possibile visualizzare i risultati dei singoli casi separatamente oppure vederne un confronto.

Gli output disponibili sono: “Water Quantity”, “Water Quality”, “Advanced Outputs”.

Nel caso del “Water Quantity”, come si può evincere in Fig. 3.9, i parametri del modello valutati sono le tre componenti del deflusso totale previsto (Total Streamflow, TS): deflusso su terreno permeabile (Pervious Flow, PF), deflusso su terreno impermeabile (Impervious Flow, IF) e deflusso di falda (Baseflow, B), secondo la formula:

$$TS = PF + IF + B \quad (26)$$

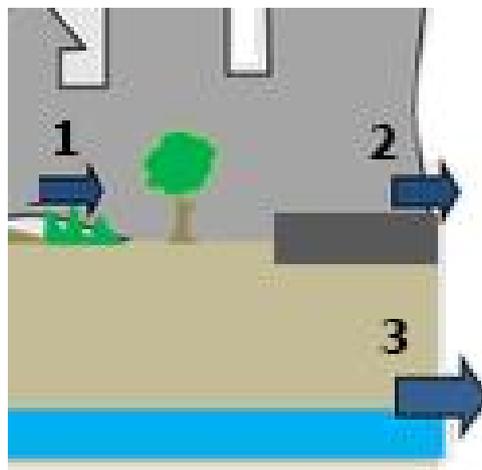


Fig. 3.9 - Bilancio idrico dell'output “Water Quantity”: deflusso su terreno permeabile (1), deflusso su terreno impermeabile (2), deflusso di falda (3)

Nell'output “Water Quality”, invece, vengono riportati i valori, in kg/unità di tempo, di dieci inquinanti presenti nell'acqua per l'area studiata.

Infine, negli “Advanced Outputs”, sono presenti le sezioni: “Vegetation Hydrology” e “Subsurface Hydrology”.

Nella prima si considera il bilancio idrico a livello di albero/arbusto, come descritto dalla funzione (27) e come rappresentato in Fig. 3.10, in cui la precipitazione che cade sulla vegetazione, VP (1), risulta uguale a una quantità funzione dei termini: I

(3), intercettazione del fogliame, VET (2), evapotraspirazione della pianta, D (4), deposito sulle foglie, F (5), acqua che dall'albero cade sul terreno sottostante, ed GET (6), ovvero l'evapotraspirazione del terreno.

$$VP = f(I, VET, D, F, GET) \quad (27)$$

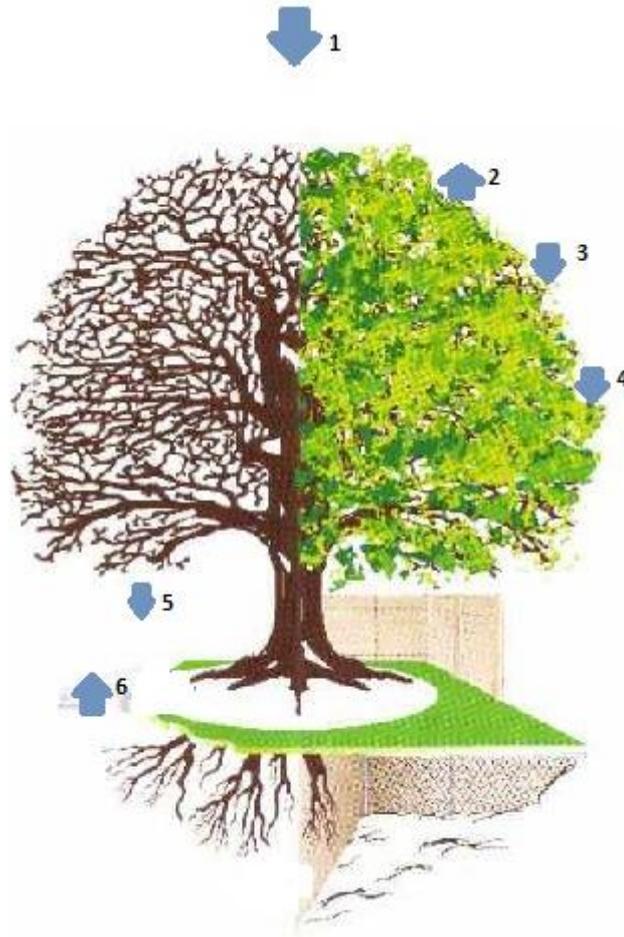


Fig. 3.10 - Bilancio idrico dell'output "Vegetation Hydrology"

Nell'output "Subsurface Hydrology", invece, viene considerato solamente ciò che succede a livello del terreno sotto la chioma degli alberi. Si considerano infatti il flusso di evapotraspirazione in m^3/h (valore uguale a GET ottenibile in "Vegetation Hydrology") e di infiltrazione.

3.3. *i-Tree Eco*

Eco è un tool sviluppato applicando il modello UFORE a dati di campo, puntuali o d'area, di vegetazione, qualità dell'aria e meteorologici per descrivere la struttura della foresta urbana e i suoi benefici ambientali ed economici.

Eco è anche il tool maggiormente sviluppato della suite di *i-Tree* e per cui sono presenti, oltre al manuale e al forum utenti, molti articoli scientifici e una nutrita gamma di esempi pratici.

La prima fase di lavoro con *Eco* prevede la definizione delle caratteristiche generali del progetto che può essere su piccola o larga scala: si può applicare, infatti, sia a città intere sia a giardini privati.

Il programma chiede, innanzitutto, di specificare il tipo di metodo che dovrà usare per analizzare l'area di interesse. Ciò significa indicare se si lavora con un "Plot-Based Sample Inventory", consigliato per grandi aree, o con un "Complete Inventory".

La differenza sostanziale tra i due approcci sta nella quantità di informazioni da specificare. Nel "Plot-Based Sample Inventory" si suddivide l'area di studio in plot circolari, normalmente di raggio 11m circa. Le dimensioni dei plot possono essere modificate dall'utente. Normalmente vengono chiesti circa 200 plot per un "Stratified Random Sample" ovvero per un'area stratificata e suddivisa con campionamenti random (almeno 20 plot per strato) più un 5-10% di plot per rimpiazzare le informazioni che in alcuni non sono reperibili. Il definire circa 200 plot permette di mantenere l'errore standard di stima intorno al 10%. Ovviamente, aumentando il numero di plot, aumenta la precisione, ma anche i tempi e i costi di campionamento ed elaborazione.

Si è accennato alla possibilità di stratificare il progetto. Questo, per un "Plot-Based Sample Inventory", significa suddividere l'area di studio in sottozone come

quartieri o per classi d'uso del terreno. Gli "strata" definibili sono normalmente dai 5 ai 10, senza superare i 14 per evitare problemi durante l'analisi. Il progetto può essere pre-stratificato (gli "strata" vengono definiti prima dei plot, i quali saranno presenti in maggior numero nelle aree verdi e residenziali) o post-stratificato (i plot vengono distribuiti in maniera random e gli "strata" vengono inseriti dopo l'acquisizione dei dati di campo, processo che permette di analizzare i cambiamenti nel tempo d'uso del suolo, modificando i confini degli "strata").

3.3.1. Dati in input

La seconda fase di *Eco* prevede di impostare i dati principali del progetto.

Eco si appoggia a un tool, *i-Tree Database*, che fornisce un elenco di specie arboree e di luoghi a cui sono associati dati spaziali, altimetrici, di precipitazione (che vengono utilizzati da *Eco* per stimare il deflusso evitato e la rimozione di inquinanti) e di presenza oraria di inquinanti. Questi valori sono disponibili per gli Stati Uniti, l'Australia, il Canada, il Messico, la Gran Bretagna e alcuni altre località europee. Per introdurre una nuova località (processo che richiede tempistiche elevate, fino a qualche mese, per rendere disponibili i nuovi dati a tutti gli utenti di *i-Tree Database*) si può seguire la procedura nella sezione apposita: "Eco Guide to International Projects". Inoltre, i valori meteorologici e di inquinanti possono essere apprezzati sotto forma di tabelle e grafici nella sezione "Pollution and Weather" nei "Report" finali.

In questa fase, nel caso di "Plot-Based Samples", si richiede innanzitutto di specificare il tipo di disposizione dei plot sull'area studiata. Questo può avvenire in maniera totalmente casuale "Random", oppure seguendo una griglia che ponga i plot a distanze fisse "Fixed Grid", o ancora attraverso una distribuzione casuale dei plot all'interno di ogni cella di una griglia prefissata "Randomized grid". La scelta

della tipologia più rappresentativa del caso studio deve essere condotta valutandone pro e contro presentati nel manuale utenti.

Eco propone, attraverso un collegamento a Google Maps, un generatore random di plot (primo metodo). I plot possono eventualmente essere importati su *Eco*, dopo essere stati generati con il software ArcGIS.

Project Configuration > Project Definition

Enter project overview information and click OK to save it or Cancel to quit this process. OK

Project Settings | Location | Data Collection Options

Please select a location to use for your project:
Hint: Use the Delete key to clear a selection.

Not all cities for international locations are available due to limitations of information provided by cooperators. Select a nearby representative location in these cases.

Nation: **Please check adjacent Counties/Regions/Divisions/etc. for specific locations that may straddle these areas. E.g. Columbus, Ohio, USA is listed under Delaware county, although expected in Franklin county.**

State:

County:

Place:

Is the study area Urban?

Population:

Please specify the following years for your project:

Weather & Pollution Year: **Note:** Precipitation values outside the US may be less accurate and affect pollution removal and hydrological estimates.

Please select a weather station to use for your project:

Weather Station:

Fig. 3.11 - Seconda fase del progetto di *i-Tree Eco*

La terza fase del progetto con *Eco* riguarda l'acquisizione di dati di campo.

Indipendentemente dal tipo di Inventory scelto, due dati riguardanti la vegetazione risultano fondamentali per la simulazione:

- Species: nome dell'albero o arbusto presente in sito. *Eco* farà riferimento alle caratteristiche dello stesso presenti nel Database qualora la pianta sia presente in elenco;
- Diameter at Breast Height (DBH): misura del diametro del tronco a 1,37 m da terra (4,5 feet).

Nel caso di un “Plot-Based Sample Inventory”, sono richieste anche informazioni sui plot:

- Percent measured: area del plot direttamente misurabile o stimabile;
- Percent tree cover: area del plot coperta dalla chioma degli alberi.

Per migliorare l’analisi si possono aggiungere dati suddivisibili in raccomandati e opzionali. Di seguito un elenco degli stessi per ogni Inventory.

Nel caso di “Complete Inventory”:

- Dati fortemente consigliati:
 - o Land use (Eco fornisce 13 tipi di uso del terreno e permette la creazione di ulteriori);
 - o Total tree height
 - o Crown size
 - o Crown health
 - o Crown light exposure
- Dati opzionali:
 - o Tree address
 - o Strata/Area
 - o Status
 - o Street/Non-Street tree
 - o Map coordinates
 - o Energy
 - o Public/Private tree
 - o Building interactions
 - o Maintenance recommended
 - o Sidewalk conflict
 - o Utility conflict
 - o Pests

Nel caso, invece, di “Plot-Based Sample Inventory”:

- Dati fortemente consigliati di vegetazione:
 - Land use
 - Total tree high
 - Crown size
 - Crown health
 - Crown light exposure
- Dati fortemente consigliati di plot:
 - Land use
 - Ground cover (sono presenti 11 tipi di terreno di default e l'utente può aggiungerne di nuovi);
- Dati opzionali di vegetazione:
 - Cover under canopy
 - Distance from the plot center
 - Status
 - Street/Non-Street tree
 - Public/Private tree
 - Building interactions
 - Maintenance recommended
 - Sidewalk conflict
 - Utility conflict
 - Energy
 - Pests
- Dati opzionali di plot:
 - Percent plantable space
 - Plot address
 - Map coordinates
 - Reference objects
 - Ground cover

- Percent shrub cover
- Shrub details

Project Configuration > Project Definition

Enter project overview information and click OK to save it or Cancel to quit this process. OK

Project Settings | Location | Data Collection Options

been created.

estimations.
■ These fields are optional.

Metric

TREE INFORMATION

<p>Minimum Requirements</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Species</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> DBH</p> <p>Measured</p>	<p>General Site Fields</p> <p><input type="checkbox"/> Tree address</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Land Use</p> <p><input type="checkbox"/> Strata/Area</p> <ul style="list-style-type: none"> • Check this box if you know your project area. • See Project & Strata Area to configure description and area. <p><input checked="" type="checkbox"/> Status</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Street tree/non-street tree</p> <p>Default non-street tree</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Map (GPS) coordinates</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Public/private</p> <p>Default Public</p>	<p>Tree Detail Fields</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Total tree height</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Crown size</p> <ul style="list-style-type: none"> • Height to live top • Height to crown base • Crown width • Percent crown missing <p><input checked="" type="checkbox"/> Crown Health</p> <p><input checked="" type="radio"/> Dieback</p> <p><input type="radio"/> Condition</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Crown light exposure</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Energy (building interactions)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distance to building • Direction to building (processed for USA, CAN, MEX, AUS, UK, and select countries in Europe only) 	<p>Management Fields</p> <p><input type="checkbox"/> Maintenance recommended</p> <p><input type="checkbox"/> Maintenance task</p> <p><input type="checkbox"/> Sidewalk conflict</p> <p><input type="checkbox"/> Utility conflict</p> <p><input type="checkbox"/> Pests (IPED)</p> <p>(requires 5 fields for each of the following)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sign & symptoms of tree stress • Sign & symptoms of foliage/twigs • Sign & symptoms of branches/bole <p><input type="checkbox"/> User ID</p>
--	---	---	--

Fig. 3.12 - Input per “Complete Inventory”

Project Configuration > Project Definition

Enter project overview information and click OK to save it or Cancel to quit this process. OK

Project Settings | Location | Data Collection Options

What units will you be using during your data collection?

English **This option cannot be changed once a project has been created.**

Metric

■ These fields MUST be collected!
■ These fields are optional and HIGHLY RECOMMENDED to improve model estimations.
■ These fields are optional.

PLOT INFORMATION

<p>Minimum Required Fields</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Percent measured</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Percent tree cover</p>	<p>General Fields</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Land Use</p> <p>(also requires tree land use)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actual land use • Percent of plot <p><input checked="" type="checkbox"/> Percent plantable space</p> <p><input type="checkbox"/> Plot address</p> <p><input type="checkbox"/> Map coordinates</p> <ul style="list-style-type: none"> • Latitude • Longitude <p>(required for GPS location capture and GIS mapping)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Reference objects</p> <ul style="list-style-type: none"> • Object type • Direction • Distance • DBH 	<p><input checked="" type="checkbox"/> Ground cover</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ground cover • Percent of plot <p>(required to calculate Grass/Herbaceous benefits)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Percent shrub cover</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Shrub details</p> <p>(also requires percent shrub cover)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Species • Height • Percent of area • Percent missing
---	--	---

Fig. 3.13 - Input di plot per “Plot-Based Sample Inventory”

Project Configuration > Project Definition

Enter project overview information and click OK to save it or Cancel to quit this process. OK

Project Settings Location Data Collection Options

• DBH

TREE INFORMATION	General Site Fields	Tree Detail Fields	Management Fields
Minimum Requirements <input checked="" type="checkbox"/> Species <input checked="" type="checkbox"/> DBH Measured	<input checked="" type="checkbox"/> Land Use (also requires plot land use) <input checked="" type="checkbox"/> Status <input type="checkbox"/> Distance and direction to plot center <input checked="" type="checkbox"/> Street tree/non-street tree Default non-street tree <input type="checkbox"/> Map (GPS) coordinates <input checked="" type="checkbox"/> Public/private Default Public <input type="checkbox"/> Cover under canopy • Percent impervious • Percent shrub	<input checked="" type="checkbox"/> Total tree height <input checked="" type="checkbox"/> Crown size • Height to live top • Height to crown base • Crown width • Percent crown missing <input checked="" type="checkbox"/> Crown Health <input checked="" type="radio"/> Dieback <input type="radio"/> Condition <input checked="" type="checkbox"/> Crown light exposure <input type="checkbox"/> Energy (building interactions) • Distance to building • Direction to building (processed for USA, CAN, MEX, AUS, UK, and select countries in Europe only)	<input type="checkbox"/> Maintenance recommended <input type="checkbox"/> Maintenance task <input type="checkbox"/> Sidewalk conflict <input type="checkbox"/> Utility conflict <input type="checkbox"/> Pests (IPED) (requires 5 fields for each of the following) • Sign & symptoms of tree stress • Sign & symptoms of foliage/twigs • Sign & symptoms of branches/bole <input type="checkbox"/> User ID

Fig. 3.14 - Input di vegetazione per “Plot-Based Sample Inventory”

Viene inoltre richiesto di inserire i valori relativi ai “Benefit Prices” ovvero al costo dell’elettricità (€/kWh), riscaldamento (€/therm), carbonio (€/metric ton) e deflusso evitato (€/m³), anche se dati di default sono presenti.

I dati finora descritti possono essere acquisiti principalmente in due modi:

- Attraverso il “Mobile Data Collector”: ovvero un collegamento internet a cui si può accedere, previa registrazione dall’interfaccia di *i-Tree Eco*, disponendo di un browser che supporti HTML5;
- Attraverso i “Paper Forms”: ovvero tabelle da completare, i cui dati però devono essere inseriti manualmente su *Eco*.

Se si esegue un “Sample Inventory” viene richiesto un ultimo passaggio ovvero quello di generare una mappa per indentificare fisicamente la posizione dei plot sul campo. Il procedimento è debitamente spiegato nel manuale utenti.

L'ultima fase del progetto riguarda l'invio dei dati collezionati, i quali vengono processati dal team di *i-Tree* e resi disponibili sulla propria interfaccia previa ricezione di una mail di conferma.

3.3.2. Risultati del programma

I risultati dell'analisi possono essere suddivisi in quattro sottogruppi:

- Composition and Structure: tabelle e grafici sulla struttura della foresta urbana (specie della popolazione arborea, area fogliare, dimensioni della popolazione, condizioni di salute della stessa e biomassa fogliare);
- Costi e benefici: basati sui "Benefit Prices", sono tabelle e grafici che riportano valori ambientali in termini quantitativi (tonnellate) e monetari di sequestro e immagazzinamento del carbonio, deflusso evitato, produzione di ossigeno, rimozione degli inquinanti, etc. In questa sezione è possibile ottenere anche i risultati riguardanti gli effetti sull'energia, ovvero quanto gli alberi presenti vicino alle residenze influiscano sul consumo di riscaldamento o condizionamento durante l'anno. Per ottenere questo tipo di analisi sono fondamentali i dati in input di direzione e distanza degli alberi rispetto all'edificio.

È inoltre possibile ottenere, solo per i "Plot Sample", informazioni sulla presenza di alcune specie di uccelli a patto che vengano acquisiti dati come la percentuale di copertura arbustiva e copertura del suolo (dato fondamentale anche se si vogliono ottenere risultati riguardanti la rimozione di inquinanti dovuta alla presenza di una copertura erbacea).

Allo stesso modo, una analisi in presenza di arbusti è conducibile solo per un "Plot-Based Sample Inventory", specificando la percentuale arbustiva, specie, altezza dalla pianta e percentuale di plot coperta da cespugli.

Per un “Plot-Based Sample Inventory”, si possono vedere anche gli effetti idrologici forniti dalla vegetazione se si aggiungono le informazioni riguardati la percentuale di terreno impermeabile e la percentuale di arbusti presenti nei plot.

In questa sezione vengono forniti i risultati riguardanti l’analisi delle VOC (monoterpene e isoprene), gli effetti degli alberi sui raggi UV che giungono sull’area e i costi di gestione che richiedono valori specifici da inserire nella sezione “Annual Costs”;

- Measured Tree Details: tabelle e grafici sulle caratteristiche (aspetti strutturali e Servizi Ecosistemici) dei singoli alberi campionati o delle varie specie;
- Pest Analysis: tabelle e grafici sulla possibilità di aggressione a carico di specie infestanti della zona in esame.

In ultimo, *i-Tree Eco* dà la possibilità di usufruire di una funzione di previsione “Forecast”. Si tratta di una stima di massima, poiché permette di definire solo alcuni parametri di previsione come il numero di anni a cui sarà riferito il calcolo, il numero di giorni in un anno sopra 0°C, la percentuale di mortalità delle piante, il numero di piante che verranno immesse nell’area ed eventuali eventi di mortalità dovuti alla presenza di insetti infestanti o eventi climatici inaspettati.

4. APPLICAZIONE DI I-TREE A UN CASO STUDIO

4.1. Informazioni generali sul parco sito in via Revello (TO)



Fig. 4.1 – Foto Parco Via Revello (Fonte: Google Maps – Street View)

Nell'ottica di valutare la validità dei modelli descritti nel secondo capitolo, si è chiesto al Comune di Torino di individuare un'area di cui potesse essere interessante studiare i Servizi Ecosistemici. È stato proposto il parco di Via Revello (To), area di circa 5000 m², il quale ha subito di recente una risistemazione. Si sono stati valutati tre scenari temporali:

- Scenario passato (SPA), al tempo t_0 , prima della conversione dell'area a parco;
- Scenario presente (SPR), al tempo t_1 , in cui la copertura del terreno è costituita interamente da erba e ghiaia;

- Scenario futuro (SF), al tempo t_2 , ovvero a 30 anni dal rimaneggiamento previsto intorno a marzo 2020.

Sono stati impiegati tre tool: *Canopy*, *Eco* e *Hydro*, ovvero quelli di cui è stato descritto il funzionamento nel capitolo precedente. *Canopy* e *Hydro*, sono stati utilizzati per confrontare i deflussi nei casi dello scenario al tempo t_0 e quello al tempo t_1 . Questo perché, confrontando la zona con suolo per lo più impermeabile e la stessa in condizioni totalmente drenanti, si possono apprezzare meglio le differenze nei valori delle componenti del deflusso.

Ci si è serviti, poi, di *Eco*, invece, per valutare gli effetti di alberi e arbusti su area fogliare, biomassa fogliare, VOC, evapotraspirazione, sequestro di carbonio, etc. In questa prospettiva, si sono messi a confronto gli scenari a tempo t_1 e a tempo t_2 , ovvero quelli in cui c'è stato un apprezzabile cambiamento nella quantità arborea, la quale maggiormente influenza i risultati di LA, VOC, ET, etc.

Di seguito vengono presentati i tre scenari. La Fig. 4.2 presenta l'area al tempo t_0 . Si può vedere come inizialmente il terreno fosse quasi interamente coperto da fabbricati, rendendo quasi nullo il deflusso sul terreno del parco. Erano già presenti degli alberi ad alto fusto, alcuni mantenuti, altri estirpati successivamente.

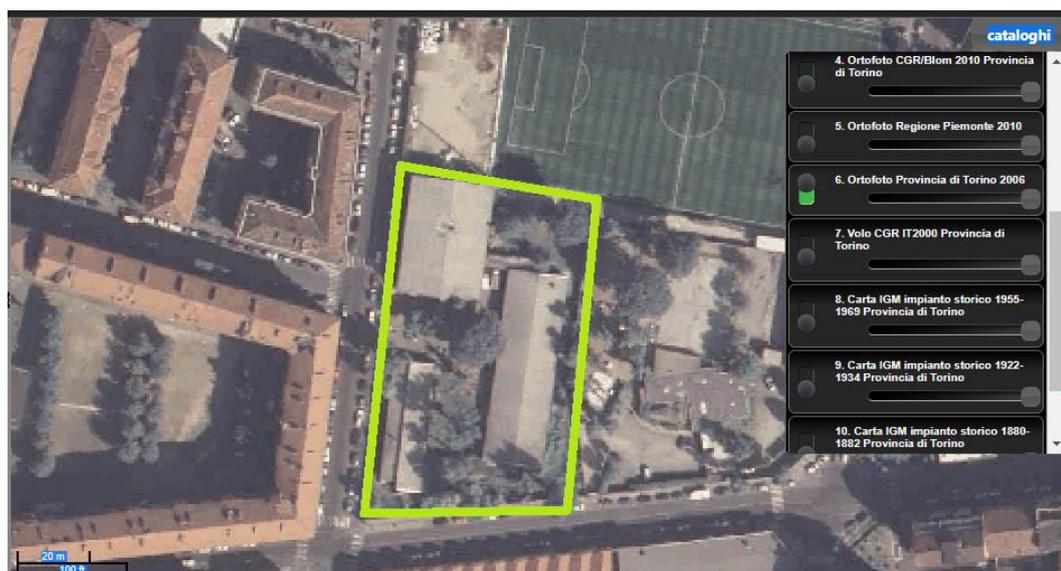


Fig. 4.2 – Ortofoto 2006 - SPA

La foto aerea, di questo scenario storico, è stata scaricata dal sito della Città Metropolitana di Torino attraverso la funzione “Carto View”.

Successivamente, i caseggiati sono stati interamente demoliti, per fare spazio completamente a un’area verde con un albero rinnovato e selciati drenanti. Il deflusso è stato così limitato all’interno della zona parco, senza interessare la rete fognaria, come si può vedere in Fig. 4.3.



Fig. 4.3 - Ortofoto 2019 - SPR

La foto precedente, che rappresenta la situazione al tempo t_1 , è stata ottenuta da Google Maps con la versione satellite, “Cartografia 2019”.

Il parco sarà soggetto a un progetto di miglioramento che avrà luogo a partire da marzo 2020. Il numero di alberi sarà aumentato da 16 a 25 e saranno aggiunte aiuole e siepi.

È stata riportata la pianta, Fig. 4.4, riguardante lo scenario futuro al tempo t_2 .



Fig. 4.4 – Pianta Parco Via Revello Scenario futuro - SF

4.2. Applicazione di *i-Tree Canopy*

4.2.1. Scenario passato to

Nel caso in esame sono stati definiti 1000 punti e 4 classi di copertura del terreno: Tree (T), Non-Tree (NT, zone impermeabili, che corrispondono agli edifici), Grass (G), Permeabile Ground (PG); si è voluto infatti mantenere le stesse classi di copertura del terreno per entrambi gli scenari studiati, così da permettere un miglior confronto degli output. È stata inoltre impostata una località, Minneapolis, nella contea di Hennepin in Minnesota, come città rappresentativa nel territorio statunitense della città metropolitana di Torino.

Gli output, in termini di percentuali di copertura del terreno e benefici economici, sono i seguenti:

Cover Class	Description	Abbr.	Points	% Cover
Tree	Tree, non-shrub	T	143	14.3 ±1.11
Non-Tree	All other surfaces	NT	653	65.3 ±1.51
Pervious Ground		PG	95	9.50 ±0.93
Grass		G	109	10.9 ±0.99

Fig. 4.5 - Tabella percentuali di copertura terreno, scenario to

Dove è chiaramente visibile il rapporto tra zone impermeabili (edifici prevalentemente) e alberi o copertura erbacea. Ciò che viene definito con “Non-Tree” costituisce il 65% della zona.

Abbr.	Benefit Description	Value (EUR)	±SE	Amount	±SE
CO	Carbon Monoxide removed annually	E0.02	±0.00	0.00 t	±0.00
NO2	Nitrogen Dioxide removed annually	E0.21	±0.02	0.00 t	±0.00
O3	Ozone removed annually	E7.31	±0.57	2.46 kg	±0.19
PM2.5	Particulate Matter less than 2.5 microns removed annually	E10.89	±0.84	0.00 t	±0.00
SO2	Sulfur Dioxide removed annually	E0.01	±0.00	0.00 t	±0.00
PM10*	Particulate Matter greater than 2.5 microns and less than 10 microns removed annually	E5.53	±0.43	0.00 t	±0.00
CO2seq	Carbon Dioxide sequestered annually in trees	E36.73	±2.84	792.87 kg	±81.38
CO2stor	Carbon Dioxide stored in trees (Note: this benefit is not an annual rate)	E922.35	±71.40	19.91 t	±1.54

Fig. 4.6 - Tabella benefici economici servizi forniti al tempo to

Dalla tabella in Fig. 4.6, invece, si può avere una stima di massima di alcuni benefici economici in termini di rimozione degli inquinanti al tempo t_0 . Si tratta di una stima grossolana perché non tiene conto del numero e del tipo di piante, delle loro caratteristiche fisiche, condizioni ed esposizione.

4.2.2. Scenario presente t_1

Anche in questo caso sono stati definiti 1000 punti e 4 classi di copertura del terreno: Tree, Non-Tree (zone impermeabili), Grass, Permeabile Ground.

Gli output forniti dal programma sono i seguenti:

Cover Class	Description	Abbr.	Points	% Cover
Tree	Tree, non-shrub	T	292	29.2 ±1.44
Impervious Non-Tree	All other surfaces	NT	13	1.30 ±0.36
Grass		G	646	64.6 ±1.51
Pervious ground	Gravel pathway	PG	49	4.90 ±0.68

Fig. 4.7 - Tabella percentuali di copertura del terreno, scenario t_1

In questa tabella vengono definite le percentuali di copertura del terreno con i loro errori standard.

In Fig. 4.7, si può notare come, al tempo t_1 , vi sia una copertura superiore al 60% dell'area del parco corrispondente a erba e, quindi, permeabile. Seguono gli alberi con una copertura di circa il 30% del totale. Questo mostra che più del 90% del parco risulta vegetato e circa il 98% è permeabile. Questo dato risulterà fondamentale per i risultati forniti dal tool *Hydro*.

Abbr.	Benefit Description	Value (EUR)	±SE	Amount	±SE
CO	Carbon Monoxide removed annually	E0.05	±0.00	0.00 t	±0.00
NO2	Nitrogen Dioxide removed annually	E0.42	±0.02	0.00 t	±0.00
O3	Ozone removed annually	E14.67	±0.72	4.99 kg	±0.25
PM2.5	Particulate Matter less than 2.5 microns removed annually	E21.85	±1.08	0.00 t	±0.00
SO2	Sulfur Dioxide removed annually	E0.02	±0.00	0.00 t	±0.00
PM10*	Particulate Matter greater than 2.5 microns and less than 10 microns removed annually	E11.10	±0.55	1.80 kg	±0.09
CO2seq	Carbon Dioxide sequestered annually in trees	E73.68	±3.63	1.61 t	±0.08
CO2stor	Carbon Dioxide stored in trees (Note: this benefit is not an annual rate)	E1,850.26	±91.11	40.38 t	±1.99

Fig. 4.8 - Tabella benefici economici al tempo t_1

Infine si riporta una tabella che segnala il valore economico e il corrispettivo in tonnellate della quantità di inquinanti rimossa annualmente al tempo t_1 , con un valore massimo corrispondente allo stoccaggio, non annuale, della CO₂ negli alberi.

4.2.3. Confronto tra scenari

Il confronto dei dati forniti da *Canopy* è di facile attuazione poiché si presentano in forma tabellare, con le stesse unità di misura, e sono in numero contenuto.

I benefici economici sembrano risultare di scarsa entità in termini assoluti. Valori più pregnanti si possono ottenere qualora si applicasse a entrambi gli scenari il tool *i-Tree Eco*. Ma da una analisi più dettagliata è chiaro come i valori economici dello scenario t_1 risultino, per ogni voce, almeno il doppio di quelli al tempo t_0 . Questo può essere spiegato confrontando i risultati ottenuti nelle tabelle riguardanti le percentuali di copertura del terreno.

Al tempo t_0 , si aveva una copertura arborea/erbacea del 25%, contro una superiore al 90% al tempo t_1 . Rispetto a questi valori, nello scenario presente ci si potrebbero aspettare valori di rimozione tre volte superiori rispetto a quelli forniti in passato, ma, poiché i maggiori benefici vengono forniti dagli alberi e meno dalla copertura erbacea, bisogna confrontare i dati riguardanti le percentuali di "Tree". Al tempo t_0 , si ha una percentuale del 30%, contro il 15% al tempo t_1 , percentuali che

rispecchiano, dunque, lo scarto tra i valori riscontrati nella tabella dei benefici economici.

4.3. Applicazione di *i-Tree Hydro*

Poiché si volevano confrontare gli scenari al tempo t_0 e al tempo t_1 , per studiare come si comportava la precipitazione una volta raggiunto il parco (intercettazione, deposito, infiltrazione, evapotraspirazione e deflusso), è stata utilizzata la funzione di *Hydro* che permette il confronto diretto tra casi. Quindi, i dati per entrambi gli scenari sono stati caricati sullo stesso progetto, definendo l'area di studio "Non-Watershed".

Seguendo le indicazioni riportate nel capitolo 3 si è proceduto innanzitutto a indicare la località degli Stati Uniti che meglio poteva descrivere le condizioni climatiche della città di Torino. Come in *Canopy* è stata selezionata Minneapolis.

Il periodo di tempo del progetto è stato posto pari a un anno solare (1/1/2011-12/30/2011), corrispondente ai dati di serie storiche scaricati per la sezione "Weather Station Data". In questa sezione, non essendo Torino in una zona degli Stati Uniti per cui sono presenti le stazioni meteorologiche direttamente selezionabili da mappa, si è seguito un suggerimento presente nel forum di *i-Tree Hydro* [S18]. Il procedimento per ottenere un "raw NCDC weather file" esattamente nel formato richiesto da *Hydro* è il seguente:

- Accedere al sito <http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>
- Selezionare in sequenza "Mapping Tool", "Time-Related Maps", "Hourly/Sub-Hourly", "Hourly Global Layer";
- Scegliere la stazione più vicina al caso studio e che contenga serie storiche complete per svolgere l'analisi;

- Selezionare in sequenza "Get Selected Data", "Simplified Data Access", "Select Only Obs. on the Hour";
- Fare richiesta secondo la procedura per ottenere gratuitamente i file;
- Una volta ricevuta una mail con i dati richiesti, caricare in Hydro, previa conversione in file.txt, "Surface Data Hourly Global - Data File".

Nel primo step, è stato inserito anche il DEM del parco ottenuto secondo la procedura:

- Si è scaricato dal Geoportale della Regione Piemonte, nella sezione "Dati in scarico", il DTM 5 della città di Torino (è un file.tif che contiene già la proiezione);
- Si è scaricata dal Geoportale della Regione Piemonte la cartografia BDtre (database geotopografico, file.shp) in cui si trovano le utili mappe degli edifici e delle strade in formato shapefile;
- Si sono caricati su ArcGIS il DTM 5 e le mappe delle strade e/o degli edifici per avere un riferimento diretto della zona del parco e si sono convertiti in file.dat;
- A differenza di quanto riportato sul manuale utenti e sui video tutorial, che si riferiscono solo ad aree "Watershed", non serve usare le funzioni "Fill", "Flow Direction", "Flow Accumulation" e "Watershed". Si è creato un nuovo shapefile, disegnando il poligono del parco a cui è stato assegnato lo stesso sistema UTM del DTM (WGS_1984_UTM_Zone_32N);
- Si è usato il tool "Clip" per ritagliare il DTM secondo i bordi del poligono appena creato;
- Si è sfruttato, poi, il comando "Raster to ASCII" sul DTM ottenuto dal ritaglio con "Clip", salvando, successivamente, l'ultima selezione ottenuta in formato .txt;
- Il file.txt è stato convertito in file.dat fuori dal programma ArcGIS.

È importante fare attenzione che nel file.dat non ci siano valori mancanti, che i separatori decimali siano punti e non virgole e che il pc sia settato secondo il

formato americano di data e ora. Per questo ultimo passaggio è possibile seguire le istruzioni presenti nel forum utenti il cui link è riportato nella Sitografia, [S19].

In ultimo, non sono stati forniti dati di calibrazione perché il tipo di analisi non lo richiedeva.

Nel secondo step si sono inseriti il valore in m² dell'area di studio, i valori ottenuti da *i-Tree Canopy* per entrambi gli scenari in percentuale di copertura del terreno e di default sono stati lasciati i parametri della chioma, come si può vedere in Fig. 4.9.

Step 2) Land Cover Inputs

Project Area

Area Units

Bulk Land Cover Area

Base Case Alternate Case 1

% Area (%)

Tree Canopy (TC)	<input type="text" value="14.30"/>	<input type="text" value="715.000"/>	<input type="text" value="29.20"/>
Pervious under TC	<input type="text" value="14.30"/>	<input type="text" value="715.00"/>	<input type="text" value="29.20"/>
Impervious under TC	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Shrub Canopy	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Herbaceous	<input type="text" value="10.90"/>	<input type="text" value="545.000"/>	<input type="text" value="64.60"/>
Water	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Impervious	<input type="text" value="65.30"/>	<input type="text" value="3265.000"/>	<input type="text" value="1.30"/>
Bare Soil	<input type="text" value="9.50"/>	<input type="text" value="475.000"/>	<input type="text" value="4.90"/>

Green Infrastructure (In Development - Coming Soon)

Tree Pit	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Rain Garden	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Green Roof	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Rain Barrel	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Porous Pavement	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Total Cover

	<input type="text" value="100.0"/>	<input type="text" value="5000.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>
--	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

Directly Connected Impervious Area

Directly Connected IA	<input type="text" value="33.00"/>	<input type="text" value="1077.45"/>	<input type="text" value="33.00"/>
-----------------------	------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------

Canopy Parameters

Tree Leaf Area	<input type="text" value="4.7"/>	<input type="text" value="4.7"/>
Shrub Leaf Area	<input type="text" value="2.2"/>	<input type="text" value="2.2"/>
Herbaceous Leaf Area	<input type="text" value="1.6"/>	<input type="text" value="1.6"/>
Evergreen Tree Canopy	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="10.0"/>
Evergreen Shrub Canopy	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>

Fig. 4.9 - Input riguardanti la vegetazione

Si è poi calcolata la DCIA per entrambi gli scenari a partire dalle seguenti tabelle:

Watershed Selection Criteria	Assumed Land Use	Equation (where IA (%) ≥ 1)
Average: Mostly storm sewered with curb & gutter, no dry wells or infiltration, residential rooftops not directly connected	Commercial, Industrial, Institutional, Open land, and Medium density residential	$DCIA = 0.1(IA)^{1.5}$
Highly concentrated: Same as above, but residential rooftops are connected	High density residential	$DCIA = 0.4(IA)^{1.2}$
Totally connected: 100% storm sewered with all IA connected	–	$DCIA = IA$
Somewhat connected: 50% not storm sewered, but open section roads, grassy swales, residential rooftops not connected, some infiltration.	Low density residential	$DCIA = 0.04(IA)^{1.7}$
Mostly disconnected: Small percentage of urban area is storm sewered, or 70% or more infiltrate/disconnected	Agricultural, Forested	$DCIA = 0.01(IA)^2$

Fig. 4.10 - Tabella equazioni calcolo DCIA

Questa tabella in Fig. 4.10 mostra le equazioni a disposizione per il calcolo della Directly Connected Impervious Area in funzione del tipo di area e d'uso del terreno. La DCIA dipende dalla percentuale di Impervious Area (IA) che è valutabile nella tabella sottostante in funzione del tipo di uso del suolo.

Land Use	% IA
Commercial	76
Industrial	56
High Density residential	51
Medium density residential	38
Low Density Residential	19
Institutional	34
Agricultural	2
Forest	1.9
Open Urban Land	11

Fig. 4.11 - Tabella %IA

Nello Step 3, ci si è limitati a scegliere il tipo di terreno, imponendolo di tipo “Sandy Loam” (terriccio sabbioso, quindi permeabile) e lasciando invariati i parametri idrologici proposti dal programma di default.

4.3.1. Risultati del programma

Gli output forniti da *Hydro* qui presentati riguardano il diretto confronto tra i due scenari al tempo t_0 (chiamato dal programma Base Case) e al tempo t_1 (chiamato dal programma Alternative Case).

Per l'output definito come "Water Quantity" si è scelto di presentare i risultati su due scale temporali: quella annuale e quella relativa a pochi giorni, per evidenziare i picchi.

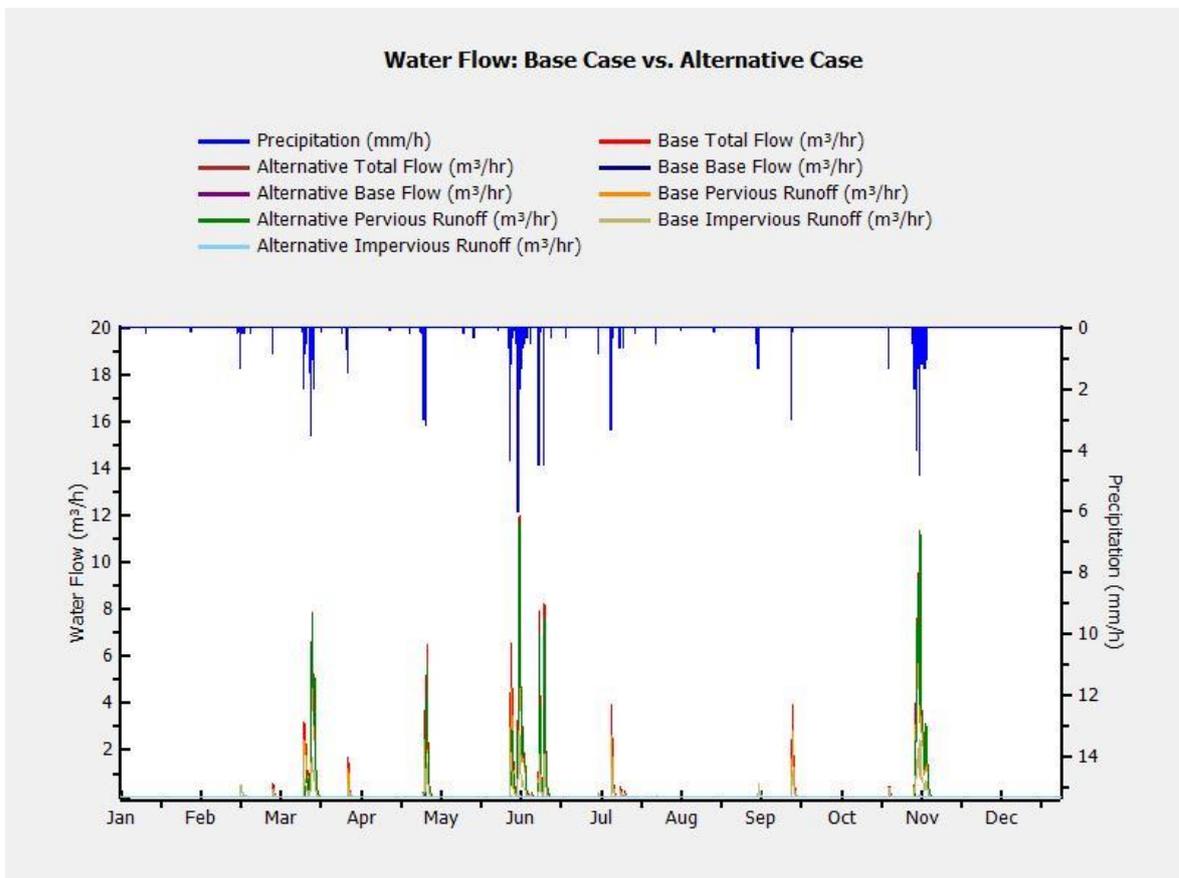


Fig. 4.12 - Total Water flow chart

Il grafico precedente, Fig. 4.12, mostra come si suddivide il deflusso totale, con le sue componenti e nei due scenari, nei mesi dell'anno 2011. Si osservano due picchi nei mesi di giugno e novembre.

Nel grafico successivo, Fig. 4.13, invece, si può apprezzare quello che avviene nella settimana con i picchi più alti di precipitazione, ovvero quella che va dall'1 all'8 giugno. Questo particolare mostra meglio come la quantità di deflusso, su terreno permeabile, sia maggiore nell'Alternative Case rispetto a quello del Base Case, questo per la quantità di Pervious maggiore nello scenario t₁. Inoltre si può apprezzare un minore deflusso su terreno impermeabile nell'Alternative Case rispetto al Base Case, questo per la bassissima percentuale dello stesso al tempo t₁. Il Base Flow non è stato riportato poiché quasi nullo.

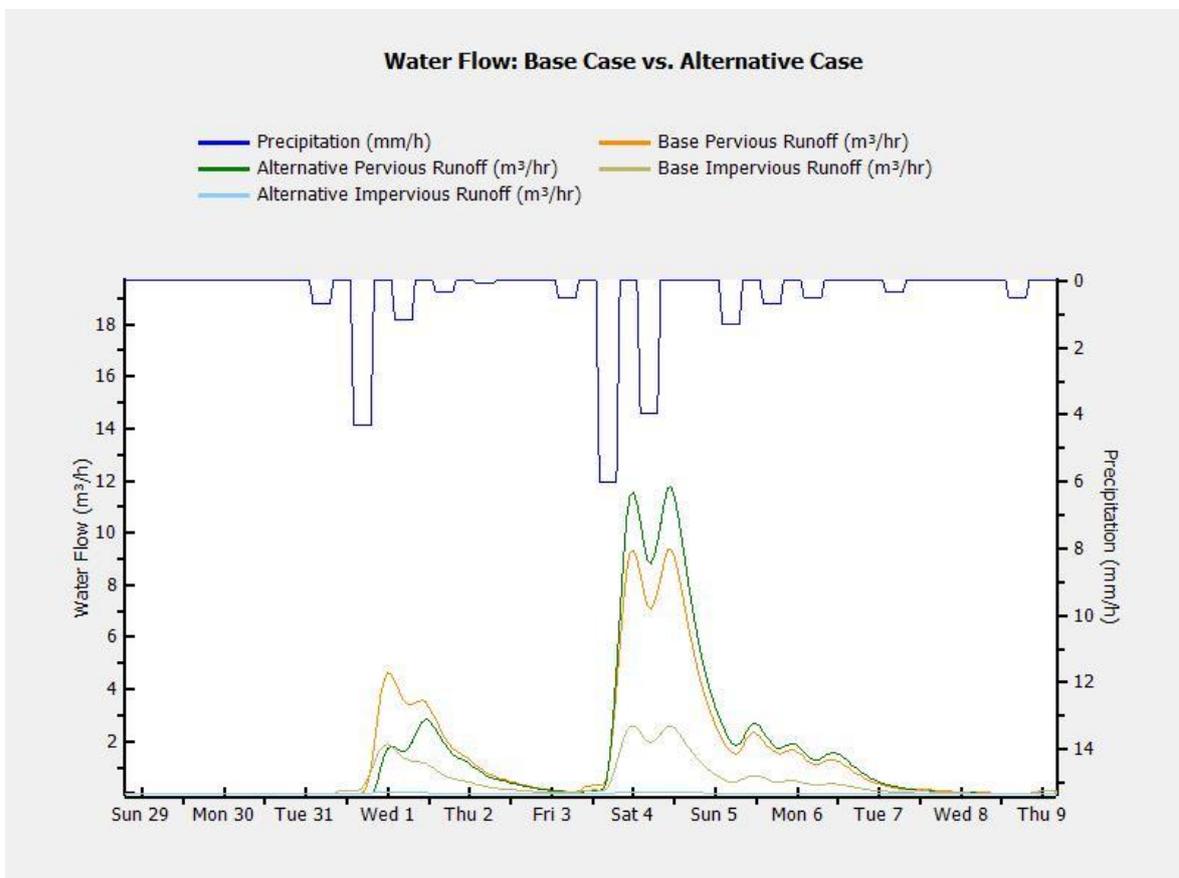


Fig. 4.13 - Particolare Total Water Flow chart

Un secondo output fornito da *Hydro* riguarda la presenza di inquinanti, "Water Quality". Dal grafico a barre sottostante, Fig. 4.14, si possono evincere le distribuzioni delle caratteristiche riguardanti la qualità dell'acqua nei mesi dell'anno (picchi principalmente corrispondenti ai mesi di forti precipitazioni). Le

evidenze riguardano maggiormente i solidi sospesi (TSS), la richiesta biochimica di ossigeno (BOD), la richiesta chimica di ossigeno (COD).

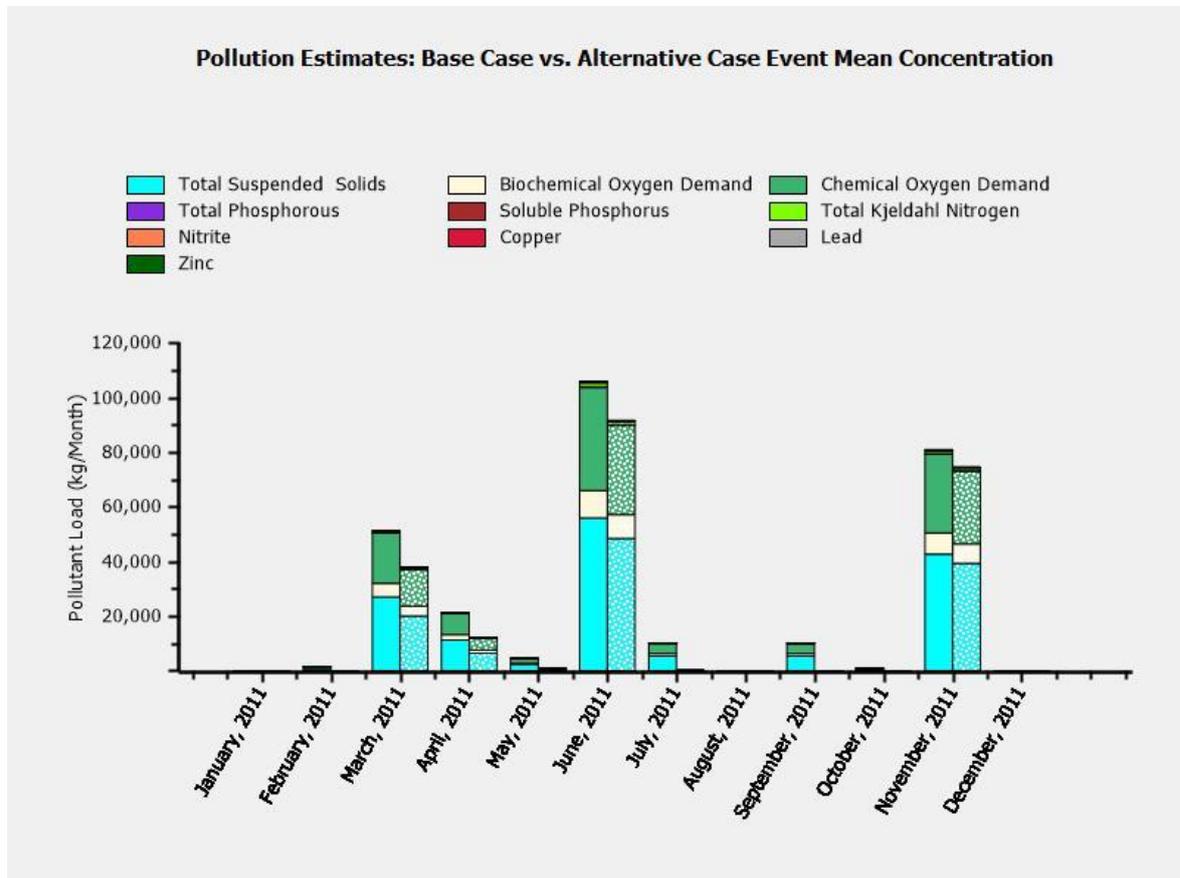


Fig. 4.14 - Water Quality chart

Infine, negli “Advanced Outputs”, si hanno informazioni riguardanti il bilancio idrico a livello di albero/arbusto. Ovviamente, poiché i risultati dipendono dalla quantità di acqua che cade sulla vegetazione, si può intuire come lo scenario al tempo t_1 avrà dei valori decisamente più alti rispetto a quelli dello scenario al tempo t_0 , sia in termini di deposito e intercettazione che in quelli riguardanti l’evapotraspirazione fogliare e della zona radicale. Ma, dal grafico sotto riportato, Fig. 4.15, si può vedere come la maggior parte dell’acqua che cade sulla vegetazione raggiunga il terreno sottostante senza essere intercettata o senza che si depositi sul fogliame. L’evapotraspirazione ha valori molto bassi che non possono essere

apprezzati dalla scala temporale di questo grafico (si è scelta la settimana con il picco di precipitazione dell'anno).

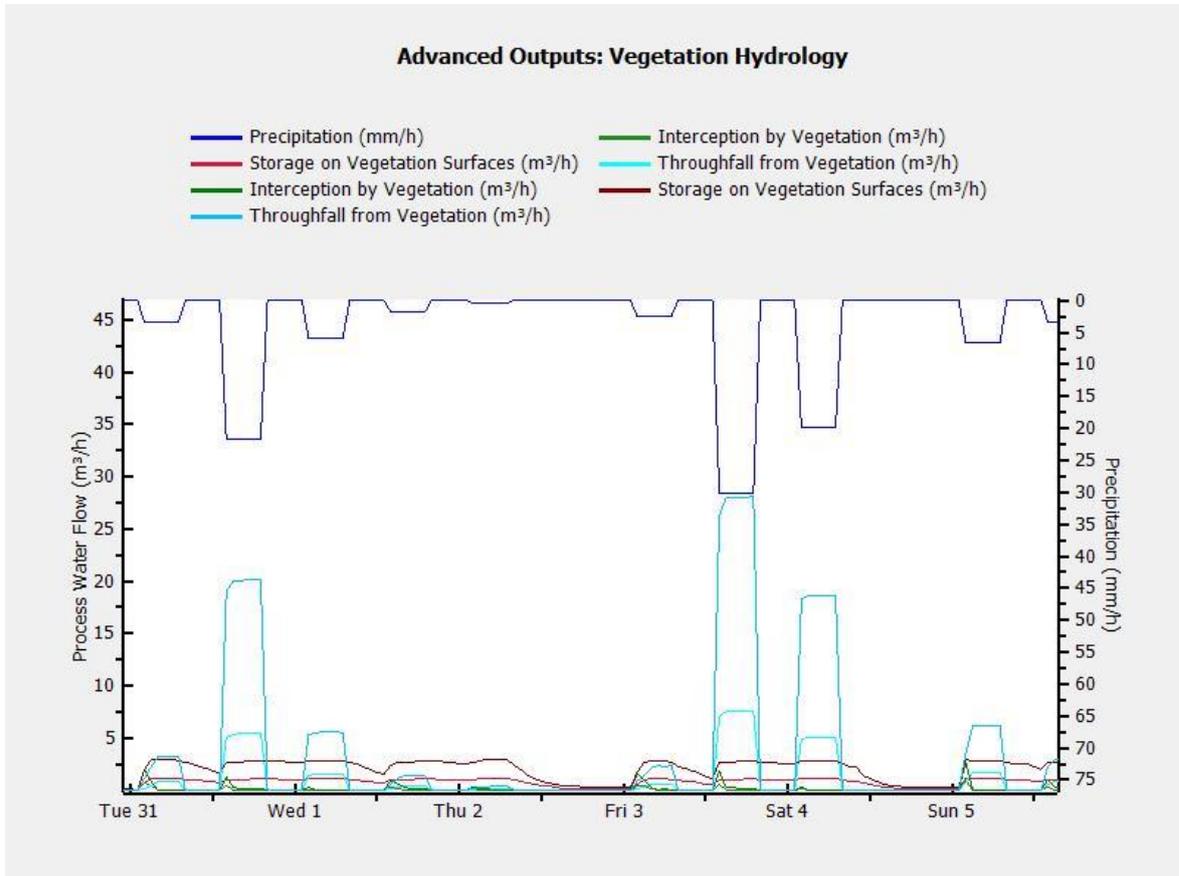


Fig. 4.15 - Particolare “Vegetation Hydrology” chart (con Base Case evidenziato dal colore viola, azzurro chiaro e verde chiaro, e con Alternative Case evidenziato dal colore marrone, azzurro e verde scuro).

4.4. Applicazione di *i-Tree Eco*

Per entrambe le simulazioni si è deciso di utilizzare il “Complete Inventory”, di cui si è parlato nel capitolo precedente, con unità di lunghezza in metri. Inoltre, si sono scelti gli stessi dati di località (Torino-area urbana) con una popolazione di 878.074 e i dati relativi alle piogge e agli inquinanti più recenti forniti dal programma ovvero quelli relativi all’anno 2015, assunti dalla stazione meteorologica più vicina al sito d’interesse, ma anche con una quantità di informazioni sufficienti al programma. Per questo motivo si è selezionato quella di Bric della Croce, apprezzabile in Fig. 4.16.

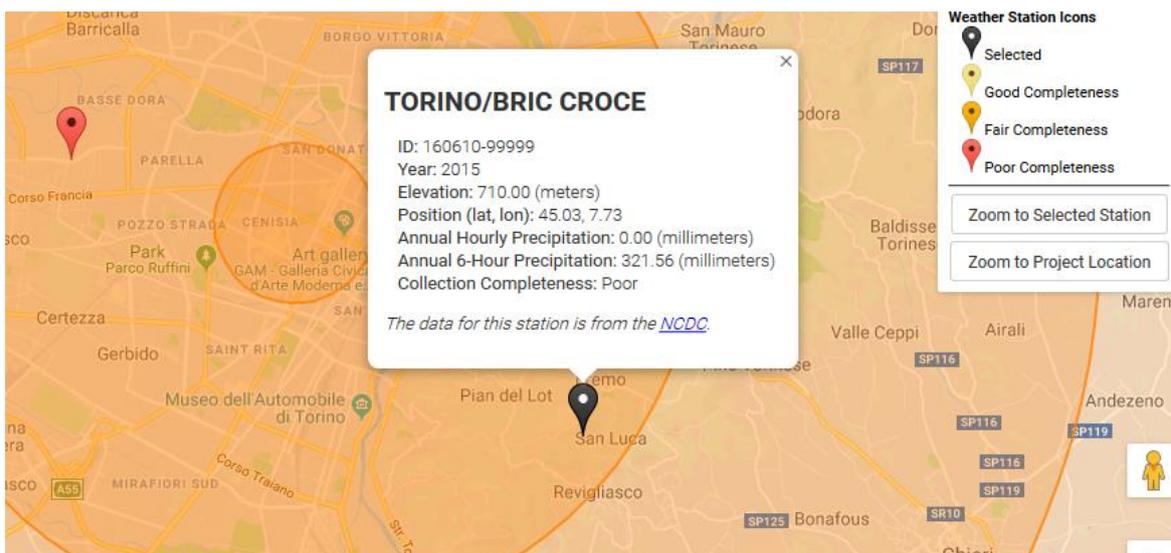


Fig. 4.16 - Stazione meteorologica Bric della Croce.

Da questa stazione, per entrambi gli scenari si sono ottenuti i seguenti grafici:

- Concentrazione degli inquinanti (CO, NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5}) in PPM

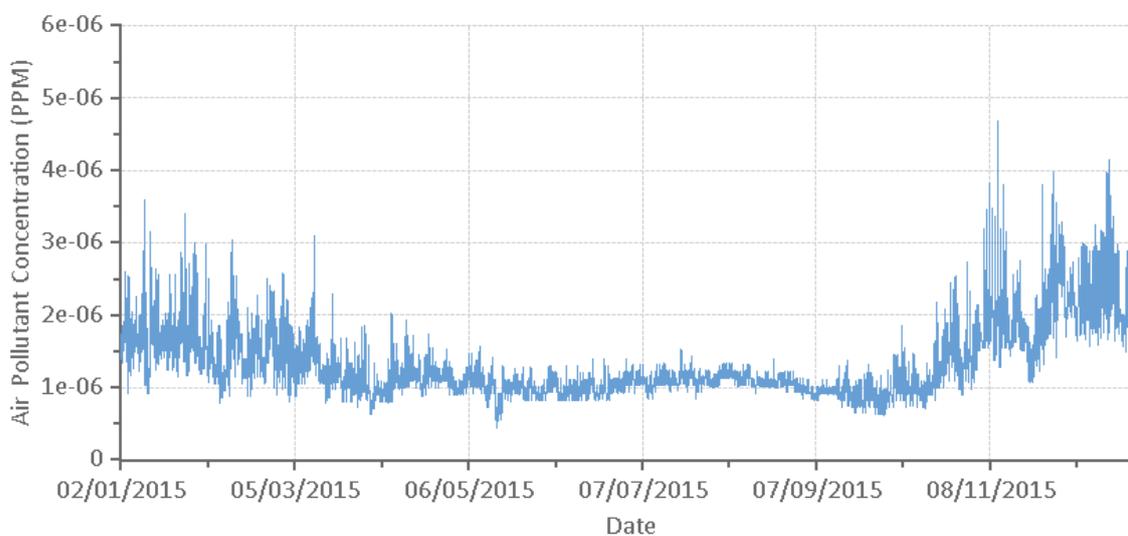


Fig. 4.17 - Esempio di concentrazione degli inquinanti nell'anno 2015 (CO)

- PAR in W/m²

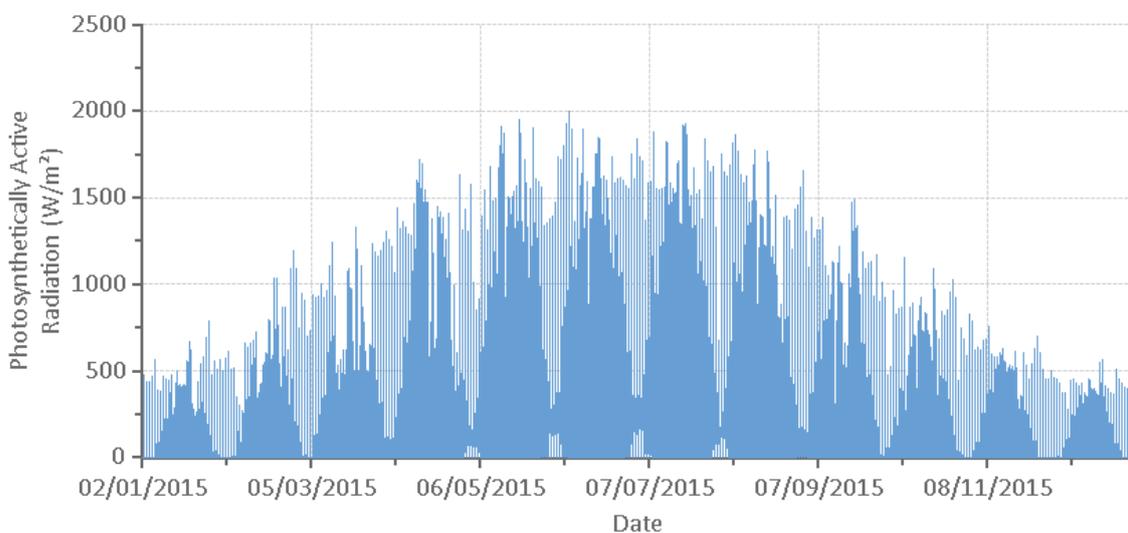


Fig. 4.18 - Radiazione fotosintetica attiva

- Pioggia in cm/h

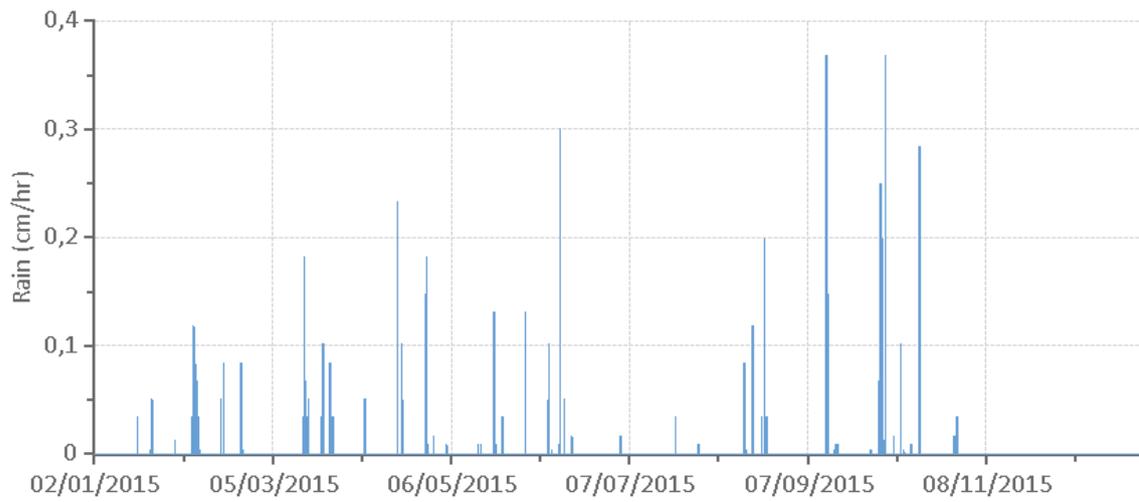


Fig. 4.19 - Piogge orarie

- Temperatura in °C

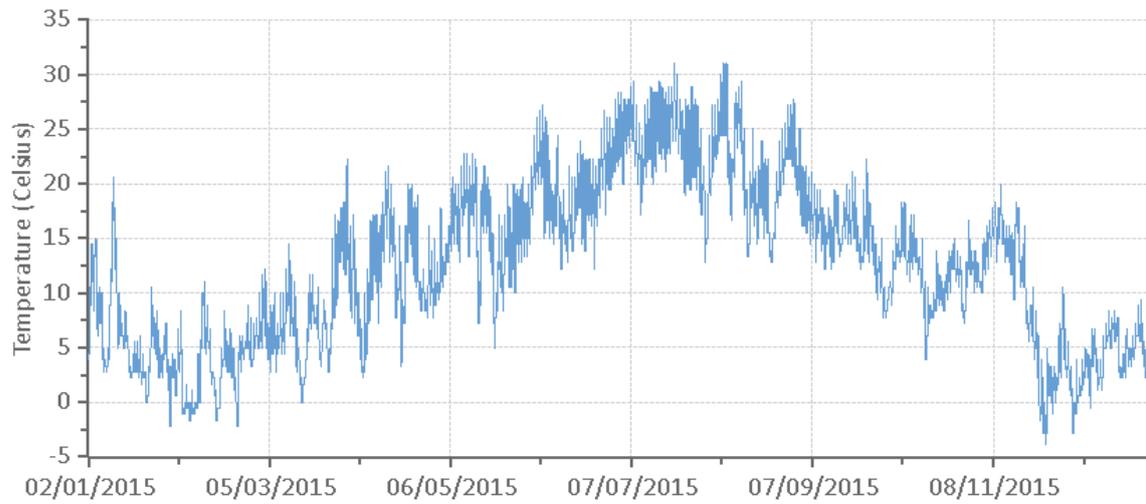


Fig. 4.20 - Temperature annuali

- Deposizione a secco degli inquinanti per unità di copertura arborea in g/m²/h;

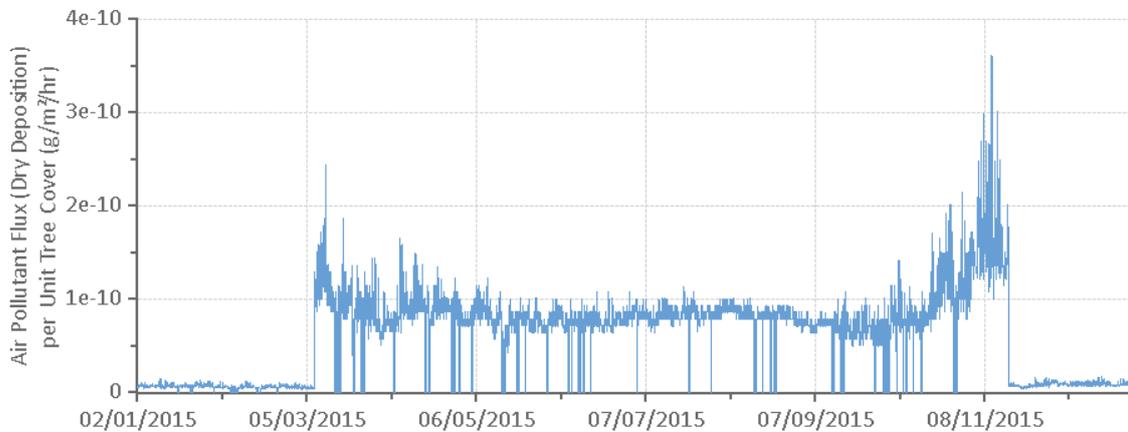


Fig. 4.21 - Deposizione oraria a secco di un inquinante (CO)

Si sono aggiunti poi i valori economici relativi ai costi di:

- Elettricità (€/kWh): 0,21 [S13];
- Riscaldamento (€/therm): 2,93 [S14];
- Carbonio (€/metric ton): 83 (il cui valore si ottiene modificando il costo più facilmente reperibile della CO₂) [S15] [S16];
- Deflusso evitato (€/m³): 1,902 (mantenuto di default dal programma).

Il valore di cambio monetario €/€ è stato posto pari a 0,89037, consultato il 28 maggio 2019.

Di seguito si presentano i casi in maniera dettagliata.

4.4.1. Scenario presente t₁

Dati in input

Per lo scenario presente si sono scelti i seguenti input, suddivisi in obbligatori, consigliati e opzionali:

- Obbligatori: specie, DBH;
- Consigliati: uso del terreno, altezza totale dell'albero, dimensione della chioma, salute della chioma;
- Opzionali: stato, albero di strada/non, coordinate GPS, pubblico/privato;

Questi dati sono stati collezionati, per tutti e 13 gli alberi presenti nel parco, attraverso una campagna di misure effettuata in campo in data 23 maggio 2019, dalle ore 11.00 alle ore 12.30. Il tempo si presentava soleggiato e in assenza di vento. Per la raccolta dei dati si è usata l'opzione del "Mobile Data Collector".

Per i dati relativi alla specie si è confrontata la mappa interattiva delle alberate disponibile sul Geoportale del Comune di Torino con i risultati forniti da una applicazione disponibile gratuitamente per sistemi Android, "PlantNet Plant Identification". Attraverso questa applicazione è possibile risalire al tipo di pianta scattando una foto a una sua parte: foglia, fiore, corteccia, frutto, fusto, etc. L'app fornisce una lista abbastanza precisa della possibile pianta all'interno della stessa famiglia.

Per l'uso del terreno, la salute della chioma, lo stato dell'albero, definizione di albero da strada e pubblico o privato, si è condotta una valutazione visiva.

Le coordinate GPS sono state ottenute avvicinandosi all'albero e attivando la posizione sul dispositivo mobile e sono state acquisite direttamente dal programma. Per il DBH e la dimensione della chioma è stato usato un metro professionale, come in Fig. 4.22 e Fig. 4.23. Per queste misurazioni si consiglia di avvalersi di un altro operatore.



Fig. 4.22 e Fig. 4.23 - Misure in campo

Infine, per ottenere l'altezza degli alberi, oltre al file interattivo delle alberate, è stata scaricata un'altra applicazione che, in funzione della distanza dall'albero, ne fornisce l'altezza. L'applicazione in questione, "Telemetro: Smart Measure", disponibile gratuitamente per Android, si presenta come segue:

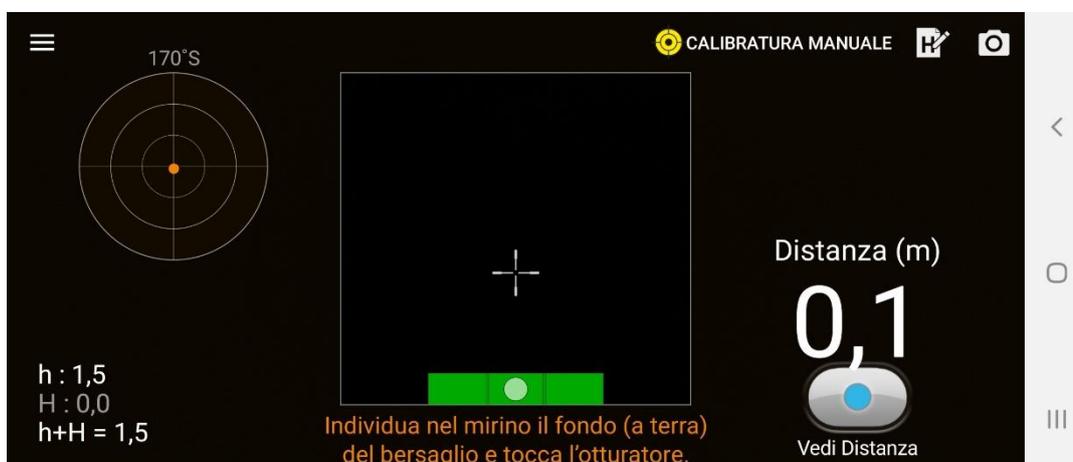
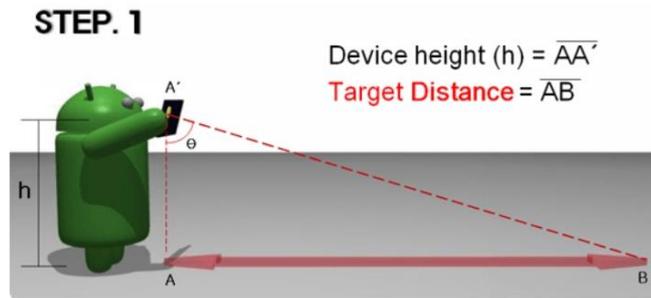


Fig. 4.24 - Interfaccia grafica dell'applicazione



* Es. : altezza del Telefono(h) \doteq altezza tua - 0.3m

Fig. 4.25 - Passaggio 1

Come mostrato in Fig. 4.25, innanzitutto si misura la distanza alla base dell'oggetto, considerando una altezza del telefono da terra normalmente di 175 cm, diminuita di 30cm, avendo l'accortezza di essere sullo stesso livello di terreno.

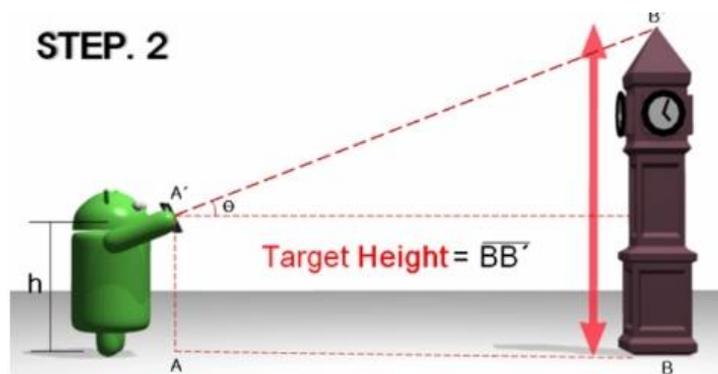


Fig. 4.26 - Passaggio 2

Poi, Fig. 4.26, si misura l'altezza dell'oggetto, mantenendo il telefono all'altezza definita in precedenza.

Nella pagina successiva viene mostrata una foto in cui viene usata tale applicazione, Fig. 4.27.



Fig. 4.27 - Rilievo dei dati dall'applicazione

Risultati del programma

I dati restituiti dal programma vengono presentati sia in un report generale scritto e sia sotto forma di tabelle singole per ogni voce. Di seguito quelli ritenuti più significativi per la valutazione dei Servizi Ecosistemici offerti dal parco.

1) Distribuzione percentuale dei DBH (cm)

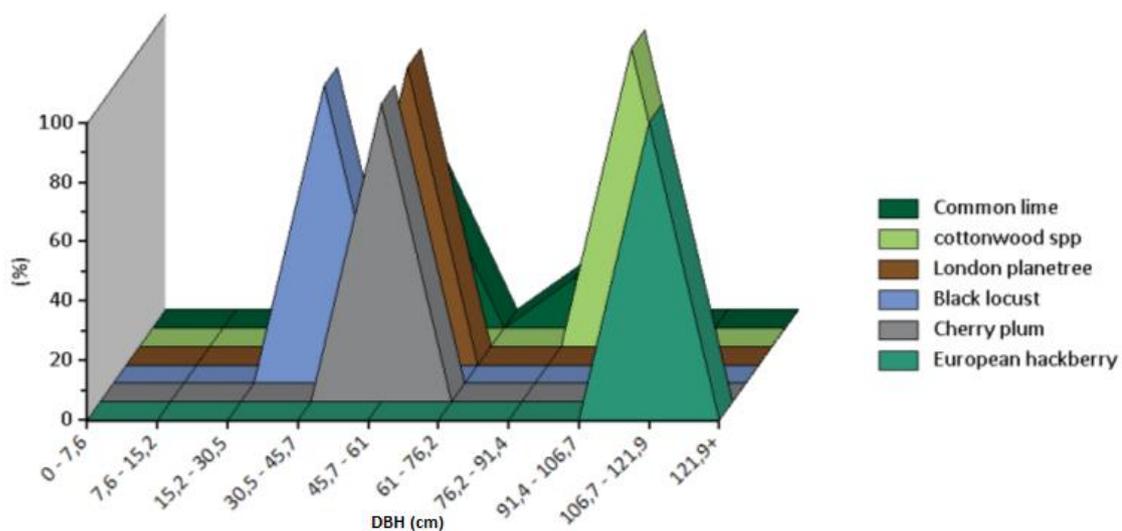


Fig. 4.28 - DBH chart per SPR

La Fig. 4.28 mostra come vi sia una concentrazione di specie, in buona salute, il cui DBH si presenta eterogeneo, compreso infatti in un intervallo tra i 15,2-30,5 cm a superare i 121,9 cm.

2) Area fogliare e biomassa fogliare

Species	Trees		Leaf Area (ac)		Leaf Biomass (ton)	
	Number	SE		SE		SE
Common lime	6	±0	1,016	±0,000	0,211	±0,000
London planetree	2	±0	0,341	±0,000	0,070	±0,000
cottonwood spp	2	±0	0,284	±0,000	0,086	±0,000
European hackberry	1	±0	0,270	±0,000	0,071	±0,000
Cherry plum	1	±0	0,199	±0,000	0,054	±0,000
Black locust	1	±0	0,098	±0,000	0,023	±0,000
Study Area	13	±0	2,208	±0,000	0,515	±0,000

Fig. 4.29 - Tabella rappresentativa del numero di alberi con la rispettiva area fogliare, in acri, e biomassa fogliare, in tonnellate, per SPR.

La tabella precedente mostra che vi è una presenza massiccia della specie Common Lime, ovvero Tiglio Europeo (quasi la metà delle piante presenti nel parco). Essi, infatti, garantiscono la metà dell'area fogliare e della biomassa. L'area fogliare verrà presentata in Fig. 4.38 in m² per un più facile confronto.

3) VOC

Species Name	Monoterpene (lb/yr)	Isoprene (lb/yr)	Total VOCs (lb/yr)
Black locust	0,0	0,2	0,2
Cherry plum	0,0	0,0	0,0
Common lime	0,0	0,0	0,0
cottonwood spp	0,0	3,3	3,4
European hackberry	0,1	0,0	0,1
London planetree	0,0	1,4	1,4
Total	0,2	4,9	5,1

Fig. 4.30 - Tabella delle VOC in SPR

Vengono, poi, analizzate le componenti organiche volatili, di cui si può evincere dalla Fig. 4.30 una maggior concentrazione nell'elemento di isoprene, la cui produzione è nettamente più elevata di quella di monoterpene, questo dovuto alle specie presenti. I risultati vengono forniti in libbre, mentre in Fig. 4.43, nel paragrafo

relativo al confronto dei risultati tra i due scenari, per maggior chiarezza sono stati convertiti in kg.

4) Carbon Storage, Gross Carbon Storage, Avoided Runoff

Species	Carbon Storage (metric ton)	Carbon Storage (%)
European hackberry	5,0	28,4%
London planetree	1,9	10,8%
cottonwood spp	5,5	31,2%
Cherry plum	1,2	6,7%
Black locust	0,4	2,5%
Common lime	3,6	20,5%
Total	17,7	100%

Species	Gross Carbon Sequestration (metric ton/yr)	CO ₂ Equivalent (metric ton/yr)
European hackberry	0,08	0,28
London planetree	0,07	0,24
cottonwood spp	0,20	0,72
Cherry plum	0,07	0,24
Black locust	0,03	0,12
Common lime	0,15	0,54
Total	0,59	2,15

Fig. 4.30 - Tabelle, per SPR, del sequestro del carbonio e di quello, lordo, immagazzinato dall'atmosfera degli alberi sotto forma di CO₂, e il loro equivalente in tonnellate metriche di anidride carbonica.

Le tabelle riportate in Fig. 4.30, rappresentano valori difficilmente apprezzabili in tonnellate metriche e, per questo, sono riportate espresse in €/anno nella figura nella pagina seguente, Fig. 4.31.

Species	Trees Number	Carbon Storage		Gross Carbon Sequestration		Avoided Runoff		Pollution Removal	
		(ton)	(€)	(ton/yr)	(€/yr)	(ft ³ /yr)	(€/yr)	(ton/yr)	(€/yr)
European hackberry	1	5,55	418,25	0,08	6,30	52,40	2,82	0,00	93,45
London planetree	2	2,11	158,54	0,07	5,47	66,37	3,57	0,00	118,35
cottonwood spp	2	6,10	458,96	0,22	16,37	55,13	2,97	0,00	98,32
Cherry plum	1	1,31	98,48	0,07	5,47	38,66	2,08	0,00	68,95
Black locust	1	0,48	36,21	0,04	2,69	18,97	1,02	0,00	33,83
Common lime	6	4,01	301,81	0,16	12,28	197,55	10,64	0,01	352,28
Total	13	19,55	1.472,24	0,65	48,58	429,08	23,11	0,01	765,17

Fig. 4.31 - Valori espressi in tonnellate ed €/yr per lo stoccaggio del carbonio, lo stoccaggio lordo all'anno, il deflusso deviato e la rimozione di altri inquinanti, in SPR.

In questa tabella si può notare come le componenti più significative in termini economici riguardino lo stoccaggio di carbonio, con un valore di circa 1500 €/anno, e la rimozione di altri inquinanti che supera i 700 €/anno. Valori molto piccoli riguardano ad esempio il deflusso evitato, poiché le piante sono decisamente rade sulla zona del parco.

5) Evaporazione, traspirazione, intercettazione dell'acqua

Infine, si riporta la tabella contenente i valori direttamente legati ai m² di area fogliare, in cui vengono presentati i risultati dei processi di evaporazione, traspirazione e intercettazione dell'acqua, in m³/anno.

Tree ID	Species Name	Leaf Area (m ²)	Potential Evapotranspiration (m ³ /yr)	Evaporation (m ³ /yr)	Transpiration (m ³ /yr)	Water Intercepted (m ³ /yr)
1	Cherry plum	805,1	49,5	5,9	10,7	5,9
2	cottonwood spp	476,1	29,3	3,5	6,4	3,5
3	cottonwood spp	672,0	41,3	4,9	9,0	4,9
4	Common lime	533,1	32,8	3,9	7,1	3,9
5	London planetree	343,6	21,1	2,5	4,6	2,5
6	London planetree	1.038,3	63,9	7,6	13,9	7,6
7	Common lime	733,7	45,1	5,4	9,8	5,4
8	Common lime	555,7	34,2	4,1	7,4	4,1
9	Common lime	469,9	28,9	3,5	6,3	3,5
10	Common lime	378,0	23,2	2,8	5,0	2,8
11	European hackberry	1.091,2	67,1	8,0	14,6	8,0
12	Common lime	1.443,2	88,8	10,6	19,3	10,6
13	Black locust	395,0	24,3	2,9	5,3	2,9
Total		8.935,0	549,6	65,6	119,3	65,6

Fig. 4.32 - Valori di evapotraspirazione potenziale, evaporazione, traspirazione e intercettazione dell'acqua nel caso di SPR.

Dalla Fig. 4.32 si può apprezzare come i termini di evapotraspirazione potenziale siano decisamente i più rilevanti, con un valore di 549 m³/anno.

4.4.2. Scenario futuro t₂

Dati in input

Per la valutazione dello scenario futuro, non si è usata la funzione “Forecast” di *Eco* poiché non permetteva di aggiungere nello specifico le specie arboree d’interesse, quindi si è proceduto con un nuovo progetto mantenendo gli attuali dati di costo e facendo una stima su alcune grandezze relative alla vegetazione.

Inoltre, rispetto al caso precedente, l’albedo è stato aumentato a 25 unità, così come richiesto dal Comune di Torino. Poiché si tratta di uno scenario futuro, non è stato possibile condurre le misure dei dati in campo, quindi, le informazioni introdotte, per avere una stima di massima, sono state le seguenti:

- Obbligatorie: specie, DBH;
- Consigliate: uso del terreno, altezza totale dell’albero, salute della chioma;
- Opzionali: albero di strada/non, pubblico/privato.

Per le specie e l’uso del terreno si è fatto riferimento alla planimetria fornita dal Comune di Torino. Per il DBH e l’altezza totale si è fatta una stima, immaginando che le specie aggiunte, a 30 anni avessero raggiunto una dimensione da pianta matura, consultando i valori delle stesse specie arboree attualmente censite nel file “Alberate” della città di Torino. Per le specie esistenti, invece, sono stati aumentati proporzionalmente i valori di DBH e altezza totale. Per le stesse, si è considerata un minimo decremento delle condizioni di salute della chioma.

Risultati del programma

1) Distribuzione percentuale dei DBH (cm)

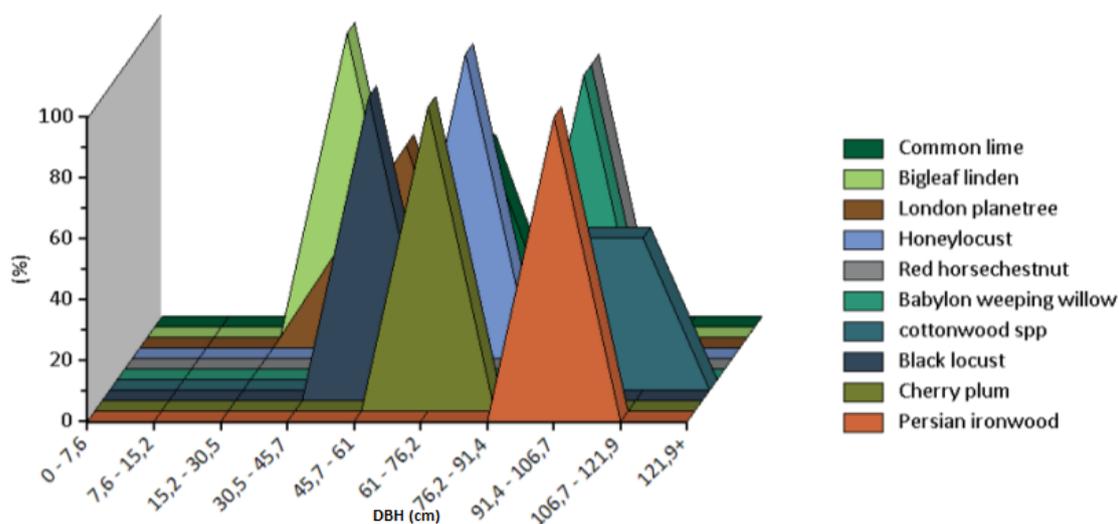


Fig. 4.33 - DBH chart per SF

I valori di diametro sono compresi nello stesso intervallo di quello dello scenario presente. Questo significa che le piante immesse hanno grandezze simili a quelle già esistenti.

2) Area fogliare e biomassa fogliare

Species	Trees		Leaf Area (ha)		Leaf Biomass (metric ton)	
	Number	SE		SE		SE
Common lime	5	±0	0,270	±0,000	0,126	±0,000
Red horse chestnut	3	±0	0,232	±0,000	0,170	±0,000
Honeylocust	3	±0	0,055	±0,000	0,058	±0,000
London planetree	3	±0	0,178	±0,000	0,082	±0,000
Bigleaf linden	3	±0	0,100	±0,000	0,059	±0,000
cottonwood spp	2	±0	0,193	±0,000	0,131	±0,000
Babylon weeping willow	2	±0	0,125	±0,000	0,079	±0,000
European hackberry	1	±0	0,050	±0,000	0,030	±0,000
Persian ironwood	1	±0	0,104	±0,000	0,078	±0,000
Cherry plum	1	±0	0,036	±0,000	0,022	±0,000
Black locust	1	±0	0,030	±0,000	0,016	±0,000
Study Area	25	±0	1,373	±0,000	0,849	±0,000

Fig. 4.34 - Tabella rappresentativa del numero di alberi con la rispettiva area fogliare, in acri, e biomassa fogliare, in tonnellate, per SF

In Fig. 4.34 si nota che i valori più rappresentativi per l'area fogliare e per la biomassa sono forniti dal Common Lime (Tiglio comune), dal Red Horse Chestnut (Ippocastano rosso) e dal Cottonwood Spp (Pioppo), benché di questo esemplare si contino soltanto due elementi.

3) VOC

Species Name	Monoterpene (kg/yr)	Isoprene (kg/yr)	Total VOCs (kg/yr)
Babylon weeping willow	0,1	1,3	1,4
Bigleaf linden	0,0	0,0	0,0
Black locust	0,0	0,1	0,1
Cherry plum	0,0	0,0	0,0
Common lime	0,0	0,0	0,0
cottonwood spp	0,0	2,7	2,7
European hackberry	0,0	0,0	0,0
Honeylocust	0,0	0,0	0,0
London planetree	0,0	0,8	0,9
Persian ironwood	0,5	1,0	1,6
Red horsechestnut	0,0	0,0	0,0
Total	0,8	5,9	6,7

Fig. 4.35 - Tabella delle VOC nello SF

Anche in questo caso si nota come i kg/anno di isoprene sono quelli che maggiormente vengono prodotti dal tipo di piante costituenti il parco e sono circa cinque volte superiori le quantità emesse di monoterpene (5,9 kg/anno contro gli 0,8 kg/anno).

4) Carbon Storage, Gross Carbon Storage, Avoided Runoff

Species	Carbon Storage (metric ton)	Carbon Storage (%)
Red horsechestnut	12,6	22,4%
European hackberry	5,7	10,2%
Honeylocust	5,3	9,4%
Persian ironwood	4,3	7,6%
London planetree	2,4	4,3%
cottonwood spp	9,5	16,9%
Cherry plum	2,0	3,6%
Black locust	1,0	1,7%
Babylon weeping willow	8,3	14,8%
Common lime	4,4	7,8%
Bigleaf linden	0,8	1,4%
Total	56,4	100%

Species	Gross Carbon Sequestration (metric ton/yr)	CO₂ Equivalent (metric ton/yr)
Red horsechestnut	0,24	0,87
European hackberry	0,06	0,23
Honeylocust	0,14	0,52
Persian ironwood	0,08	0,29
London planetree	0,08	0,31
cottonwood spp	0,16	0,58
Cherry plum	0,05	0,19
Black locust	0,03	0,12
Babylon weeping willow	0,16	0,58
Common lime	0,12	0,44
Bigleaf linden	0,04	0,14
Total	1,16	4,27

Fig. 4.35 - Tabelle, per SF, del sequestro del carbonio e di quello, lordo, immagazzinato dall'atmosfera degli alberi sotto forma di CO₂ e il loro equivalente in tonnellate metriche di anidride carbonica

Dalla Fig. 4.35, si può notare come il valore di stoccaggio del carbonio si assesti sui 56 metric ton. La portata di questo dato è più facilmente intuibile dalla Fig. 4.36 alla pagina successiva, attraverso il suo corrispettivo economico in €/anno.

Species	Trees Number	Carbon Storage		Gross Carbon Sequestration		Avoided Runoff		Pollution Removal	
		(metric ton)	(€)	(metric ton/yr)	(€/yr)	(m ³ /yr)	(€/yr)	(metric ton/yr)	(€/yr)
Red horsechestnut	3	12,60	1.045,50	0,24	19,66	3,25	6,18	0,00	205,65
European hackberry	1	5,74	476,60	0,06	5,26	0,70	1,34	0,00	44,48
Honeylocust	3	5,32	441,85	0,14	11,88	0,77	1,47	0,00	48,98
Persian ironwood	1	4,27	354,12	0,08	6,63	1,45	2,76	0,00	91,88
London planetree	3	2,40	198,83	0,08	7,04	2,48	4,72	0,00	157,15
cottonwood spp	2	9,52	790,04	0,16	13,06	2,70	5,14	0,00	171,05
Cherry plum	1	2,02	167,87	0,05	4,34	0,51	0,97	0,00	32,14
Black locust	1	0,97	80,24	0,03	2,62	0,42	0,80	0,00	26,54
Babylon weeping willow	2	8,31	690,13	0,16	13,02	1,74	3,31	0,00	110,23
Common lime	5	4,40	365,60	0,12	9,85	3,78	7,18	0,00	238,94
Bigleaf linden	3	0,80	66,72	0,04	3,19	1,39	2,65	0,00	88,11
Total	25	56,36	4.677,49	1,16	96,54	19,20	36,52	0,02	1.215,15

Fig. 4.36 - Valori espressi in tonnellate ed €/yr per lo stoccaggio del carbonio, lo stoccaggio lordo all'anno, il deflusso deviato e la rimozione di altri inquinanti, in

SF

I valori più significativi sono espressi dal corrispettivo economico del sequestro del carbonio (4600 €/anno) e della rimozione degli altri inquinanti (1200€/anno). I valori riguardanti, ad esempio, il deflusso evitato, si attestano sotto le 50 unità, questo perché l'area è coperta prevalentemente da erba.

5) Evaporazione, traspirazione, intercettazione dell'acqua

Species Name	Number of Trees	Leaf Area (ha)	Potential	Evaporation (m ³ /yr)	Transpiration (m ³ /yr)	Water Intercepted (m ³ /yr)
			Evapotranspiration (m ³ /yr)			
Common lime	5	0,27	178,17	20,36	41,23	20,36
Red horsechestnut	3	0,23	153,35	17,52	35,49	17,52
cottonwood spp	2	0,19	127,55	14,57	29,52	14,57
London planetree	3	0,18	117,18	13,39	27,12	13,39
Babylon weeping willow	2	0,12	82,20	9,39	19,02	9,39
Persian ironwood	1	0,10	68,51	7,83	15,86	7,83
Bigleaf linden	3	0,10	65,70	7,51	15,20	7,51
Honeylocust	3	0,06	36,52	4,17	8,45	4,17
European hackberry	1	0,05	33,17	3,79	7,68	3,79
Cherry plum	1	0,04	23,97	2,74	5,55	2,74
Black locust	1	0,03	19,79	2,26	4,58	2,26
Total	25	1,37	906,12	103,53	209,69	103,53

Fig. 4.37 - Valori di evapotraspirazione potenziale, evaporazione, traspirazione e intercettazione dell'acqua nel caso di SF

In Fig. 4.37 è possibile vedere come il dato più significativo sia l'evapotraspirazione potenziale, con un valore che si attesta intorno ai 900 m³/anno.

4.4.3. Confronto tra scenari

Si riporta un confronto tra i dati che risultano più significativi.

Output della struttura della foresta urbana: area fogliare, evaporazione, traspirazione, intercettazione

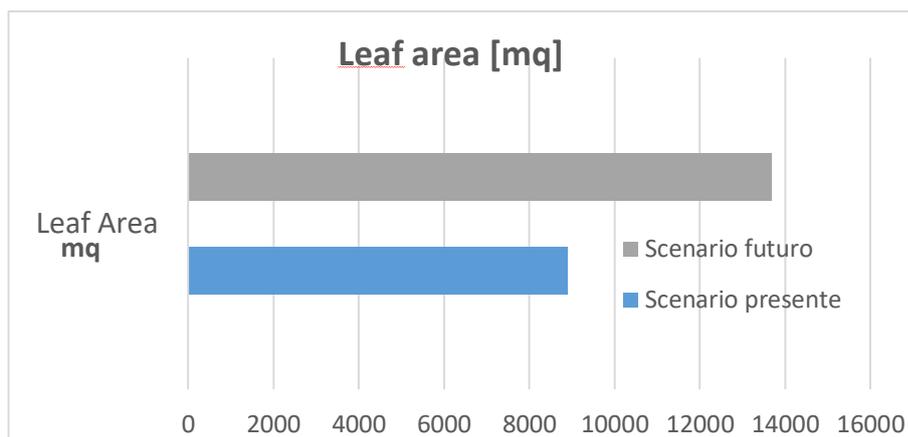


Fig. 4.38 - Confronto area fogliare in m²

Si può notare come un raddoppio delle specie presenti, abbia comportato a un aumento di quasi il doppio dell'area fogliare presente. Questo dato deve essere valutato, ovviamente, tenendo conto delle stime approssimative sulle caratteristiche dell'albedo a 30 anni (altezza, diametro, condizioni di salute, etc.), ma risulta verosimile, per la tipologia di piante inserite, poiché si tratta di specie simili a quelle già presenti.

Nelle pagine seguenti si riportano in sequenza di figure: Fig. 4.39, Fig. 4.40, Fig. 4.41 e Fig. 4.42, i cui dati verranno commentati subito dopo.

Scenario	Evaporazione (m ³ /anno)	Traspirazione (m ³ /anno)	Intercettazione (m ³ /anno)
Presente	65,6	119,3	65,6
Futuro	103,53	209,69	103,53

Fig. 4.39 – Tabella di confronto tra scenari per Evaporazione, Traspirazione ed Intercettazione

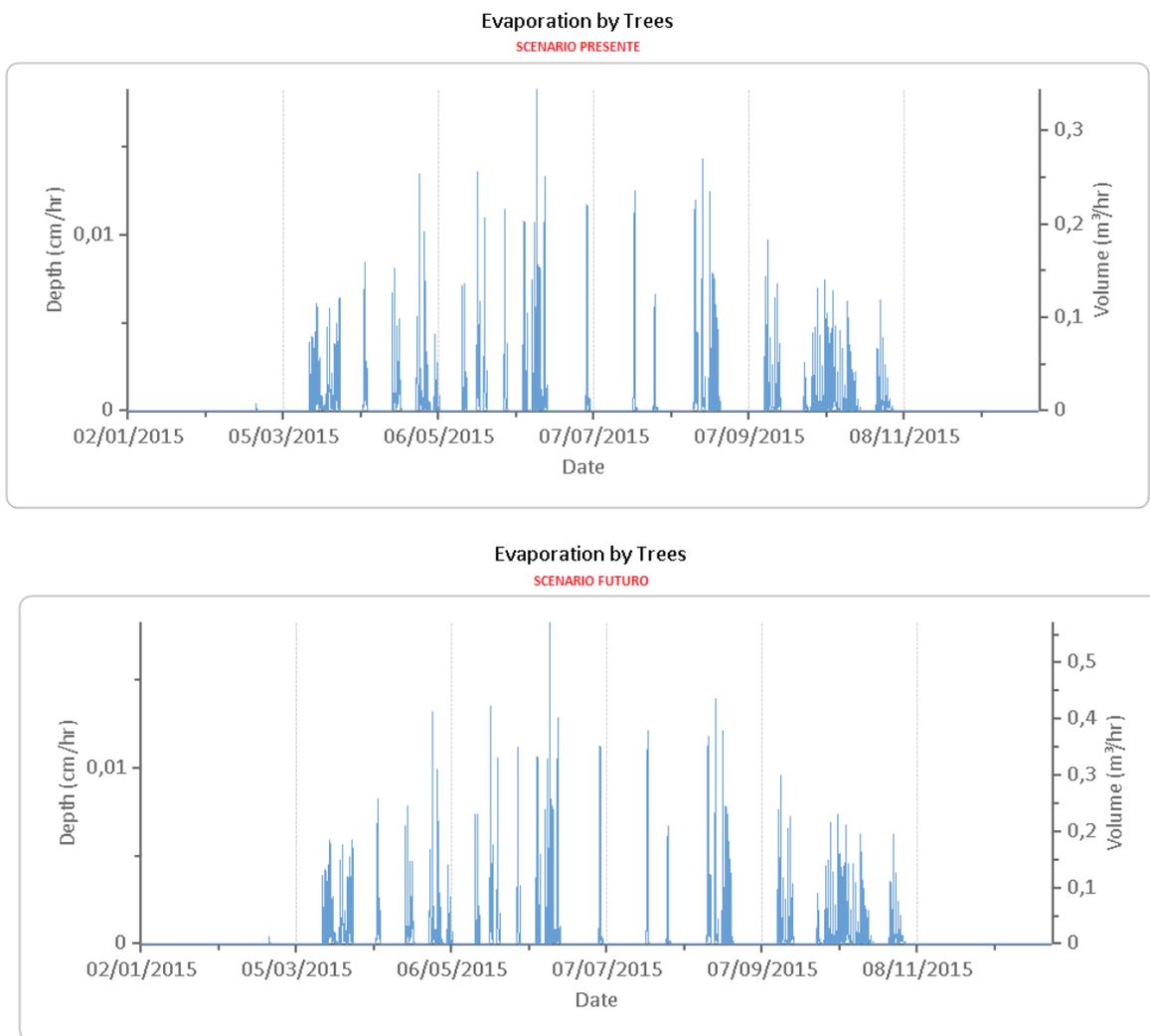


Fig. 4.40 - Confronto dati di evaporazione tra SPR e SF in funzione dei dati registrati nel 2015 e valutati come profondità, in cm/ora, o volume, in m³/ora

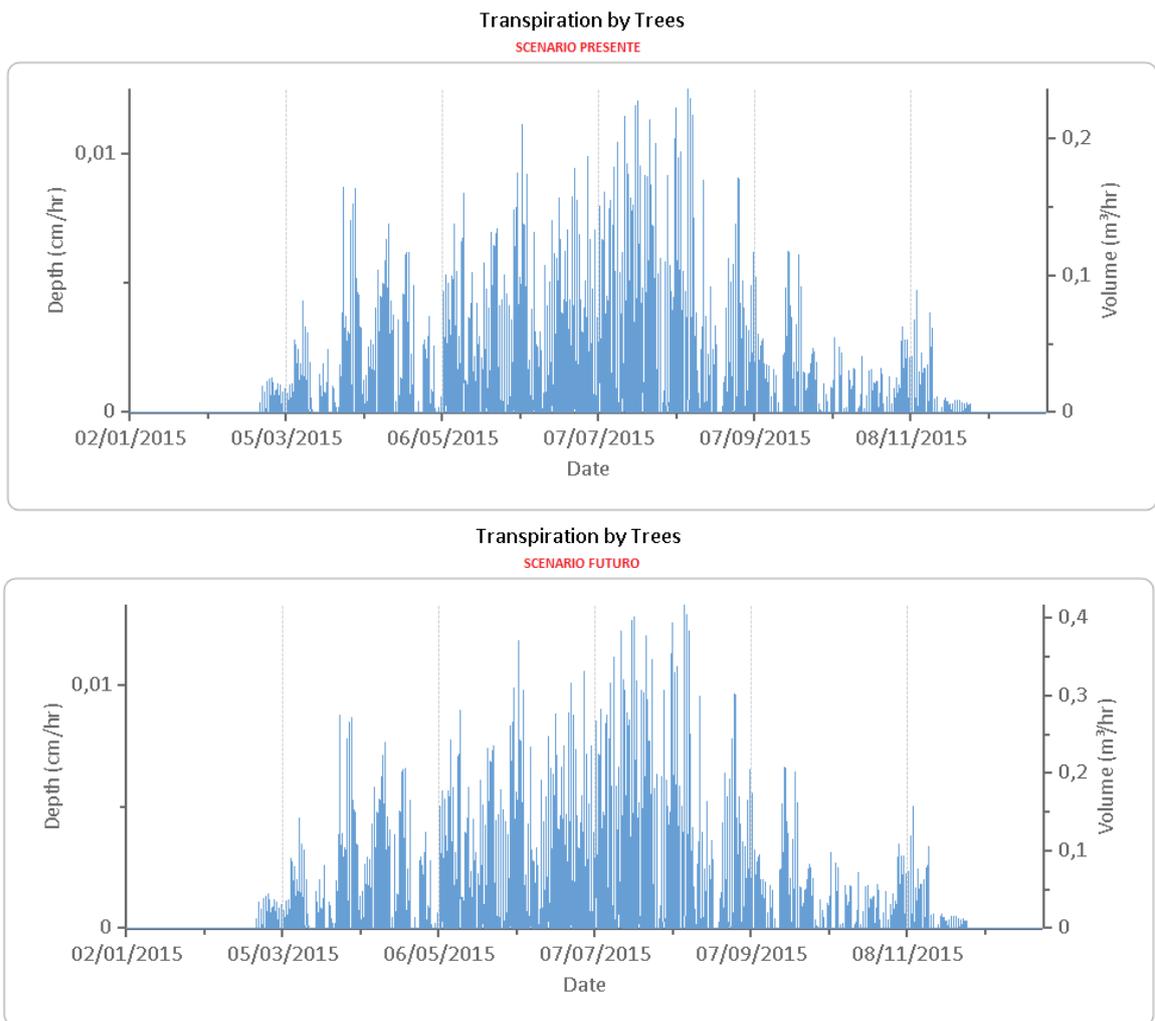


Fig. 4.41 - Confronto dati di traspirazione tra SPR e SF in funzione dei dati registrati nel 2015 e valutati come profondità, in cm/ora, o volume, in m³/ora

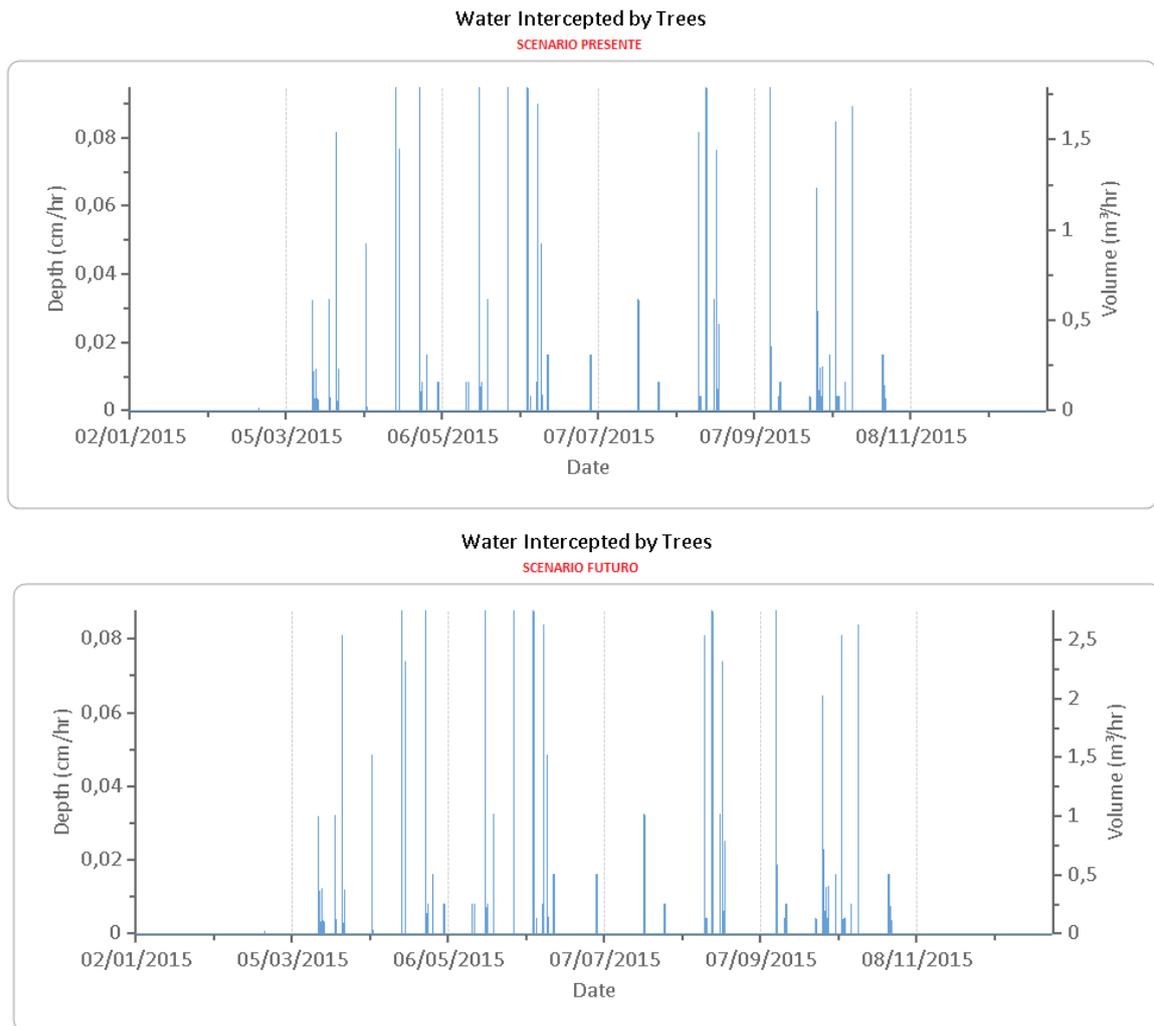


Fig. 4.42 - Confronto dati di intercettazione tra SPR e SF in funzione dei dati registrati nel 2015 e valutati come profondità, in cm/ora, o volume, in m³/ora

Direttamente dipendenti dall'area fogliare sono i valori di evaporazione, traspirazione e intercettazione dell'acqua che, per quanto meno significativi, hanno subito, in linea con la crescita della superficie vegetata degli alberi, quasi un raddoppio. Nelle figure dalla 4.40 alla 4.42 i dati hanno distribuzione annuale. Invece, in Fig. 4.39, per facilitare un confronto tra i risultati, si è scelto di mostrare soltanto i valori complessivi annuali in m³/anno. Sia per l'evaporazione, sia per la traspirazione, sia per l'intercettazione i valori di SF risultano quasi doppi rispetto a quelli di SPR. Questo perché le piante introdotte anche se, alcune di specie diverse rispetto a SPR, hanno area fogliare e biomassa fogliare simile.

Output VOC

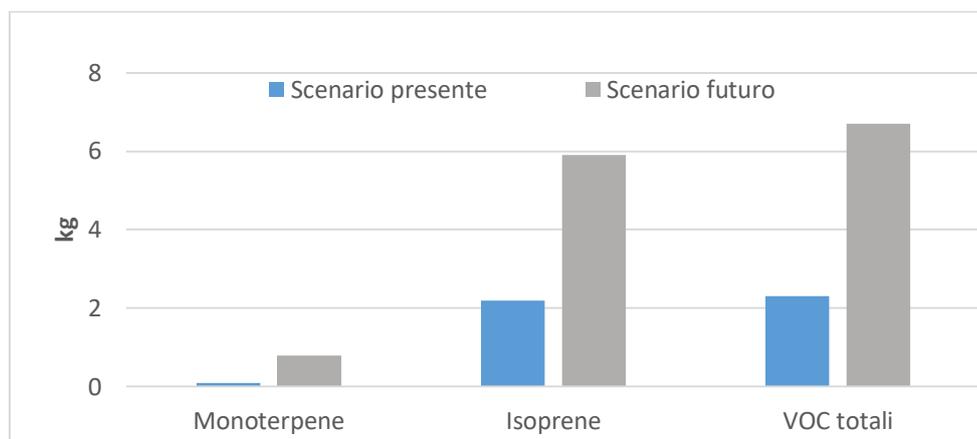


Fig. 4.43 - Confronto VOC in kg

Dalla tabella riportata in Fig. 4.43 è chiaro come le componenti organiche volatili totali siano in numero molto superiore nello SF rispetto a quello presente, con quasi 7 kg/anno rispetto ai 2 kg/anno di SPR. La componente maggiore è quella di isoprene, poiché il monoterpene di SPR è quasi nullo. Questi valori sono mostrati dal programma anche attraverso un grafico per i grammi di produzione oraria valutati dalla stazione nel 2015. Di seguito si riporta quello relativo per la componente dell'isoprene per cui è facile operare un confronto guardando la scala dell'asse delle ordinate.

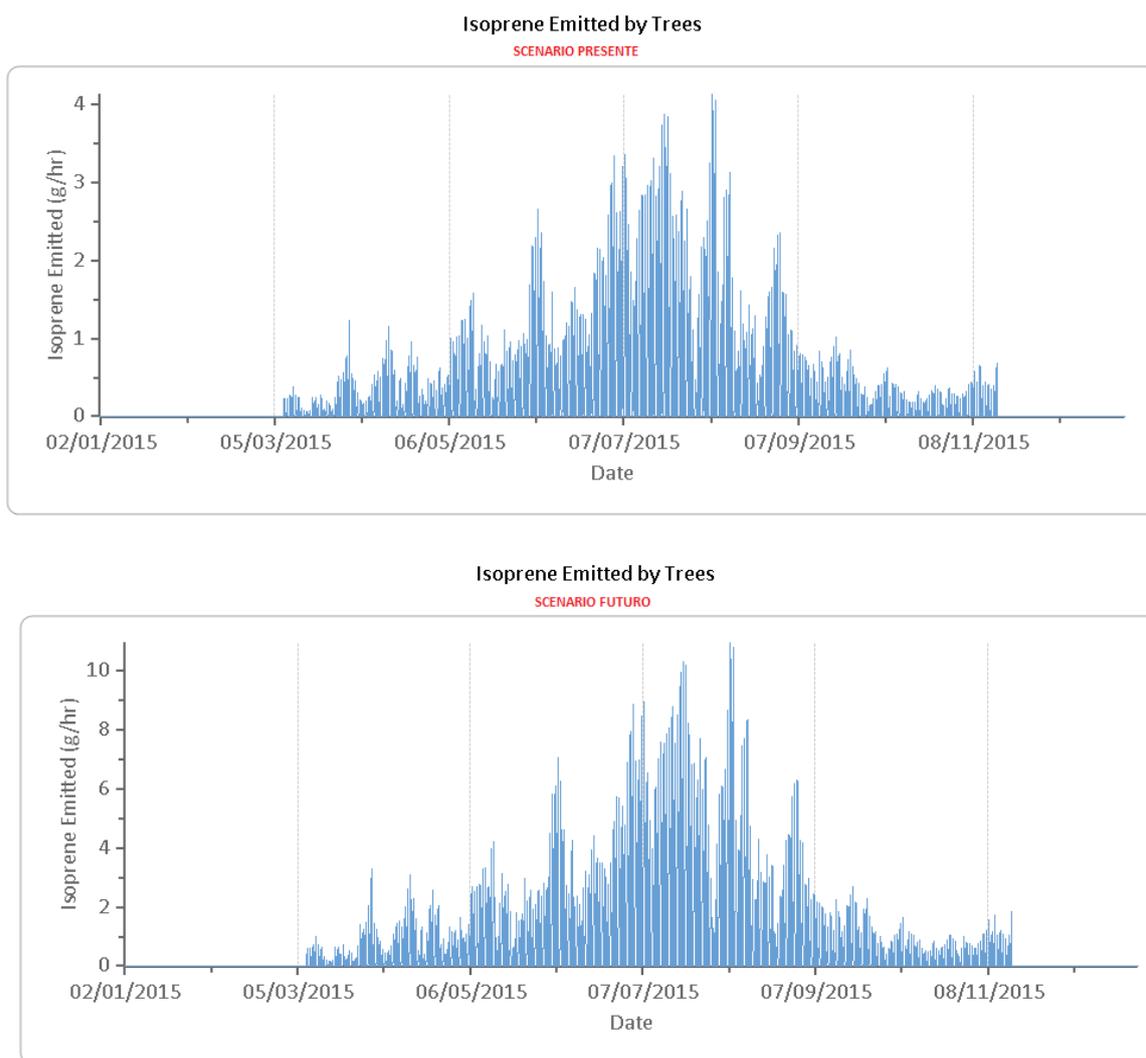


Fig. 4.44 - Confronto tra SPR e SF sulla produzione oraria nel 2015 di isoprene

Nel caso delle componenti organiche volatili è chiaro come ci sia stato un incremento di gran lunga superiore al doppio sia per la componente del monoterpene sia per quella dell'isoprene, che comunque rimane quella più vincolante con un picco che va dai 4 gr/h di SPR e ai 10 g/hr di SF, secondo la Fig. 4.44. Questo mostra come le nuove specie introdotte tendano a produrre una maggior quantità di componenti volatili rispetto a quelle già inserite.

Output sui benefici economici dello stoccaggio di carbonio e della rimozione degli inquinanti

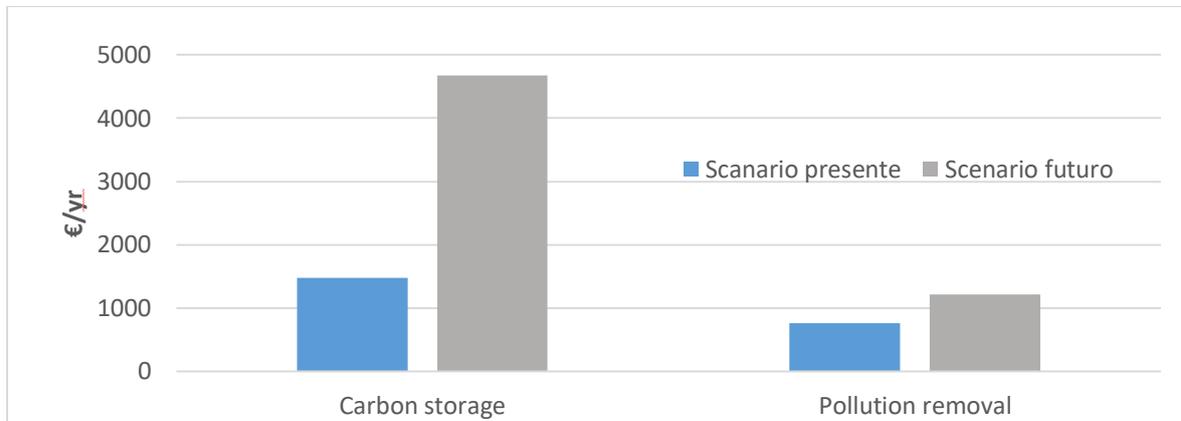


Fig. 4.45 - Confronto in €/anno dello stoccaggio del carbonio e sulla rimozione degli inquinanti

In Fig. 4.45 si può notare come, data l'introduzione di piante specifiche o l'incremento di alcune in particolare, lo stoccaggio del carbonio si attesta su valori pari a 3 volte quello attuale. Si passa, infatti, da 1500 €/anno di stoccaggio di carbonio in SPR ai oltre 4500 €/anno per SF. Per la rimozione degli altri inquinanti, invece, i valori si mantengono di poco superiori per lo scenario futuro rispetto a quello presente.

Si riporta, inoltre, il confronto relativo alla produzione di ossigeno, il quale, va di pari passo con il raddoppio dell'albedo, ovvero si attesta a un valore doppio di produzione. Si passa, infatti, da 1,72 ton/anno a 3,42 ton/anno.

Ulteriori considerazioni

A 30 anni il parco presenterà di un numero di alberi pari a circa il doppio di quelli attuali. Questi, si ipotizza, presenteranno dimensioni simili alle specie già presenti. L'introduzione di nuove specie avrà un impatto economico sicuramente positivo in quanto andranno a raddoppiare quasi tutti i valori calcolati, con particolare

rilevanza per lo stoccaggio del carbonio, che toccherà presumibilmente, secondo questa simulazione, un valore superiore ai 4500 €/anno. Questo dato è di particolare interesse poiché alle varie municipalità viene richiesto di stare al di sotto di certi livelli di produzione di inquinanti, valutati in termini economici. La presenza di parchi in grado di stoccare carbonio, diminuisce la cifra economica degli inquinanti emessi.

Un appunto deve essere fatto sulle VOC, che andranno ad aumentare fino a 7 kg/anno, potendo così provocare un incremento delle patologie cliniche ad esse associate (es. allergie). È necessario precisare, infatti, che i metodi attuali per il calcolo dei VOC non rispecchiano con esattezza i processi che naturalmente avvengono in natura. Per questo motivo, si può affermare che il rifacimento dell'area e la scelta delle piante condotta in fase di progetto porteranno benefici ambientali ed economici.

5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Questo lavoro di tesi è nato in risposta al problema di valutazione dei Servizi Ecosistemici. Il tema, molto attuale, ha sollevato la necessità di dare una definizione il più possibile precisa, in termini monetari e di quantità, dei servizi che la vegetazione dà all'uomo. Uno dei software sviluppati per fornire questa risposta è *i-Tree*, che è l'oggetto di ricerca di questo elaborato.

i-Tree è una suite di programmi che si propone di quantificare i benefici, su piccola e larga scala, che la flora garantisce alle persone. Per gli utenti al di fuori del territorio statunitense è fruibile solo in parte e, in quest'ottica, è stato condotto un lavoro atto a studiarne potenzialità e limiti. I tool impiegati sono quelli che permettono l'accesso a tutte o quasi le loro funzioni. L'utilizzo di tali programmi è stato subordinato a una analisi più specifica dei modelli matematici alla base degli stessi. In tal senso è stato possibile sottolineare i principali punti di forza e alcune debolezze. Inoltre, per ogni tool, sono state studiate le funzionalità, tramite anche una applicazione pratica, riuscendo a definire le correlazioni tra input e output, oltre a eventuali zone d'ombra.

I tool *Canopy*, *Hydro* ed *Eco* sono stati impiegati nello studio del Parco di Via Revello, nella città di Torino, (Italia). Si è deciso di confrontare tre scenari: Scenario passato (SPA), in cui il terreno era coperto prevalentemente da edifici residenziali, Scenario presente (SPR), in cui la zona convertita a parco presenta una copertura quasi esclusivamente erbacea, Scenario futuro (SF), a 30 anni e che vedrà un incremento della popolazione arborea.

i-Tree Canopy, nello specifico, risulta essere uno strumento di facile utilizzo per chiunque voglia avere una stima di massima delle quantità (in tonnellate) e del valore economico di rimozione degli inquinanti in una zona. Gli input sono forniti dall'utente, tramite l'associazione di una categoria (selezionabile da una lista) a un'immagine visiva, e attraverso la selezione di una località negli Stati Uniti (di cui

il programma utilizza i valori di default per fornire i risultati) con condizioni climatiche simili a quelle del proprio caso studio. La poca precisione dei dati in ingresso mostra come i risultati diano un'immagine veritiera ma non dettagliata della situazione reale. Allo stesso modo, però, *Canopy* risulta un utile strumento nella definizione delle percentuali di copertura del suolo (invece di una stima ad occhio nudo) che vengono richieste in input da *i-Tree Hydro*. *Canopy* è stato impiegato nel confronto tra SPA e SPR, poiché, dando una stima della copertura del suolo, le evidenze sono risultate assolutamente apprezzabili: si è riuscito, infatti, a mostrare come le percentuali di terreno impermeabile siano cambiate molto tra i due casi, passando da un valore di circa il 63% a una copertura impermeabile dell'1%, concentrando i deflussi nell'area del parco.

i-Tree Hydro è il tool che, tra quelli studiati, richiede senza dubbio dati in ingresso più specifici e non facilmente reperibili o realizzabili da tutti. L'utenza, infatti, deve essere formata a gestire dati di elevazione, precipitazione e geologici. Inoltre, la documentazione, per quanto ampia, risultata frammentata e a volte mancante per gli utenti internazionali. Gli output presentati dal programma sono limitati al deflusso totale, alla qualità dell'acqua (di cui vengono esaminate dieci componenti), e al bilancio idrico a scala di albero/arbusto. Nel caso pratico si sono confrontati gli scenari passato e presente poiché si volevano ottenere dati in m^3/h che evidenziassero come i deflussi, nel caso di passaggio del suolo da impermeabile a permeabile, non andassero più ad interessare l'apparato fognario cittadino ma venissero smaltiti nell'area del parco. Dai risultati si può evincere come, in corrispondenza dei mesi di forti precipitazioni (giugno e novembre), in SPR, rispetto a SPA, la quantità d'acqua che cade sulla vegetazione risulta quantitativamente maggiore. Di conseguenza, aumentano le quantità d'acqua cadute dal fogliame sul terreno sottostante ($27 \text{ m}^3/\text{h}$ per SPR rispetto agli $8 \text{ m}^3/\text{h}$ di SPA) e l'acqua che si deposita sulla superficie fogliare ($3 \text{ m}^3/\text{h}$ attuale rispetto agli $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ del passato). Infine, è stato possibile ottenere dati riguardanti il deflusso

totale dell'acqua piovana sul terreno che in entrambi i casi risultata nettamente più grande su terreno permeabile (con 10 m³/h in SPA e 12 m³/h in SPR). Il deflusso su terreno impermeabile, per quanto piccolo in termini assoluti, risulta il doppio per lo Scenario passato (3 m³/h) rispetto a quello presente (0,5 m³/h) a riprova del fatto che la diminuzione drastica di copertura impermeabile ha avvantaggiato il drenaggio delle acque su terreno naturale.

i-Tree Eco, invece, fornisce la possibilità di decidere la precisione dei propri risultati in funzione dei dati a disposizione dell'utilizzatore. Partendo da quelli obbligatori, ovvero specie e diametro della pianta in esame (facilmente definibili accedendo al sito e avvalendosi di una connessione a internet e una rotella meccanica), *Eco* dà l'opportunità di specificare molteplici caratteristiche della pianta e del sito e, di conseguenza, ottenere output molto dettagliati. In questo caso si è scelto di operare un confronto tra SPR e SF (ovvero quando, tra 30 anni, le piante immesse, avranno raggiunto la maturità) al fine di capire come e in quale quantità alcune specie arboree possano fornire benefici alla cittadinanza. *Eco* presenta molteplici risultati che riguardano i m² di area fogliare (circa 14000 per SF e circa 9000 per lo SPR) e le tonnellate di biomassa. Da questi dati (chiaramente in crescita nel caso di un aumento della popolazione arborea di circa il doppio delle unità) si ricavano le componenti organiche volatili VOC, anche esse in aumento soprattutto nella componente di isoprene a causa delle specie immesse (da un valore di circa 2 kg/anno a circa 6 kg/anno). Altri dati provenienti dall'area fogliare e biomassa sono le tonnellate e il loro corrispettivo economico di stoccaggio del carbonio, rimozione degli inquinanti, deflusso evitato, produzione di ossigeno, evapotraspirazione, intercettazione, etc. I valori delle voci appena citate risultano quasi tutti essere il doppio in SF, rispetto a SPR. Solo i benefici economici dello stoccaggio del carbonio risultano triplicati, passando da un iniziale valore di circa 1500 €/anno a oltre 4500 €/anno, questo sempre in funzione della scelta di introdurre delle specie arboree piuttosto che altre.

Possibili sviluppi del progetto

A fronte delle considerazioni appena fatte, si ritiene che altre prove potrebbero essere condotte sullo stesso caso studio come, ad esempio:

- Utilizzare i dati relativi ai parametri della chioma ottenibili con *Eco* per sostituire quelli di default richiesti nel secondo step di dati in input in *i-Tree Hydro* (previa realizzazione di un progetto in *Eco* per SPA);
- Confrontare i risultati provenienti dal progetto *Eco* di SF con quelli derivanti dalla funzione "Forecast" disponibile per il progetto di SPR (dove, quindi, non sarà possibile definire il tipo di piante immesse);
- Utilizzare il "Plot-Based Sample Inventory", che tiene conto della presenza di arbusti e siepi, per realizzare un nuovo progetto *Eco* da confrontare con i dati ottenuti per SF, in cui sarà prevista la realizzazione di aiuole;
- Aggiungere i costi annuali previsti dal piano comunale per il parco, così da avere dei confronti diretti tra benefici e costi.

Limiti dell'analisi svolta e proposte di miglioramento

Durante l'uso della suite, si sono riscontrate alcune criticità e difficoltà di utilizzo che permettono di fornire alcune proposte di miglioramento. A livello di software sarebbe opportuno creare dei manuali che vadano a risolvere le criticità per gli utilizzatori internazionali, fornendo esempi pratici da consultare, per agevolare le operazioni di inserimento dei dati, i cui formati richiesti spesso non vengono ben specificati.

Inoltre, per *i-Tree Hydro*, si potrebbe creare un tool simile a *i-Tree Database* per collezionare i dati topografici e meteorologici inviati dai singoli utenti, rendendoli

così disponibili per altre simulazioni in momenti futuri e ad altri operatori, anche al fine di diminuire i tempi di ricerca dei dati.

Infine, si ritiene utile la possibilità di rendere disponibile anche l'elenco delle specie arbustive nei "Complete Inventory", invece di considerare solo le specie arboree, per avere risultati più precisi senza dover ricorrere a un "Plot Sample Inventory" nel caso di aree molto piccole. Allo stesso modo, si propone di integrare "Forecast" con una funzione che permetta, qualora si voglia, di aggiungere le specie arboree presenti nei futuri piani di piantumazione, per avere un utile strumento di previsione con elevata precisione dei risultati forniti.

6. BIBLIOGRAFIA

Baldocchi, D.D.; Hicks, B.B.; Camara, P.. *A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. Atmospheric Environment*, 1987.

Beven, K., R. Lamb, P. Quinn, R. Romanowics, and J. Freer. *TOPMODEL. In: Computer Models of Watershed Hydrology*. V.P. Singh (Editor). Water Resources Publications, Colorado, 1995.

Bidwell, R.G.S.; Fraser, D.E., *Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. Canadian Journal of Botany*, 1972.

Brauman K.A., Daily G.C., T. Ka'eo Duarte, and Mooney H.A.. *The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services*. California, Hawaii, 2007.

de Groot R., Brander L., van der Ploeg S., Costanza R., Bernard F., Braat L., Christie M., Crossman N., Ghermandi A., Hein L., Hussain S., Pushpam Kumar, McVittie A., Portela R., Rodriguez L.C., ten Brinkm P., van Beukering P.. *Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units*. 2012.

Deardorff, J.W.. *Efficient Prediction of Ground Surface Temperature and Moisture With Inclusion of a Layer of Vegetation*. Journal of Geophysical Research, 1978.

Hewitt C.L., Keune H., Lindley S. and Shirayama Y. Aumeeruddy T., Bukvareva E., Davies K., Demissew, Gunay Erpul, Failler P., Guerra C.A., Leadley, van Oudenhoven A.P.E., van der Plaats F., Schröter M., Lavorel S., Chan Y., Baste I.A., Brauman K.A., Polasky S., Church A., Lonsdale M., Larigauderie A., Díaz P. W. S.,

Unai Pascual, Stenseke M., Berta Martín-López, Watson R.T., Zsolt Molnár, Hill R., Kai M. A.. *Assessing nature's contributions to people*. Washington DC, 2018.

Hirabayashi S.. i *Tree Canopy Air Pollutant Removal and Monetary Value Model Descriptions*, New York, 2014.

McPherson, E.G. ;Simpson, J.R. Gen. Tech. Rep. PSW-171. *Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters*. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 1999.

Montoya-Tangarife C., de la Barrera F., Salazar A., Inostroza L.. *Monitoring the effects of land cover change on the supply of ecosystem services in an urban region: A study of Santiago-Valparaíso, Chile*. Chile, 2017.

Noilhan, J. and S. Planton. *A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models*. Monthly Weather Review, 1989.

Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C., Hoehn R.E., Walton J.T., and Bond J.. *A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services*. New York, 2008.

Rutter, A.J., A.J. Morton, and P.C. Robins. *A Predictive Model of Rainfall interception in Forests. I. A Derivative of the Model From Observations in a Plantation of Corsican Pine*. Agricultural Meteorology, 1971.

Rutter, A.J., A.J. Morton, and P.C. Robins. *A Predictive Model of Rainfall Interception in Forests. II. Generalization of the Model and Comparison With Observations in Some Coniferous and Hard-Wood Stands*. Journal of Applied Ecology, 1975.

Sharps k., Masante D., Thomas A., Jackson B., Redhead J., May L., Prosser H., Cosby B., Emmett B., Jones L.. *Comparing strengths and weaknesses of three ecosystem services modelling tools in a diverse UK river catchment*. U.K., 2016.

Sutherland. *Methods for Estimating Effective Impervious Cover*. Article 32 in *The Practice of Watershed Protection*, Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD, 2000.

Valente, F., J.S. David, and J.H.C. Gash. *Valente, F., J.S. David, and J.H.C. Gash, 1997. Modeling Interception Loss for Two Sparse Eucalypt and Pine Forests in Central Portugal Using Reformulated Rutter and Gash Analytical Models*. *Journal of Hydrology*, 1997.

Vigerstol K.L., Aukema J.E.. *A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services*. U.S.A., 2010.

Wang J., Endreny T.A., and Nowak D.J.. *Mechanistic simulation of tree effects in an urban water balance model*. New York, 2008.

Yang, L., C. Huang, C.G. Homer, B.K. Wylie, and M.J. Coan. *An Approach for Mapping Large-Area Impervious Surfaces: Synergistic Use of Landsat 7 ETM+ and High Resolution Imagery*. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2003.

WWF. *Living Planet Report 2018. Aiming Higher*. M. and Almond, R.E.A.(Eds). Grooten. Gland. Switzerland, 2018.

7. SITOGRAFIA

- S1. http://www.treccani.it/vocabolario/antropocene_%28Neologismi%29/
consultato il 21/08/19
- S2. <https://www.overshootday.org/newsroom/press-release-june-2019-italian/>
consultato il 21/08/19
- S3. <https://www.focus.it/ambiente/ecologia/earth-overshoot-day-2019-29-luglio>
consultato il 21/8/19
- S4. https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_capital consultato il 21/8/19
- S5. https://it.wikipedia.org/wiki/Servizi_ecosistemici consultato il 21/8/19
- S6. https://it.wikipedia.org/wiki/Valutazione_degli_ecosistemi_del_millennio
consultato il 21/8/19
- S7. <https://www.ecologia.it/attivita/gruppi-di-lavoro/servizi-ecosistemici>
consultato il 21/8/19
- S8. <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/biodiversita/documenti/millennium-ecosystem-assessment> consultato il 21/8/19
- S9. <http://www.lifemgn-serviziecosistemici.eu/IT/progetto/Pages/se.aspx>
consultato il 22/08/19
- S10. <https://ww3.arb.ca.gov/research/ltads/interim/ch4.pdf> consultato il 23/10/2019
- S11. http://glossary.ametsoc.org/wiki/Stomatal_resistance consultato il 23/10/2019
- S12. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3430992/> consultato il
23/10/2019
- S13. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics consultato il 28/05/2019
- S14. <http://www.irenlucegas.it> consultato il 28/05/2019
- S15. https://www.epa.gov/sites/production/file/2016-12/documents/sc_co2_tsd_august_2016.pdf consultato il 28/05/2019
- S16. <https://www.sendeco2.com/it/prezzi-co2> consultato il 28/05/2019

S17. <https://forums.itreetool.org/viewtopic.php?f=35&t=1248&sid=802b96cbcc4cd1f1ff443c948a19244a> consultato il 10/11/2019

S18. <https://forums.itreetool.org/viewtopic.php?f=35&t=1248> consultato il 4/12/2019

S19. <https://forums.itreetool.org/viewtopic.php?f=35&t=1278&sid=5f63213e5a9c2877a5d3b549a30dc2d8> consultato il 4/12/2019