POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

Valutazione dei servizi ecosistemici mediante la suite i-Tree: applicazione al Parco Cascina Vigna di Carmagnola (TO)



Relatore Candidato

prof. Roberto Revelli Alberto Fumero

Corelatore

Caterina Rosini

Anno Accademico 2017/2018

"Là dove c'era l'erba ora c'è una ci	ittà e quella casa in mezzo al verde ormai dove sarà?"
	Celentano, Adriano. "Il ragazzo della via Gluck", 1966
	delentano, magazzo dena via diaen , 1900
	defendant), rarianto in ragazzo dena via graen y 1900

ABSTRACT		-
ARSTRACT		

1. INTRODUZIONE	9
1.1. LE PROBLEMATICHE	9
1.2. GLI INTERVENTI	13
1.3. VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI	16
1.4. Scopo della tesi	18
2. I-TREE	20
2.1. Presentazione	20
2.1.1. Programmi per gli USA	21
2.1.2. Programmi per l'Italia	23
2.2. I-TREE ECO	27
2.2.1. i-Tree Database	27
2.2.2. Pianificare il progetto	31
2.2.3. Input	34
2.2.4. Output	36
2.2.5. Servizi supplementari	38
2.2.6. Modello	41
2.3. I-TREE HYDRO	44
2.3.1. Input	45
2.3.2. WATERSHED O NON-WATERSHED	47
2.3.3. Caso base e casi alternativi	48
2.3.4. I-Tree Canopy	48
2.3.5. Оитрит	51
2.3.6. Modello	57
3. APPLICAZIONE AL PARCO CASCINA VIGNA	63
3.1. APPLICAZIONE DI I-TREE ECO	65
3.1.1. Inserimento dati	65
3.1.2. RISULTATI	69
3.1.3. Previsioni future	77
3.2. APPLICAZIONE DI I-TREE HYDRO	82
3.2.1. Inserimento dati	82
3.2.2. RISULTATI	85
3.2.3. Casi alternativi	89
3.3. DEFLUSSI: DIFFERENZE TRA ECO E HYDRO	94

4. CONCLUSIONI	96
APPENDICE 1 - RACCOLTA DATI IN CAMPO PER I-TREE ECO	99
Appendice 2 – Parametri idrologici di i-Tree Hydro	105
ALLEGATO 1 - REPORT DELL'APPLICAZIONE DI ECO AL PARCO CASCINA VIGNA	107
ALLEGATO 2 - REPORT DELL'APPLICAZIONE DI HYDRO AL PARCO CASCINA VIGNA	i.
CASO ALTERNATIVO 1: AUMENTO DELLA SUPERFICIE IMPERMEABILE	143
ALLEGATO 3 - REPORT DELL'APPLICAZIONE DI HYDRO AL PARCO CASCINA VIGNA	
CASO ALTERNATIVO 2: PIANTUMAZIONE DEGLI ALBERI	149
5. REFERENZE	155
6. SITOGRAFIA	158

Abstract

In un'era in cui la popolazione urbana è in costante crescita risulta sempre più complessa l'amministrazione territoriale delle città. La vegetazione innestata nelle aree occupate dai settori secondario e terziario si rivela una preziosa risorsa, in grado di contrastare l'impermeabilizzazione del suolo regimando le portate che defluiscono nei sistemi di drenaggio urbano durante gli eventi alluvionali e limitando l'inquinamento atmosferico. Si necessita, quindi, di uno strumento di supporto alla pianificazione urbanistica in grado di valutare i servizi ecosistemici apportati dal verde cittadino, prevederne gli effetti e localizzare gli opportuni interventi: i-Tree, una software suite le cui componenti approfondiscono differenti aspetti della foresta cittadina. Solo alcune sono disponibili in Italia e tra queste si distinguono Eco, che genera una stima dei benefici forniti dalla vegetazione in un centro abitato, e Hydro che determina la quantità e la qualità dei deflussi superficiali e nel sottosuolo generati dalle precipitazioni meteoriche in funzione della copertura del terreno. Entrambi i software sono stati utilizzati per analizzare il Parco Cascina Vigna a Carmagnola e la loro applicazione fornisce prove concrete dei vantaggi, presenti e futuri, di cui beneficia il centro urbano nel destinare un'area cittadina al verde, riducendo la superficie impermeabile.

In an era in which the urban population is constantly increasing, the cities territorial administration becomes every day more complex. The vegetation grafted in the areas occupied by secondary and tertiary sectors proves to be a priceless resource, able to contrast the soil waterproofing by regulating the water flow rate that flows into urban drainage systems during floods and by limiting atmospheric pollution. Therefore, it is necessary to have a tool to support urban planning able to quantify the ecosystem services provided by the urban forest, predict its effects and locate the appropriate interventions: i-Tree, a software suite whose components deepen different scopes of the urban vegetation. Only a few of them are available in Italy and they include Eco, which assesses the ecosystem services provided by vegetation in a built-up area, and Hydro which determines the quantity and quality of surface and subsurface outflow generated by rainfall in relation to the land cover. Both software were used to analyzed Cascina Vigna Park in Carmagnola and their application provides concrete evidence of present and future benefits that are available to the urban center by allocating a city area to greenery, reducing the waterproof surface.

1. INTRODUZIONE

1.1. Le problematiche

Secondo quanto riportato nei World Population Prospects 2017, redatti dalle Nazioni Unite [1], il numero di abitanti sul nostro pianeta raggiungerà quota 8 miliardi entro il 2025 e si sfioreranno i 10 miliardi al giungere del 2050. La crescita demografica interesserà principalmente nazioni extra europee, in modo significativo i Paesi africani e asiatici, mentre i dati relativi alla popolazione italiana mostrano un trend positivo dal 1950 ad oggi seguito da una lieve riduzione futura da 59.5 a 55 milioni di individui (Figura 1.1).

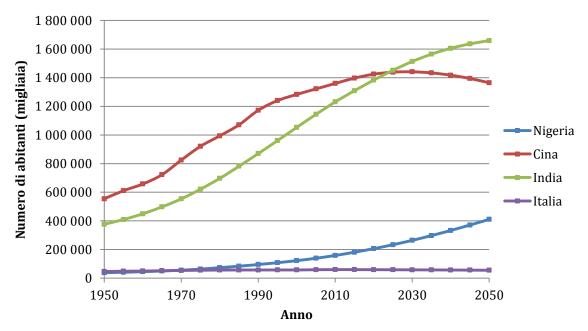


Figura 1.1: confronto fra le stime demografiche in Nigeria, Cina, India e Italia, World Population Prospects 2017 [1]

Le statistiche riportate nelle proiezioni demografiche [1] rivelano che in diversi altri Paesi europei (per esempio Spagna, Portogallo, Grecia, Germania) si ha una tendenza crescente fino all'epoca attuale che si inverte nel prossimo futuro. Da un'analisi più ampia si scopre che la popolazione europea ebbe una forte crescita nel corso del '800 grazie ad una netta diminuzione del tasso di mortalità indotta da migliori condizioni igieniche, da maggiori risorse economiche ed alimentari procapite e dallo sviluppo nella cura di malattie epidemiche [2]. Il tasso di natalità seguì una riduzione molto più graduale, causata principalmente dal crescente costo del mantenimento dei figli, e questo permise un forte innalzamento del numero di abitanti. Negli ultimi anni il numero delle nascite e il numero dei decessi in molte nazioni europee hanno raggiunto livelli equiparabili, al contrario dei Paesi in via di sviluppo dove il gap è ancora considerevole [2], a conferma di quanto

rappresentato in Figura 1.1. Dunque, si ha ancora un ampio margine di crescita della popolazione a scala mondiale e "una popolazione in crescita necessita più spazio e più terra, su un pianeta che è finito" [3]. Parafrasando la citazione, l'aumento della popolazione comporta un incremento dell'uso antropico del suolo che va ad intaccare le risorse disponibili del pianeta: si riducono i terreni destinati alla produzione agricola, viene compromessa la biodiversità, si limitano le contromisure alle emissioni di gas serra [3]. In particolare l'espansione interesserà i centri abitati e il territorio ad essi limitrofo, dove avrà luogo il fenomeno definito urbanesimo: si tratta della "migrazione dalle campagne e dai piccoli centri nelle grandi città di ingenti masse, per la maggior parte rurali, provenienti sia dal territorio circostante sia da zone anche lontane" [4]. L'urbanesimo, per come lo conosciamo oggi, ha avuto inizio a partire dalla Rivoluzione Industriale nel XIX secolo [4], ma, secondo quanto riportato sui World Urbanization Prospects 2018 [5], si manifesta anche in epoca contemporanea e si prevede che continuerà anche in futuro.

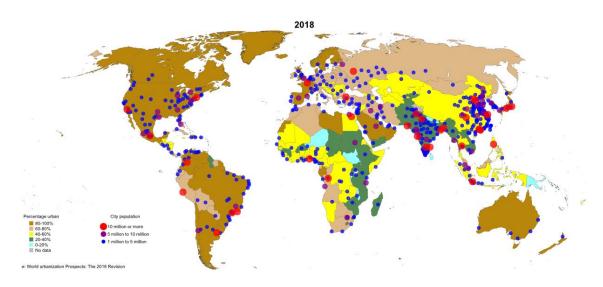


Figura 1.2: percentuale di popolazione urbana e classificazione dei grandi centri abitati nel 2018, World Urbanization Prospects 2018 [5]

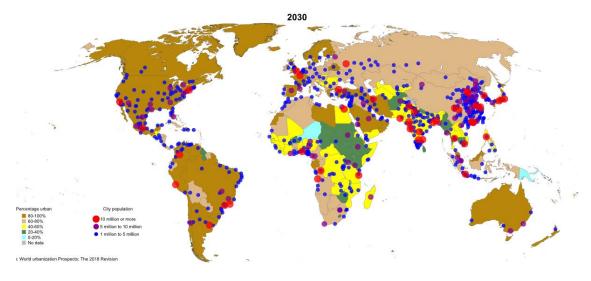


Figura 1.3: percentuale di popolazione urbana e classificazione dei grandi centri abitati nel 2030, World Urbanization Prospects 2018 [5]

Negli stessi documenti viene specificato che la percentuale di abitanti che vive in aree urbane è incrementata da 30% a 55% dal 1950 ad oggi e è possibile che nel 2050 il 68% della popolazione mondiale abiti in città. Il processo di urbanizzazione, a differenza della crescita demografica, riguarderà tutte le regioni geografiche, seppure con intensità differenti [5]. In Figura 1.2 e Figura 1.3 si confrontano le percentuali della popolazione urbana delle diverse nazioni del Mondo nel 2018 e nel 2030.

L'esigenza di costruire strutture residenziali atte ad accogliere queste masse può portare a un ampliamento rapido dei confini della città e/o ad una maggiore densità edilizia. La velocità con cui viene convertito il suolo in aree residenziali e industriali impedisce all'amministrazione urbanistica di organizzare gli spazi in modo che il nucleo cittadino si adatti alle condizioni ambientali locali [3]. L'antropizzazione delle aree circostanti le città conduce ad una trasformazione del suolo rurale in superfici impermeabili alle precipitazioni meteoriche. In ambito idrogeologico, questo significa limitare le capacità di drenaggio del bacino trattenendo consistenti volumi d'acqua sul piano campagna. Si generano, così, abbondanti deflussi superficiali che alimentano le portate dei corpi idrici ricettori o che giungono alle fognature, associati ad una riduzione del tempo di corrivazione del bacino [6]. Pertanto, durante gli eventi alluvionali si registrano idrogrammi di piena con un picco molto più accentuato rispetto a quello che si avrebbe in un territorio non antropizzato, raggiungendo dei valori di portata maggiori e con minore preavviso (Figura 1.4).

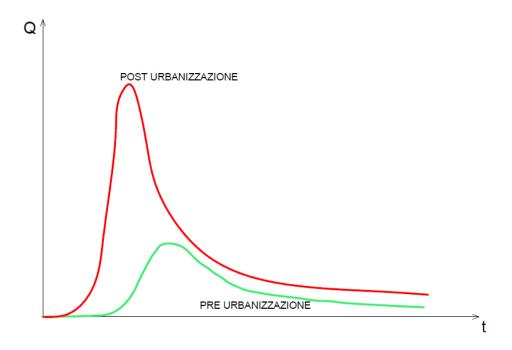


Figura 1.4: idrogrammi di piena prima e dopo l'urbanizzazione

Nel caso di un fiume che attraversa un centro urbano, l'aumento della portata al colmo può condurre ad un innalzamento del livello del pelo libero fino all'esondazione del corso d'acqua nei quartieri attigui. L'impianto fognario, invece, può risultare sottodimensionato

con collettori non adeguati a smaltire l'incrementata quantità di acque reflue. Tutto ciò si traduce in un innalzamento del livello di rischio per la popolazione.

L'impermeabilizzazione del suolo provoca, inoltre, problematiche di altro genere: le conseguenze ambientali si manifestano nell'inquinamento atmosferico generato dalle emissioni di gas serra e dal degrado della qualità dell'acqua, in particolar modo quelle meteoriche di dilavamento delle pavimentazioni stradali. Inoltre, si ha un'alterazione dell'equilibrio naturale del ciclo idrologico attraverso la riduzione del volume d'acqua che si infiltra nel terreno, ricaricando la falda acquifera, e la diminuzione dell'evapotraspirazione (Figura 1.5). Non si trascurino, poi, l'erosione dei terreni sciolti e il trasporto solido provocati dal maggiore scorrimento superficiale [6].



Figura 1.5: ciclo idrologico al variare dell'uso del suolo, Manuale del drenaggio urbano [6]

Il fenomeno dell'espansione frenetica e incontrollata della città si presentò in maniera piuttosto evidente a Torino e nei comuni limitrofi nel dopoguerra, quando il miracolo economico italiano diede vita a un flusso migratorio di uomini e donne, provenienti prevalentemente dal meridione e dal Veneto, interessati alle possibilità di lavoro fornite dalle industrie piemontesi [7]. L'affluenza di persone si protrasse fino alla fine degli anni '70 e determinò una sensibile crescita della popolazione del capoluogo e della sua provincia (Figura 1.6).

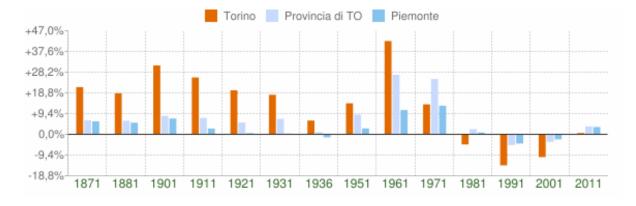


Figura 1.6: variazioni in percentuali della popolazione a Torino e in Piemonte [8]

In questo periodo vennero edificate strutture residenziali destinate ad accogliere i lavoratori e le loro famiglie comportando un innalzamento della densità demografica e un importante consumo del suolo. Le aree agricole periurbane accolsero la maggior parte della nuova popolazione e gli abitanti dei modesti comuni della prima cintura di Torino, quali Beinasco e Nichelino, crebbero di 5-6 volte nel corso di tre decenni. Anche gli stabilimenti industriali occuparono i loro spazi all'interno del tessuto urbano e i loro consumi incrementarono il carico di inquinanti nell'atmosfera [7].

Gli anni di crescita economica e demografica hanno lasciato in eredità estese superfici impermeabili e un territorio affollato spesso soggetto ad inondazioni.

Le problematiche, insomma, si presentano tutt'oggi e non riguardano solamente i Paesi con il maggior numero di abitanti o le metropoli che contano più di un milione di individui, ma interessano anche il territorio piemontese e le città in cui viviamo.

1.2. Gli interventi

Note le problematiche provocate dall'espansione delle città, ci si pone l'obiettivo di bloccare il degrado ambientale e sociale e invertirne la tendenza. L'orientamento che si vuole seguire non si focalizza tanto su quanto già costruito, poiché sarebbero necessari interventi onerosi e invasivi, bensì si basa su una gestione delle risorse e degli spazi parsimoniosa che riconosca le esigenze delle generazioni future. Nelle strategie di governo territoriale è sempre più diffusa l'adozione di una pianificazione urbanistica che volga verso uno sviluppo sostenibile della città [9]. L'evoluzione del centro abitato viene basata su una politica ambientale che tuteli l'ecosistema e la sua biodiversità, ma che sappia anche garantire una adeguata qualità di vita dei cittadini. La valorizzazione del suolo è posta in primo piano, con la consapevolezza di non disporne in quantità illimitata. In tal senso, la Commissione Europea ha posto un freno all'antropizzazione, fissando l'obiettivo di ridurre ogni anno l'occupazione di terreni rurali, cosicché entro il 2050 le aree interessate da nuove costruzioni dovranno essere controbilanciate dalla realizzazione di aree verdi [10]. Tuttavia, non è sufficiente rallentare l'espansione urbana, ma è necessario ottimizzare l'efficienza e la sostenibilità delle aree già urbanizzate al fine di esaltare le specificità del territorio [11]. Il modello a cui si fa riferimento è quello della Smart City¹, una città in grado di usufruire delle nuove tecnologie per uno sviluppo dei servizi pubblici, tra cui trasporti e reti di comunicazione, con lo scopo di raggiungere un elevato grado di ecosostenibilità per ridurre i consumi energetici e migliorare la qualità di vita dei cittadini [13].

-

¹ Smart City: città progettata, realizzata e gestita in modo da ottenere un consumo energetico inferiore rispetto ad analoghe città di tipo "convenzionale", e che, grazie a sistemi integrati nella rete stradale, incentiva o sostiene attivamente l'adozione di comportamenti ispirati a principi di efficienza energetica da parte degli abitanti.[12]

Torino dal 2011 si sta mobilitando per emulare questa idea di città [S1]. Infatti, nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Torino (PTC2) è specificato che "l'obiettivo è provvedere e sostenere la compatibilità tra l'ecosistema ambientale e naturale e il sistema antropico, armonizzando la tutela e valorizzazione del primo con l'evoluzione del secondo, attraverso la corretta gestione delle risorse" [14]. Il tema centrale, dunque, diventa la salvaguardia dell'ecosistema nella fase di sviluppo della città attraverso la conservazione e l'inserimento della vegetazione nel tessuto urbano. Si vuole creare una sinergia fra costruito ed ecosistema, in modo che il primo tragga vantaggio dalla presenza del secondo. I benefici che apporta il verde nei centri urbani sono numerosi e di consistente importanza per la salute umana. Si definiscono Ecosystem Services (o Servizi Ecosistemici) "i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano" [15] e vengono qui elencati solamente quelli che interessano l'ambiente cittadino [16]:

- produzione di ossigeno con la fotosintesi clorofilliana e, di conseguenza, riduzione del contenuto di inquinanti nell'aria, in particolar modo l'anidride carbonica, gas serra che viene fissato nel terreno;
- purificazione dell'acqua;
- riduzione dell'inquinamento acustico, soprattutto per il rumore veicolare;
- regolazione del microclima cittadino, mitigando le temperature massime estive con l'evapotraspirazione e generando ombra sugli edifici, fattori che riducono i consumi energetici;
- salvaguardia della biodiversità;
- protezione dall'erosione delle scarpate (es. rilevati arginali o stradali) e dal dilavamento superficiale;
- bilanciamento degli elementi chimici del terreno, tra cui i composti a base di azoto e fosforo;
- formazione di suolo (pedogenesi) e di biomassa;
- miglioramento estetico, utilizzando il verde come arredo urbano nelle strade e nelle piazze o realizzando veri e propri giardini pubblici;
- aumento delle aree di svago e ricreativo a favore della salute dei cittadini, parchi in cui passare il tempo libero ed effettuare attività sportiva;
- costi di piantumazione e manutenzione relativamente contenuti, accessibili alle istituzioni comunali.

Si ha, in aggiunta, la capacità da parte della vegetazione di trattenere una parte del volume d'acqua meteorica che ricade sul territorio: l'infiltrazione nel terreno e l'intercettazione della copertura fogliare danno luogo a un immagazzinamento d'acqua durante gli eventi alluvionali. L'evapotraspirazione, cessate le precipitazioni, interviene smaltendo una porzione del volume accumulato abbassando il livello della falda [16]. Se dislocato diffusamente nell'area antropizzata, il verde urbano rappresenta una preziosa risorsa per regimare le portate che giungono alle reti di drenaggio e ai corsi d'acqua e limitare

delle reflue, l'inquinamento acque riducendo così gli effetti provocati dall'impermeabilizzazione del suolo [6]. Al di là delle più "tradizionali" aree verdi, quali parchi, giardini e alberate, si fa ricorso sempre più frequentemente ai Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS)2, i quali sfruttano la predisposizione della vegetazione ad incamerare una frazione delle precipitazioni e la funzione di filtro svolta dal suolo nei confronti delle sostanze contaminanti durante la percolazione dell'acqua [17]. Questi sistemi di drenaggio "tendono a equilibrare il ciclo dell'acqua nell'ambiente urbano, riducendo l'impatto dello sviluppo antropico sulla qualità e la quantità del deflusso" [6]. Esistono molteplici tecniche che rientrano nei SuDS grazie ad idee innovative che nel corso degli anni sono state sviluppate per adattare le soluzioni agli spazi angusti della città: trincee drenanti, rain garden³, tetti verdi, pareti vegetate (Figura 1.7), pavimentazioni drenanti, aree di bioritenzione.



Figura 1.7: utilizzo delle pareti vegetate come elemento funzionale ed estetico, Ann Demeulemeester's Store, Seoul (Corea del Sud) [18]

² Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) o sistemi di drenaggio urbano sostenibile: sistema di drenaggio che regola la quantità di deflusso di acque superficiali da un insediamento urbano, migliora la qualità del deflusso e incrementa la conservazione della natura, il valore paesaggistico e la fruibilità pubblica di un determinato sito e delle aree circostanti [12].

³ Rain garden: aree verdi, solitamente vegetate e caratterizzate da piccole depressioni, che intercettano le acque meteoriche e ne consentono l'infiltrazione graduale nel terreno grazie ad un substrato sabbioso e ghiaioso. Spesso vengono realizzate nelle aree verdi di pertinenza di lottizzazioni o di interi quartieri [6]

I sistemi di drenaggio sostenibile vengono adottati per perseguire il criterio dell'invarianza idraulico-idrologica nel contesto comunale [17], secondo cui "le portate e i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione" [19]. In altre parole, in seguito a una qualsiasi trasformazione del suolo in ambito urbano, la capacità di drenaggio del bacino deve rimanere inalterata. Pertanto, se si esegue un intervento che riduca la permeabilità del terreno (nuove costruzioni, ampliamenti e modifiche di edifici esistenti, nuove infrastrutture e allargamenti delle stesse,...) sarà necessario compensare lo squilibrio con la realizzazione di un'area ad alta permeabilità.

Per quanto riportato, un uso della vegetazione pianificato e congruo con la struttura della città appare come un valido strumento per l'attenuazione delle problematiche descritte nel paragrafo 1.1. Attraverso la pianificazione urbanistica si vuole dare respiro alle città che si sentono soffocare, inserendo polmoni verdi nell'organismo metropolitano.

1.3. Valutazione dei servizi ecosistemici

Definiti i servizi ecosistemici forniti dal verde urbano, risulta doveroso valutare in quale misura essi si presentino contribuendo alla salute e all'economia della comunità. Non si tratta, infatti, di benefici ambientali fini a se stessi, ma piuttosto di servizi che includono un tornaconto economico nelle tasche dei cittadini e delle Pubbliche Amministrazioni [10]. I vantaggi economici non si presentano sotto forma di guadagni diretti, se non in casi particolari (ad esempio la vendita di legname e la produzione di energia dalla biomassa), quanto più come mancate spese: consumi energetici ridotti, per gli enti pubblici quanto per i privati, mitigazione del rischio inondazioni durante gli eventi alluvionali, minori portate recapitate al sistema di depurazione dell'impianto fognario e con un minor carico di inquinanti. In altri casi viene direttamente pagata la fornitura del servizio ecosistemico, quale può essere la rimozione di anidride carbonica o la depurazione dell'acqua da parte del suolo e della vegetazione (es. fitodepurazione). L'acquirente può ricoprire ruoli diversi, dall'ente pubblico all'impresa privata. Questo settore di mercato è ancora poco conosciuto, ma è in fase di sviluppo in diversi Paesi del mondo [16].

L'ecosistema viene quindi considerato come un capitale naturale che "produce un flusso di beni o servizi di valore nel futuro" [20] e, di conseguenza, l'adozione di una pianificazione urbanistica sostenibile va percepita come un investimento a medio-lungo termine che "spesso comporta rendimenti superiori rispetto alle alternative costruite o fabbricate, con costi iniziali inferiori" [10]. Si torna, a maggior ragione, a rimarcare l'esigenza di quantificare i servizi ecosistemici e di definirne un valore economico. Anche qui la Commissione Europea si è posta un obiettivo: "entro il 2020 il capitale naturale e i servizi ecosistemici saranno adeguatamente valutati e considerati dalle autorità pubbliche e dalle imprese" [10]. L'ostacolo, ora, è come procedere con questa valutazione. Questa

operazione può risultare particolarmente ardua, poiché i servizi offerti dall'ecosistema risultano connessi tra loro da complesse relazioni e gli effetti che essi provocano possono rivelarsi contrastanti [16]. Subentrano, inoltre, dei fattori ambientali che rendono sfocate le previsioni future a causa della loro incerta evoluzione. È il caso dei cambiamenti climatici che condizionano l'ecosistema attraverso l'innalzamento delle temperature medie atmosferiche e la maggior frequenza di eventi meteorologici di intensità rilevante [15].

La valutazione dei servizi ecosistemici risulta, pertanto, un'operazione complessa che può seguire molteplici approcci. Ne è la prova la ricca raccolta di studi in questa area di ricerca presenti in letteratura: l'economista americano Robert Costanza analizzò i servizi ecosistemici di 16 diversi biomi del mondo e ne stimò il valore economico, individuando le variazioni dei risultati ottenuti nel 1997 e nel 2011 [21] (Figura 1.8); la quinta relazione MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services) [22] fornisce le linee guida che gli Stati membri dell'UE sono tenuti a seguire nel conseguimento dell'obiettivo posto dalla Commissione Europea per la mappatura e la valutazione del capitale naturale e dei servizi ecosistemici [10].

Biome	Area Unit values				es	
	(e6	ha)	Change	2007	\$/ha/yr	Change
	1997	2011	2011-1997	1997	2011	2011-1997
Marine	36,302	36,302	0	796	1,368	572
Open Ocean	33,200	33,200	0	348	660	312
Coastal	3,102	3,102	0	5,592	8,944	3,352
Estuaries	180	180	0	31,509	28,916	-2,593
Seagrass/Algae Beds	200	234	34	26,226	28,916	2,690
Coral Reefs	62	28	-34	8,384	352,249	343,865
Shelf	2,660	2,660	0	2,222	2,222	0
Terrestrial	15,323	15,323	0	1,109	4,901	3,792
Forest	4,855	4,261	-594	1,338	3,800	2,462
Tropical	1,900	1,258	-642	2,769	5,382	2,613
Temperate/Boreal	2,955	3,003	48	417	3,137	2,720
Grass/Rangelands	3,898	4,418	520	321	4,166	3,845
Wetlands	330	188	-142	20,404	140,174	119,770
Tidal Marsh/Mangroves	165	128	-37	13,786	193,843	180,057
Swamps/Floodplains	165	60	-105	27,021	25,681	-1,340
Lakes/Rivers	200	200	0	11,727	12,512	785
Desert	1,925	2,159	234		-	0
Tundra	743	433	-310		-	0
Ice/Rock	1,640	1,640	0		-	0
Cropland	1,400	1,672	272	126	5,567	5,441
Urban	332	352	20		6,661	6,661
Total	51,625	51,625	0			

Figura 1.8: variazioni di area e valore unitario dei servizi ecosistemici di 16 biomi tra il 1997 e il 2011 [20]

Restringendo il campo all'ambito urbano, già nel 2012 gli approcci per stimare il valore e mappare i servizi ecosistemici erano sufficientemente numerosi da essere raccolti e confrontati in una revisione di Martínez-Harms e Balvanera [23].

Nonostante gli sforzi per giungere ad una valutazione che sia quanto più universale possibile, i servizi ecosistemici rimangono vincolati alle condizioni climatiche locali, così

come ai consumi, a fattori demografici, politici ed economici, alle tecnologie e alla cultura, e "da ciò discende la responsabilità tacitamente affidata ai settori di governo e alla pianificazione territoriale" [24]. All'interno di questa responsabilità rientra non solo una valutazione dell'ecosistema, ma anche, e soprattutto, la tutela e la gestione ottimale di questa risorsa. Le stime del capitale naturale, infatti, hanno lo scopo di motivare lo sviluppo sostenibile della città, indirizzare le scelte verso una politica ambientale e localizzare le aree che più necessitano di interventi di riqualificazione. Come si è visto nel paragrafo 1.2, per tutelare il corretto uso del territorio si fa appello alla pianificazione urbanistica, pertanto le amministrazioni comunali (ma anche gli enti territoriali provinciali e regionali) hanno l'esigenza di disporre di strumenti di modellazione che favoriscano una rapida valutazione degli effetti che l'ecosistema adduce. È necessario, inoltre, che il modello si adatti a scenari differenti e a diverse scale spaziali. Pertanto si fa ricorso alle capacità computazionali dei calcolatori, dando vita a software applicativi capaci di determinare la fornitura dei servizi ecosistemici e stimare i benefici economici. Nel caso di un intervento che preveda l'introduzione di nuova vegetazione, per esempio la realizzazione di un giardino pubblico o un parco, questi strumenti consentono di ipotizzare molteplici configurazioni che si differenziano per posizione, numero e specie delle piante, determinare i servizi ecosistemici per ciascuna di esse in tempi relativamente brevi e definire la più conveniente.

1.4. Scopo della tesi

"Se andiamo avanti così chissà come si farà?" si chiedeva Celentano nel 1966 nella celebre Il ragazzo della via Gluck. Da allora, effettivamente, siamo andati avanti così, cioè con una crescita selvaggia della cementificazione del territorio, comportando un aggravamento delle condizioni ambientali nei centri urbani. La domanda potrebbe essere ripetuta oggi e potenzialmente tra altri 50 anni, eventualmente mutata in un'altra, tutt'altro che retorica: "Come si sta affrontando la problematica dell'espansione delle città?". Dai paragrafi 1.2 e 1.3 è emerso che il verde urbano rappresenta un'importante risorsa da tutelare e da gestire in modo da ottimizzare i benefici ambientali e sociali e i vantaggi economici che è in grado di fornire alla comunità. La valutazione di tali benefici, definiti servizi ecosistemici, e dei relativi ricavi monetari è al centro dell'interesse di numerosi ricercatori e, grazie alle nuove tecnologie, si stanno sviluppando dei software capaci di creare un modello dell'ecosistema e ottenere la fornitura di servizi apportati dalla vegetazione.

In questa tesi viene analizzata i-Tree, una suite di programmi applicativi che genera una stima dei servizi ecosistemici delle infrastrutture verdi nel contesto urbano. Nata negli Stati Uniti, si sta rapidamente estendendo verso i Paesi esteri, suscitando l'interesse di utenti in tutto il mondo. Nel capitolo 2 si riporta una descrizione della suite, esponendo le peculiarità e le funzionalità di ciascun programma, ponendo particolare attenzione agli

applicativi disponibili per un uso in Italia. Viene, inoltre, riservato uno spazio per illustrare i modelli di calcolo implementati nei software, le leggi fisiche ed empiriche su cui si basano gli algoritmi e i parametri che entrano in gioco.

Segue il capitolo 3, nel quale viene esposta l'applicazione dei programmi al caso del Parco Cascina Vigna di Carmagnola (TO), riportando i risultati ottenuti e concludendo con le opportune considerazioni.

Nella presente tesi ci si prefigge l'obiettivo di esaminare le caratteristiche della suite, le potenzialità dei programmi e i procedimenti da seguire per ottenere la valutazione dei servizi ecosistemici. Si mettono in luce le relazioni tra input e output, di modo che il lettore possa riconoscere i dati richiesti per ottenere le prestazioni desiderate e il livello di dettaglio sperato. L'applicazione all'area verde carmagnolese vuole essere un modesto esempio del funzionamento dei programmi sul territorio italiano, ma, nonostante le discrete dimensioni del parco, i risultati mettono in mostra il patrimonio ambientale ed economico dell'ecosistema in una località nelle vicinanze. Attraverso software e programmi che evidenziano i benefici forniti dalla vegetazione, come quelli che compongono il pacchetto i-Tree, si risalta l'importanza della pianificazione urbanistica sostenibile con l'intenzione di sensibilizzare la Pubblica Amministrazione, affinché si orienti verso una politica ambientale. Mediante l'analisi svolta in questa tesi si ha la speranza e la presunzione di incoraggiare il sussidio allo sviluppo degli strumenti che permettono la valutazione dei servizi ecosistemici.

2. I-TREE

2.1. Presentazione

i-Tree è una software suite che, come traspare dal logo (Figura 2.1), è finalizzata all'analisi del verde urbano, generando, attraverso un modello di calcolo, valutazione dei servizi ecosistemici offerti vegetazione alla città. Nata nel 2006 da una partnership tra diverse associazioni statunitensi (US Department of Agriculture, Davey Tree Expert Company, National Arbor Foundation, Society of Municipal International Society of Arboroculture e Casey Trees), i-Tree viene gestita dal Servizio Forestale degli Stati Uniti (US Forest Service [S3]), il quale mantiene in continuo aggiornamento la suite attraverso il potenziamento delle



funzionalità, l'aggiunta di nuove e il miglioramento della precisione dei risultati.

È un pacchetto di programmi open-source, usufruibile da professionisti e organizzazioni, ma anche da studenti e volontari. Ad ogni utente vengono forniti strumenti per la gestione degli spazi verdi in previsione di interventi esecutivi sul territorio che abbiano lo scopo di arricchire gli attributi dell'ecosistema e migliorare la qualità di vita dei cittadini. i-Tree si distingue da altri software che realizzano un analisi del verde urbano per le ampie potenzialità che mette a disposizione agli utenti al fine di facilitare l'attività di pianificazione territoriale e che si dimostrano utili anche per coordinare il servizio di manutenzione delle aree verdi. Per soddisfare le varie esigenze degli utenti, ciascun programma che compone la suite è pensato per esaminare un aspetto differente dell'ecosistema. Alcuni di questi sono presenti nella suite fin dalla sua creazione, altri sono stati aggiunti in seguito per esaminare nuovi aspetti del mondo vegetale, ma nonostante lo sviluppo e l'ampliamento della gamma di programmi, tutt'oggi i-Tree rimane fortemente radicata negli USA: oltre i confini statunitensi le analisi presentano maggiori imprecisioni, numerose funzionalità sono soggette a limitazioni oppure necessitano di procedure di integrazione dati e alcuni programmi risultano totalmente inaccessibili. Tuttavia, si stanno compiendo notevoli sforzi di adattamento agli altri Paesi. Gli sviluppatori dei software intenzionati ad orientare i-Tree verso un uso internazionale trovano un importante stimolo nel numero sempre crescente di utenti esteri che periodicamente usufruiscono dei programmi (Figura 2.2). Logicamente, l'evoluzione della suite per renderla adeguata al funzionamento in territorio straniero è commisurata anche, e soprattutto, agli incentivi di enti pubblici o privati delle nazioni ospitanti.



Figura 2.2: numero di utenti di i-Tree nel mondo (2018) [S2]

Una prima distinzione riguarda proprio le applicazioni disponibili solamente per il territorio statunitense da quelle che possono essere utilizzate in Italia, assunta come esempio di nazione estera.

2.1.1. Programmi per gli USA

L'intera suite è nata ed è stata sviluppata per analizzare il verde urbano basandosi sulle condizioni climatiche, ambientali e sociali degli Stati Uniti, pertanto tutti i programmi targati i-Tree possono essere utilizzati negli USA. Per di più, negli States possono essere sfruttate le piene potenzialità di ciascuna componente, raggiungendo la massima precisione dei risultati. Vengono descritti in questo paragrafo i programmi che possono essere utilizzati esclusivamente negli USA (salvo qualche eccezione usufruibile anche in Canada).

- *i-Tree Streets*: si concentra l'analisi sulla vegetazione presente in una strada urbana, definendo i servizi ecosistemici forniti delle piante, quali miglioramento della qualità dell'aria, controllo delle acque superficiali e risparmio energetico negli edifici adiacenti. Inserendo gli opportuni valori commerciali, il programma determina il tornaconto economico dalla presenza di vegetazione. Il modello implementato nel programma è eccessivamente influenzato dalle condizioni locali statunitensi per poterlo utilizzare in altri Paesi;
- *i-Tree Landscape*: è un'applicazione online che permette di perlustrare il territorio e individuare le caratteristiche demografiche, la disposizione delle aree verdi, i benefici che ne conseguono e i livelli di rischio (inquinamento, incendi, insetti, agenti patogeni,...). Grazie a questa raccolta di dati si possono inquadrare le zone dove è urgente intervenire con l'inserimento della vegetazione. Sono implementati la cartografia e i dati relativi agli USA;

- *i-Tree Design*: è un programma online, semplice da usare e dedicato agli utenti che sono interessati a valutare i benefici energetici apportati dall'ecosistema agli edifici, in particolare quelli residenziali. Attraverso un collegamento a Google Maps, si può localizzare la propria abitazione e vengono definite le specie arboree che forniscono la migliore soluzione. Si possono aggiungere alberi e modificare la posizione di quelli già presenti, ottenendo una stima degli effetti nel presente e nel potenziale futuro. Risulta uno strumento anche didattico per sensibilizzare i giovani a rispettare l'ambiente e valorizzarne l'importanza. L'utilizzo è limitato a USA e Canada;
- *i-Tree Species*: identifica la specie più adatta al progetto dell'utente in relazione all'importanza che viene attribuita ai diversi servizi ecosistemici (rimozione dell'inquinamento atmosferico, abbassamento della temperatura dell'aria, stoccaggio di carbonio, controllo delle acque superficiali,...). Viene assegnato un punteggio a ciascuno di questi benefici da 0 a 10 e, combinando i risultati, si sceglie la specie che soddisfi maggiormente le esigenze del progettista e che sia compatibile con le condizioni climatiche e con le necessità della località in esame. Si presenta potenzialmente usufruibile per gli utenti internazionali, specificando la temperatura minima e la durata della stagione di crescita delle piante. Tuttavia, le approssimazioni sono eccessive in una nazione estera e se ne sconsiglia l'uso;
- *i-Tree Planting*: assegnate le caratteristiche della vegetazione nelle vicinanze di un edificio (specie, numero di alberi, distanza dal fabbricato, tasso di crescita, mortalità, aspettative di vita) o ipotizzato uno scenario di progetto, viene definita la fornitura di servizi ecosistemici con particolare attenzione al risparmio energetico
 - generato dalla presenza del verde e dalla riduzione di emissioni di gas ad effetto serra. Il servizio è disponibile sono negli USA;
- i-Tree My Tree: è un'applicazione mobile che riconosce la posizione dell'utente (il quale deve essere fornito di un dispositivo abilitato alla geolocalizzazione) e, specificando la specie dell'albero o degli alberi, la distanza dall'edificio e l'orientamento rispetto ad esso, l'esposizione alla luce solare, il diametro del tronco, si possono velocemente quantificare i benefici che derivano dalle piante (Figura 2.3). My Tree è fruibile solo per gli alberi presenti in USA e Canada;
- *i-Tree Vue*: consente di accedere gratuitamente alle immagini satellitari del National Land Cover Database (NLCD) [S4] a cui vengono associate informazioni riguardanti il tipo di copertura del suolo, distinguendo quelle vegetate (con una classificazione di chioma, arbusti, vegetazione

MyTree Benefits (Mapple) Maple (Acer species) Serving size: 15.01cm dbh, Good condi	i-Tree
Total benefits for this year	\$210.19
Carbon Dioxide (CO ₂) Sequestered	i \$0.42
Annual CO ₂ equivalent of carbon ¹	10.79 kg
Storm Water	\$4.95
Rainfall intercepted each year	1735 liter
Air Pollution removed each year	\$189.79
Ozone	6.68 gram
Nitrogen dioxide	1.66 gram
Sulfur dioxide	0.69 gram
Large particulate matter ²	2.30 gram
Energy Usage each year*	\$15.03
Electricity savings (A/C)	32.55 kWI
Fuel savings (NG,Oil)	8.51 therm
Avoided Emissions	
Carbon dioxide	96.52 kg
Nitrogen dioxide	23.30 gram
Sulfur dioxide	146.29 gram
Large particulate matter ²	6.25 gram

Figura 2.3: report di i-Tree My Tree di un semplice esempio di progetto ipotizzato in Minnesota

- erbacea, terra nuda) da quelle impermeabili. Questo strumento applicativo risulta in fase di accorpamento con Landscape e, cosa più importante, va a sostituire la funzionalità di Canopy (vedi paragrafo 2.1.2) se si dispone dei dati NLCD, ossia su tutto il territorio statunitense;
- *i-Tree Harvest Carbon Calculator*: genera una stima della quantità di carbonio che può essere ottenuta dal raccolto di legname realizzato da una coltura arborea. Il ciclo del carbonio su cui è impostato il programma è rappresentato in Figura 2.4. Il programma ha validità solo negli Stati Uniti.

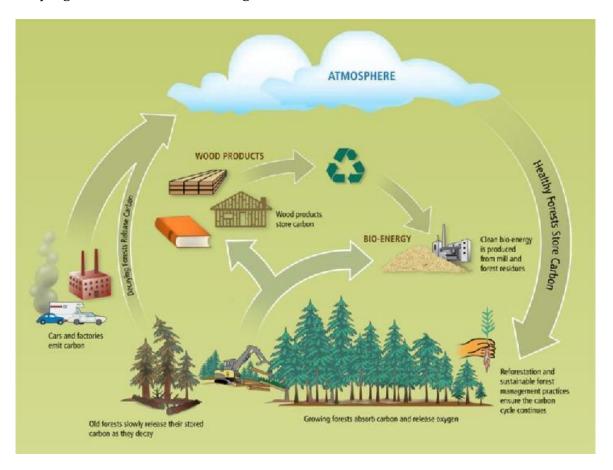


Figura 2.4: ciclo del carbonio, i-Tree Harvest [S2]

2.1.2. Programmi per l'Italia

Vengono qui riportati i programmi della suite che possono essere utilizzati nei Paesi al di fuori degli Stati Uniti, in particolare in Italia. Mediante questi strumenti è possibile determinare i servizi ecosistemici del verde urbano, valutando i benefici ambientali, quali rimozione degli inquinanti e produzione di ossigeno, e l'entità dei deflussi superficiali durante gli eventi meteorologici. Per ottenere risultati dall'analisi dei programmi è necessario dapprima caratterizzare la località in esame specificando una città statunitense con condizioni climatiche più simili possibili, dopodiché si inseriscono i dati misurati in campo per descrivere l'area che si sta studiando.

Segue una breve descrizione dei programmi disponibili in Italia.

- *i-Tree Eco*: sulla base di dati raccolti in sito (inventari completi della vegetazione o prelievo in zone distribuite casualmente sul territorio) e di serie temporali delle precipitazioni meteoriche e delle concentrazioni degli inquinanti, si crea un modello per valutare la distribuzione e le caratteristiche della foresta urbana e i servizi ecosistemici. Si ha, inoltre, la possibilità di realizzare una previsione futura sull'evoluzione della vegetazione in città sulla base delle condizioni attuali;
- *i-Tree Hydro*: distinguendo le superfici vegetate da quelle impermeabili, si determinano l'andamento dei deflussi e la qualità dell'acqua all'interno della zona in esame. Permette un confronto fra scenari diversi che variano fra loro proprio per la differente copertura del terreno. Il parametro fondamentale è la permeabilità superficiale del suolo, capace di modificare il ciclo idrologico del bacino;
- *i-Tree Database*: è uno strumento accessorio a i-Tree Eco che si pone al servizio degli utenti internazionali, ossia coloro i quali realizzano un progetto locato al di fuori di USA, Messico, Regno Unito, Canada e Australia. In questi Paesi i dati necessari per l'utilizzo di i-Tree Eco sono già inglobati nel programma. Con questa applicazione online si possono trasmettere a U.S. Forest Service i dati relativi ad una nuova località: serie temporali delle altezze di pioggia e delle concentrazioni di alcuni composti inquinanti. I dati vengono elaborati per impostare la corretta impaginazione elettronica e convalidati, dopodiché verranno integrati all'interno di una nuova versione di Eco e resi usufruibili a tutti gli utenti per l'applicazione del modello. È altresì presente nel Database una ricca raccolta di specie vegetali a cui gli utenti possono accedere e aggiungere nuovi elementi.
 - Questo sistema apre la prospettiva di un utilizzo mondiale, sebbene le tempistiche della fase di approvazione dei dati possano essere piuttosto prolungate;
- *i-Tree Canopy*: programma applicativo online subordinato a i-Tree Hydro. Utilizza immagini aeree (Google Maps) o shapefile in GIS per permettere agli utenti di specificare il tipo di copertura del suolo in un numero consistente di punti, scelti a caso sull'area di studio, così da effettuare un'analisi statistica e definire la suddivisione del territorio da implementare nel modello di Hydro;
- *i-Tree Storm*: crea una valutazione dei danni conseguenti ad una tempesta o, comunque, ad un evento meteorologico eccezionale. Si stimano i costi e i tempi per il ripristino dei danni causati alla vegetazione. Il modello si adatta ad aree di dimensioni e tipologie differenti e, soprattutto, può essere utilizzato al di fuori degli Stati Uniti in quanto non vengono richiesti dati regionali.

Nel seguito viene spesso omesso "i-Tree" quando si menziona il nome dei programmi.

Eco risulta inutilizzabile per una nuova località senza il contributo di dati del Database, così come quest'ultimo può rivelarsi superfluo senza l'applicazione realizzata dal primo (Figura 2.5). Quando, al contrario, si hanno già a disposizione i dati, o perché riferiti ad una città che ricade in uno dei Paesi succitati oppure perché inseriti in precedenza da un

altro utente, si può direttamente realizzare una simulazione con Eco. Questa interazione tra l'applicativo e il Database, descritta più nel dettaglio nel paragrafo 2.2, si dimostra totalmente indipendente dagli altri programmi, poiché per questi ultimi l'inserimento dei dati avviene per via diretta.

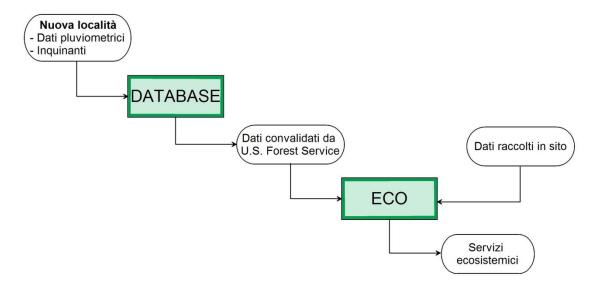


Figura 2.5: schema del sistema Eco+Database per le nuove località

L'utilizzo di Hydro, del tutto separato da Eco e dal Database, è vincolato alle superfici delle diverse coperture del terreno, espresse in percentuale, determinate con Canopy (Figura 2.6). Tuttavia, nel caso in cui si abbiano a disposizione tali dati, derivanti da un rilievo in sito oppure contenuti in un archivio, Hydro si rende indipendente da Canopy e dalle altre componenti. Canopy consente di realizzare delle analisi che possono risultare a sé stanti, nel caso in cui l'obiettivo del progetto si limitasse a conoscere la distribuzione dei tipi di copertura del territorio. Il funzionamento di entrambi i programmi viene approfondito nel paragrafo 2.3.

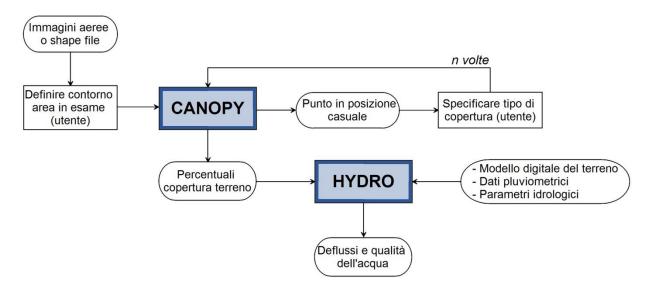


Figura 2.6: schema del sistema Hydro+Canopy

Storm è suddivisa in più componenti: un'applicazione utilizzabile dal dispositivo mobile per la raccolta dati, un foglio di calcolo per la loro elaborazione e un applicativo per il trasferimento delle informazioni da una componente all'altra. Ciò nonostante, nessun altro programma interviene nella procedura di analisi.

Per tutti i programmi che fanno parte della suite di i-Tree sono presenti sul sito web [S2] informazioni, manuali, indicazioni utili al loro utilizzo, video e immagini illustrativi, progetti di esempio, articoli scientifici correlati. È, inoltre, disponibile un Forum, dove vengono aperti dei ticket nei quali si possono reperire delucidazioni e consigli per un corretto uso dei programmi.

In questa tesi vengono approfondite nel dettaglio le applicazioni che rientrano nella voce "Programmi per l'Italia", così da mettere in rilievo ciò che un utente italiano può concretamente fare con la suite i-Tree.

Si descrivono nei paragrafi 2.2 e 2.3 le caratteristiche dei software Eco e Hydro, le funzioni, i dati richiesti in input e i risultati restituiti in output. Particolare attenzione viene posta ad i-Tree Hydro, poiché le applicazioni di questo programma rientrano maggiormente nelle competenze del settore dell'Ingegneria Idraulica. Vengono, inoltre, esaminate le applicazioni ausiliarie Database e Canopy per delineare come intervengono nelle analisi di Eco e Hydro, rispettivamente. Si vogliono fornire al lettore le indicazioni necessarie per l'utilizzo dei programmi in Italia, affinché possa comprendere il loro funzionamento e gestire in modo competente gli strumenti in essi contenuti. Nell'applicazione di Eco e di Hydro al Parco Cascina Vigna si mostra la procedura da seguire per ottenere la stima dei servizi ecosistemici e vengono esplicitati in forma grafica e numerica i termini annunciati nella descrizione dei programmi.

i-Tree Storm, invece, viene tralasciato perché si reputa fuorviante dal tema centrale della tesi.

2.2. i-Tree ECO

i-Tree Eco è un programma applicativo in grado di acquisire dati raccolti in sito e quantificare i benefici ambientali ed economici che la popolazione arborea all'interno di un centro abitato apporta alla comunità. Il programma, inoltre, ha carattere previsionale per quanto riguarda sia la crescita della foresta urbana in termini di numero di alberi e di copertura fogliare, sia l'evoluzione della biodiversità e dei servizi ecosistemici. Il software è in continuo aggiornamento e la versione più recente è Eco v6.

i-Tree Eco si basa sul modello Urban Forest Effects (UFORE) [25], in cui sono contenute equazioni convalidate (peer review) implementate in metodi di stima solidi e corroborati da migliaia di casi pratici. Il modello non pone particolari vincoli nelle dimensioni dell'area di studio, benché oltrepassare l'estensione di una città delle proporzioni di un capoluogo italiano possa condurre a risultati inconsistenti. Rimangono, comunque, svariati campi di applicazione, dalla metropoli ai giardini delle abitazioni, e questo permette un uso del software che spazia nei settori più disparati. Per esempio, si dimostra molto utile in fase di pianificazione urbanistica, agevolando i funzionari tecnici responsabili alle aree verdi nella valutazione dei servizi ecosistemici delle colture urbane presenti o di quelle che possono essere piantumate. Con i valori numerici derivanti dalle analisi si può dare prova dell'efficacia del verde inserito nei centri abitati, incentivando i Comuni a seguire una pianificazione più "ecologica". Può essere altresì utilizzato da studiosi e ricercatori come mezzo per ottenere risultati attendibili nello studio della città e delle sue risorse. In ambito progettuale si possono effettuare delle simulazioni esaminando i vantaggi della vegetazione nelle vicinanze di una struttura residenziale, di un ufficio o di una scuola. Si può adeguare il modello alle condizioni della propria area di studio attraverso l'inserimento di dati climatici (temperatura, intensità pluviometrica) e ambientali (concentrazione di sostanze inquinanti nell'atmosfera) e altri parametri che verranno descritti nei paragrafi 2.2.1 e 2.2.3, personalizzando dettagliatamente l'analisi realizzata con Eco.

2.2.1. i-Tree Database

i-Tree Database è un'applicazione online posta al servizio degli utenti che intendono realizzare un'analisi al di fuori di quei Paesi per cui sono già stati inseriti i dati all'interno di i-Tree Eco, ossia USA, Canada, Messico, Regno Unito e Australia. Ricopre, quindi, una funzione ausiliaria ad Eco, rendendolo accessibile ai cosiddetti utenti internazionali.

Questo servizio rappresenta il vero fulcro dell'abbattimento dei confini geografici della suite e in particolare di Eco ed è ciò che ha permesso a quest'ultimo di figurare come il software più all'avanguardia, in tal senso, del pacchetto i-Tree.

Il Database si suddivide in due sezioni: le specie e le località. La prima consiste in una ricca raccolta di specie vegetali (più di 6500 tra alberi e arbusti), con annesse le informazioni indispensabili al funzionamento del programma, quali classificazione botanica (nome scientifico e nome comune, genere, famiglia, classe), densità fogliare, tasso di crescita, caratteristiche delle foglie (forma, dimensione, periodo di caduta). In caso di mancanza di una particolare specie, la si può incorporare nel Database inserendone i dati tramite l'applicazione online. Segue una fase di formattazione e convalida dei dati da parte di U.S. Forest Service [S4], agenzia sotto la gestione del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti. Al termine di questo passaggio, la nuova specie viene aggiunta alla raccolta di quelle già presenti e resa automaticamente disponibile a tutti gli utenti per qualsiasi progetto.

Nella seconda sezione sono comprese tutte le località già inserite nel Database che comprendono non solo le nazioni succitate, ma anche le nuove città per cui gli utenti hanno inserito i dati. Quest'ultime vengono registrate nella New City List, un elenco reso pubblico sul sito web di i-Tree, da cui gli utenti possono prendere nota delle località ora disponibili all'utilizzo di Eco.

La procedura per aggiungere una nuova località prevede di specificare la latitudine e la longitudine (si individua la città dalle immagini satellitari) e l'altitudine. È richiesto di indicare una *regione climatica* negli USA (Figura 2.7) all'interno della quale l'utente individua una città che abbia caratteristiche climatiche più simili possibili alla nuova località. Per distinguere questa città esiste un procedimento sistematico che si basa su un parametro, l'errore quadratico medio (RMSE), calcolabile nel seguente modo [26]:

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

dove

- HDD_{SC} e HDD_{RC} sono gli Heating Degree Days rispettivamente della città soggetta ad analisi e della città statunitense di riferimento. Rappresenta un dato riassuntivo delle oscillazioni delle temperature dell'aria in funzione del riscaldamento degli edifici [27];
- CDD_{SC} e CDD_{RC} sono i Cooling Degree Days rispettivamente della città soggetta ad analisi e della città statunitense di riferimento. Anche in questo caso si dà un'indicazione delle temperature esterne in base al raffreddamento di un edificio [27];
- AP sono le altezze di pioggia annue;
- *TM* (Tree Match) è un fattore che risulta dalla comparazione delle 22 principali specie vegetali delle due località e sarà tanto più vicino allo zero quanto più gli ecosistemi si assomigliano;

• *a, b, c, d* sono fattori di ponderazione per stabilire l'importanza assegnata ai quattro diversi parametri per cui vengono moltiplicati e saranno chiaramente influenzati dalla precisione con cui questi sono ricavati.

La località che conduce al minimo valore di RMSE rappresenta la migliore corrispondenza.

Con questo processo si determinano le caratteristiche energetiche della zona in esame e l'influenza che hanno gli alberi su di esse, ipotizzando che siano le medesime della città di riferimento. È un metodo che può risultare oneroso e complesso, ma che presenta risultati precisi. Tuttavia, il Database richiede semplicemente di inserire la regione climatica di riferimento, ma non specifica in quale modo essa debba essere riconosciuta, pertanto può essere scelta approssimativamente dall'utente. Si precisa, comunque, che queste informazioni vengono trasmesse ad Eco e le approssimazioni delle analisi realizzate da quest'ultimo sono tanto rilevanti quanto si discostano le caratteristiche della località estera da quelle della città americana.



Figura 2.7: regioni climatiche negli USA, i-Tree Streets [S2]

Il programma esegue in automatico il calcolo dell'albedo medio della superficie della località utilizzando i seguenti dati: temperatura massima estiva, altezza di pioggia annua, altezza di neve annua, percentuale di copertura vegetativa. Non si richiedono specifici dati ma semplicemente se i valori stagionali sono superiori o inferiori a valori prefissati: per

esempio, si seleziona "Si" nel campo relativo alle piogge abbondanti se le precipitazioni cumulate in un anno sono maggiori di 1000 mm.

Si richiede, inoltre, di specificare uno Stato che presenti uno strato di ozono con spessore comparabile con quello della località di interesse e, allo stesso tempo, latitudine affine. Lo spessore dello strato di ozono è un dato che può essere reperito sul portale "Giovanni" della NASA [S5].

Esistono, poi, alcuni campi facoltativi, dove viene richiesto di inserire la temperatura minima, il numero di giorni in presenza e in assenza di foglie, il fuso orario e i kilogrammi di CO₂ emessi per ogni kilowattora di energia elettrica consumato.

Alla località appena descritta si associano le altezze di pioggia e le concentrazioni nell'aria di polveri sottili ($PM_{2.5}$), monossido di carbonio (CO), ozono (O_3), biossido di azoto (NO_2) e biossido di zolfo (SO_2). Ciascuno di questi dati deve essere misurato con frequenza oraria per la durata di almeno un anno solare, dal 1 gennaio al 31 dicembre. I documenti da caricare online devono essere dei fogli di calcolo nei quali vengono descritte tutte le informazioni necessarie, seguendo una precisa formattazione. Un file di esempio scaricabile dal sito di i-Tree facilita la corretta compilazione dei dati (Figura 2.8).

Year	Month	Spnan	NationName	PrimaryPartitionName	TertiaryPartitionName	Addr	Units	Quantity	Day	Hour
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	1
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	_
2013	1	CO	United Kingdom		London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom		London	MY1	7	0.349161	1	10
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	11
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	12
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	13
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	14
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	15
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	16
2013	1	CO	United Kingdom		London	MY1	7	0.349161	1	17
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	19
2013	1	CO	United Kingdom		London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	21
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	23
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	1	(
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	2	_
2013	1	CO	United Kingdom		London	MY1	7	0.349161	2	
2013	1	CO	United Kingdom		London	MY1	7	0.349161	2	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	2	
2013	1	CO	United Kingdom	England	London	MY1	7	0.349161	2	
▶ COpp	m / 03p	pm / N	IO2ppm / SO2ppm	n / PM10 / PM2.5 / 🐫						[] ◀

Figura 2.8: inquinanti registrati a Londra nel 2013, esempio di formattazione dati corretta [S2]

Se non si dispone dei dati relativi alle precipitazioni, Eco non effettuerà una valutazione dei deflussi idrici in presenza di vegetazione. Similarmente, il modello eseguirà una stima dei benefici apportati dal verde urbano relativi esclusivamente agli elementi inquinanti inseriti nel Database: nel caso più estremo, per nessuno di essi.

Si ha anche in questo caso la fase di controllo e di approvazione dei dati da parte di U.S. Forest Service, dopo la quale la nuova località verrà incorporata all'interno di Eco grazie ad un aggiornamento periodico del software. Eseguendo l'update, tutti gli utenti potranno usufruire dei nuovi dati, pertanto viene consigliato di controllare frequentemente la disponibilità di una nuova versione del programma.

Il sistema appena descritto ha permesso l'accesso ad i-Tree agli utenti internazionali, garantendo l'attendibilità dei dati e, di conseguenza, dei risultati di Eco. Tuttavia, il metodo presenta ancora delle tempistiche molto prolungate, arrivando a diversi mesi se si considera la raccolta dati e il periodo di convalida. Per di più, se i dati presentano delle imprecisioni nella formattazione o nei contenuti, i tempi si dilatano ulteriormente non solo per l'utente che li ha inviati, ma anche per chi sta conducendo la medesima procedura.

2.2.2. Pianificare il progetto

Giunti al termine dell'inserimento dei dati nel Database e avendo a disposizione la località di interesse, si può tornare sulla piattaforma di Eco. Si presenta, dunque, la necessità di stabilire alcune peculiarità del modello che caratterizzeranno l'approccio da seguire nelle fasi successive.

Il principale parametro di tutta l'analisi è l'estensione dell'area di interesse: quando si considerano superfici delle dimensioni di un quartiere o di una città si decide per un **plot-based sample inventory**; se, invece, si analizzano aree di grandezza modesta, come possono essere parchi, giardini e cortili, si può ricorrere ad un **complete inventory**. Durante la definizione del progetto è necessario comunicare al programma l'opzione scelta poiché da questa decisione dipendono diversi aspetti nel corso dell'analisi.

Plot-based sample inventory

Si prevede di raccogliere i dati in sito in zone circolari di circa 400 m² (plots o aree di campionamento) disposte casualmente sull'area di progetto mediante la localizzazione in coordinate GPS dei loro centri. Questa opzione viene generalmente scelta dagli utenti che intendono svolgere un'analisi a larga scala, poiché si assume che le condizioni presenti all'interno dei plots rispecchino quelle dell'intera area in esame, ipotesi che consente di evitare il rilevamento di zone molto estese ed avere un netto risparmio di tempo e di denaro. La casistica si ramifica ulteriormente in due strade:

• Stratification: si suddivide il territorio in sottounità (per esempio i quartieri di una città) per confrontarne il comportamento in base alla classe d'uso. La suddivisione può avvenire prima di raccogliere i dati, distribuendo le aree di campionamento in base all'interesse e alla variabilità delle sottounità (parchi e giardini avranno maggior rilievo nel modello), oppure dopo, localizzando i plots casualmente. Quest'ultima scelta permette di modificare nel tempo i confini delle sottounità,

ipotizzando una futura variazione dell'uso del suolo, senza dover ripetere le misurazioni in campo, a discapito di una riduzione di precisione. Nei manuali si consiglia di non eccedere con il numero delle sottounità, in quanto potrebbero presentarsi problemi di sovrapposizione dei plots, considerando che devono essere presenti in numero maggiore o uguale a venti per ogni partizione di terreno.

No statification: le aree di campionamento vengono disposte casualmente su tutta l'area di interesse. Questo può condurre ad una rappresentazione non consona della foresta urbana in quanto si possono avere concentrazioni differenti di vegetazione, fattore di cui non si terrebbe in considerazione. È un metodo più semplice che permette di ridurre i tempi per le misurazioni in sito, specialmente per la distinzione delle diverse sottounità.

Il numero e la disposizione dei plots dipendono dagli obiettivi e dalla precisione richiesta dalle stime, nonché dalla disponibilità di dati. Anche la dimensione può essere modificata per particolari esigenze. L'accuratezza delle analisi è direttamente proporzionale al numero delle aree di campionamento. In Figura 2.9 viene rappresentata l'imprecisione della stima tramite l'errore standard del numero totale di alberi presenti in una città in funzione del numero dei plots. È, comunque, conveniente incrementare del 5-10% il numero di plots stabilito in fase di impostazione del progetto in modo da prevenire delle possibili zone inaccessibili al rilievo su cui ricade un'area di campionamento.

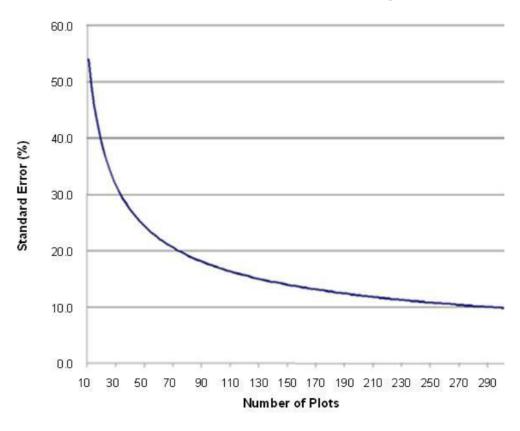


Figura 2.9: errore standard del numero di alberi in una città, i-Tree Eco [S2]

La disposizione casuale dei plots può essere predisposta con qualsiasi strumento, anche manualmente su una cartografia cartacea. i-Tree mette a disposizione degli utenti un sistema, implementato in Eco, in grado di collocare casualmente i plots con l'ausilio di Google Maps. Il perimetro dell'area di studio può essere direttamente tracciato dall'utente, oppure inserito attraverso uno shapefile. L'algoritmo che genera posizioni random è valido sia per i progetti "stratificati" che per quelli "non stratificati".

Complete inventory

Quando si considera un'area di discrete dimensioni si può prevedere la stesura di un dell'inventario di ogni albero presente. L'acquisizione dei dati può dimostrarsi onerosa ma si ottengono risultati molto più precisi rispetto al caso precedente dal momento che tutta la superficie di interesse viene rilevata. Se già si dispone di un inventario completo, lo si può importare direttamente in Eco, utilizzando un foglio di calcolo (Excel), un database Access o un file in formato CSV (comma separated values).

Anche con questa configurazione si può scegliere di suddividere l'area di progetto in sottounità. Le caratteristiche sono le medesime del caso precedente: la "stratificazione" ha lo scopo di confrontare i risultati di zone con peculiarità diverse (quartieri, uso del suolo). La condizione secondo cui questa opzione è preferibile per superfici ridotte deriva dall'esigenza di limitare le tempistiche della campagna di misura: se, invece, si dispone abbondantemente di risorse, questo approccio può essere applicato anche ad aree di estensione maggiore, migliorando indubbiamente la precisione dell'analisi.

Viene riportato in Figura 2.10 un diagramma di flusso che descrive il percorso da seguire nella definizione delle caratteristiche principali del progetto, in modo da indirizzare il programma verso l'approccio che più soddisfa le esigenze dell'utente.

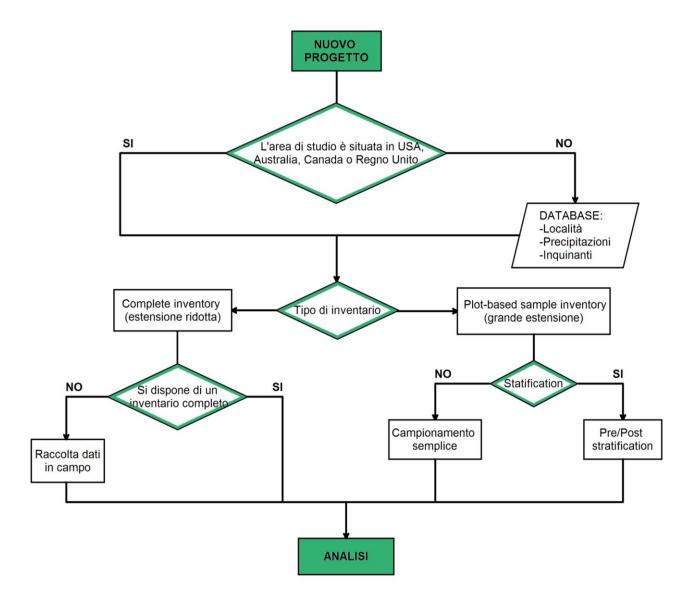


Figura 2.10: definizione delle caratteristiche del progetto

2.2.3. Input

Per gli utenti internazionali è necessario inserire nel Database i dati relativi alla località di interesse come descritto nel paragrafo 2.2.1. Segue, poi, una seconda fase di inserimento dati che prevede la raccolta di misure sul campo. In particolare, la versione 6 di i-Tree Eco ha subito delle modifiche, riducendo a due il numero di dati indispensabili al funzionamento del programma:

- specie
- diametro del fusto a 4.5 piedi dal piano campagna, circa 1.37 m (DBH, diameter at breast height)

Questa semplificazione ha permesso di limitare notevolmente i tempi delle campagne di misura in sito, tuttavia presenta delle limitazioni, in quanto i dati non misurati vengono stimati o sostituiti con valori di default. È, quindi, fortemente consigliata l'acquisizione dei seguenti ulteriori dati:

- attuale uso del suolo
- altezza totale dell'albero rispetto al piano campagna
- altezza massima della parte viva (differisce dalla precedente nel caso in cui la cima della chioma sia appassita)
- altezza della base della chioma
- larghezza della chioma
- percentuale del volume della chioma non occupato da rami o foglie (definita "mancante")
- salute del fogliame
- esposizione all'irraggiamento solare

I servizi ecosistemici vengono stimati sulla base di questi otto parametri, perciò la precisione dei risultati dipende fortemente dall'accuratezza con cui vengono realizzate le misure.

Per quanto riguarda gli arbusti, si devono raccogliere le misure della specie, dell'altezza, della percentuale di superficie ricoperta dagli stessi e della percentuale di volume non occupato da rami o foglie. Per il programma gli arbusti hanno un diametro alla base minore di 2,54 cm (1 in), le specie erbacee, invece, hanno un'altezza inferiore a 30.5 cm (12 in).

Se si sceglie di improntare il progetto sulla modalità Plot-based sample inventory (di seguito indicata con PSI), si richiede di indicare la **percentuale di superficie accessibile e misurabile** e la **percentuale di superficie ricoperta dalla chioma degli alberi** all'interno di ogni plot.

Le caratteristiche dei dati e le modalità di misurazione in sito sono descritte nell'Appendice 1.

Ulteriori dati di cui è necessario disporre per il PSI sono gli shapefile creati in GIS, sovrapposti a immagini aeree, che identifichino l'area di interesse. Su tali rappresentazioni vengono riportate le posizioni dei plot (centro e contorno) e ogni altra indicazione utile al rilievo in sito. Sono, inoltre, adatti per calcolare le percentuali di superficie richieste.

Si possono ancora inserire i valori commerciali di alcune risorse trattate dal programma in vigore nel Paese estero in cui si realizza l'analisi: costo medio nazionale del carbonio, del monitoraggio delle piogge e dei deflussi, della rimozione degli inquinanti, dell'elettricità e dei carburanti. In questo modo, Eco è in grado di realizzare un bilancio economico per scenari diversi.

2.2.4. Output

La configurazione del progetto e i dati introdotti vengono inviati al Server di i-Tree che esegue la simulazione. Questa fase può protrarsi per un lungo periodo (anche mesi). La durata dipende dall'entità del progetto e dal numero di utenti in attesa degli esiti della simulazione. Al termine vengono restituiti in output rapporti dettagliati con allegati grafici e tabelle esportabili, su cui sono riportati i risultati dell'analisi:

- numero di alberi
- distribuzione delle specie vegetali
- copertura fogliare e biomassa della chioma
- concentrazione degli inquinanti presenti nell'atmosfera e rimozione degli stessi grazie alla vegetazione (solo per i composti inquinanti inseriti nel Database)
- sequestro e stoccaggio di carbonio
- deflussi idrici con valutazione della riduzione delle portate superficiali (solo nel caso in cui siano state inserite le altezze di pioggia nel Database)
- produzione di ossigeno
- effetti sui raggi UV
- emissioni di composti organici volatili (COV)⁴

In Tabella 2.1 sono riportati i dati richiesti per ciascun output.

	Copertura fogliare e biomassa	Rimozione inquinanti	Seq. e stock carbonio	Deflussi idrici	Produzione ossigeno	Effetti UV	Emissioni COV
Specie	Х	х	х	х	х		х
DBH			х				
Uso del suolo		Х	Х		Х		
Altezza totale	Х	х	х	х	х		х
Altezza della base della chioma	х	х	х	х	х		х
Larghezza chioma	Х	х	х	х	х		х
Percentuale mancante della chioma	х	х	х	х	х		х
Salute del fogliame			х				
Esposizione irraggiamento			х				х
Percentuale copertura arborea		х		х		х	

Tabella 2.1: dati richiesti per i servizi ecosistemici

-

⁴Composto organico volatile (COV): qualsiasi composto organico che abbia a 293,15 °K una pressione di vapore di 0,01 KPa o superiore, oppure che abbia una volatilità corrispondente in condizioni particolari di uso [28].

Nel paragrafo 2.2.6 vengono descritti più dettagliatamente i modelli che utilizzano i dati misurati in sito per generare i risultati appena elencati. I dati specificati in Tabella 2.1 che non sono stati inviati dall'utente al Server (esclusi specie e diametro) vengono assunti dal programma come valori di default.

Si hanno, in aggiunta, delle particolari funzionalità, estensioni del programma, in grado di fornire dei servizi aggiuntivi, previo inserimento di ulteriori e specifici dati, riassunti in Tabella 2.2:

- Energy: si determina l'influenza che esercita la presenza degli alberi sul consumo energetico degli edifici riducendo la temperatura d'estate, fornendo riparo dal vento e generando ombra su di essi. È necessario individuare la posizione della vegetazione rispetto agli edifici (distanza e direzione). I parametri con cui vengono stimati gli effetti energetici si basano su emissioni, caratteristiche strutturali, modalità costruttive e consumi energetici degli edifici tipici delle località statunitensi. Un utilizzo internazionale comporta risultati incerti;
- Wildlife (disponibile per PSI): si valuta la sostenibilità dell'area di studio nei confronti di nove specie di uccelli sulla base delle caratteristiche del loro habitat naturale. Si richiede di misurare la superficie coperta dagli alberi e dagli arbusti e la composizione del terreno (vedi Appendice 1);
- *Shrubs* (disponibile per PSI): viene realizzata un'analisi dei benefici apportati dagli arbusti allo stesso modo con cui si considerano gli alberi. Devono essere misurati in campo le specie, l'altezza, la percentuale di terreno ricoperta dagli arbusti e la percentuale di volume "mancante".

	Energy	Wildlife	Shrubs
Specie	Х		Х
DBH		х	
Uso del suolo		х	
Altezza totale	х	х	х
Altezza della base della chioma			
Larghezza chioma			
Percentuale mancante della chioma	х		х
Salute del fogliame	х	х	
Esposizione irraggiamento			
Percentuale copertura arborea	х	х	
Percentuale copertura arbustiva		х	х
Percentuale suolo edificato	х		
Distanza dall'edificio	х		
Direzione rispetto all'edificio	х		
Composizione del terreno		Х	

Tabella 2.2: dati necessari per le funzionalità aggiuntive

Ciascuna delle estensioni citate in Tabella 2.2 porta a precisioni dei risultati crescenti con la quantità di dati e con l'accuratezza con cui vengono raccolti in campo.

La scelta di usufruire di una o più di queste funzionalità comporta un'indagine più completa, ma allo stesso tempo un impiego maggiore di tempo e di risorse, in quanto risultano doverosi dei rilevamenti più approfonditi per integrare le informazioni necessarie. Per tale motivo è opportuno indirizzare il proprio progetto verso l'uso di uno solo di questi servizi in base alle finalità della propria ricerca.

2.2.5. Servizi supplementari

In i-Tree Eco sono stati inclusi due strumenti utili nella gestione e nella manutenzione del verde urbano. I modelli su cui si fondano sono capaci di realizzare delle stime molto dettagliate, le quali, nuovamente, hanno maggior validità negli USA rispetto agli altri Paesi. L'utilizzo di tali applicazioni non è banale e richiede delle conoscenze specifiche nel settore della botanica che esulano da questa tesi, pertanto si presenterà semplicemente una panoramica generale del loro funzionamento e delle loro potenzialità.

+ Forecast

È una componente aggiuntiva di Eco capace di generare una previsione di quella che potrebbe essere la foresta urbana nel futuro in funzione dei tassi di crescita e di mortalità e delle condizioni attuali dell'area verde. Lo scenario futuro può anche essere modificato introducendo degli eventi sfavorevoli all'ecosistema, quali tempeste o epidemie parassitarie, e valutando la criticità del danno subito. Oppure si possono prevedere delle piantumazioni o delle variazioni dell'attuale vegetazione.

Il suo utilizzo può prescindere dall'inserimento di particolari dati, in quanto il sistema riproduce comunque una simulazione servendosi di valori di default.

Le variabili del modello che possono essere personalizzate sono le seguenti (tra parentesi sono indicati i valori di default)

- numero di anni della previsione (30), che equivale al numero di previsioni calcolate dal programma;
- numero di giorni all'anno con temperatura maggiore a 0°C (150), utile a stimare la crescita degli alberi, in particolar modo del diametro;
- tasso di mortalità annua (varia tra 3 e 50% in funzione dello stato di salute degli alberi), espresso in percentuale;

Quando si vuole aggiungere una piantagione futura è necessario comunicare al programma il numero di alberi introdotti ogni anno, il loro diametro, l'anno di inizio e l'anno di fine piantumazione. La specie dei nuovi alberi deve corrispondere a quella presente attualmente sul territorio, non è possibile modificare questo parametro.

Per ricreare un'epidemia parassitaria si devono inserire il tipo di organismo nocivo o il nome della malattia, l'anno di inizio e la durata, il tasso di mortalità annua modificato dal nuovo scenario.

Infine, si possono introdurre degli eventi meteorologici di intensità rilevante, specificando il tipo di evento, l'anno in cui si presenta e il nuovo tasso di mortalità annua.

Queste ultime tre opzioni possono essere utilizzate anche in contemporanea. L'applicazione Forecast lascia ampia libertà di scelta all'utente su come personalizzare il proprio progetto, garantendo, in ogni circostanza, l'ottenimento di risultati finali.

+ Pests

È presente un sistema in grado di determinare il danno causato alla foresta urbana da una potenziale epidemia parassitaria in funzione della suscettibilità delle specie presenti sul territorio analizzato. Non necessita di specifici dati in ingresso al di fuori della specie e del diametro delle piante.

Si ha, poi, il protocollo i-Tree Pest Detection (IPED), incorporato in Eco e indipendente dal sistema precedente, che assimila i dati reperiti in campo riguardo a segni e sintomi di parassiti (Figura 2.11) e malattie e crea un resoconto sulla salute degli alberi. L'obiettivo è quello di fornire uno strumento di conoscenza e di prevenzione delle epidemie parassitarie, instaurando un sistema di controllo e di intervento tempestivo con il fine ultimo di ridurre i costi per le cure o, eventualmente, per la sostituzione degli alberi che hanno subito danni irreversibili.

Le possibili cause dell'infestazione, dato da inserire nel protocollo, sono l'inadeguata manutenzione, come l'uso di concimi e trattamenti chimici non idonei, il ristagno d'acqua, l'esposizione alla luce del Sole e, più in generale, le condizioni climatiche avverse al tipo di vegetazione.

i-Tree Eco permette di effettuare delle analisi approssimative, oppure di inserire delle informazioni dettagliate conducendo una ricerca più approfondita. L'accuratezza con cui vengono effettuati i sopraluoghi per identificare la salute degli alberi definisce il livello di

dettaglio dei risultati: nel caso più contenuto si avrà un semplice elenco dei parassiti/malattie visionati in sito, ma le stesse informazioni basilari possono essere ampliate e personalizzate, andando a specificare i sintomi che presentano le piante contagiate e le cause che li hanno provocati. La cura e la precisione dell'inventario possono essere gestite dall'utente, tenendo in considerazione che le dimensioni dell'area di studio incidono sensibilmente sui tempi e sui costi del rilevamento. La capacità dell'utente nel riconoscere le malattie e i parassiti che infestano le piante in base al quadro



Figura 2.11: afidi degli agrumi, Terra e Vita [29]

sintomatologico è essenziale nella solidità dell'analisi, pertanto può essere opportuno affidarsi ad un agronomo in questa fase.

Viene descritto in Figura 2.12 uno schema riassuntivo del funzionamento di Eco e delle applicazioni ad esso collegate.

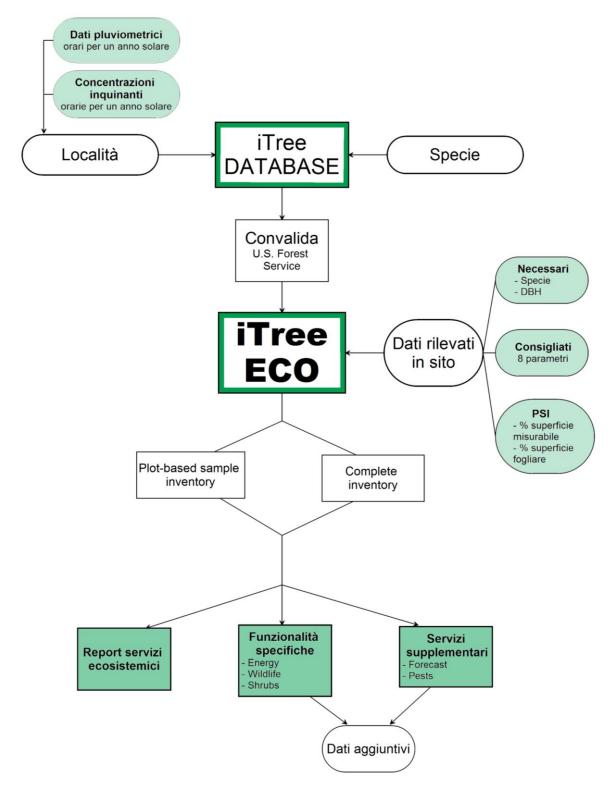


Figura 2.12: schema di i-Tree Eco

2.2.6. Modello

Il fulcro centrale di i-Tree Eco è il modello UFORE (Urban Forest Effects), i cui algoritmi permettono di ricostruire la struttura della foresta urbana e quantificare i servizi ecosistemici apportati dal verde [25].

Il modello è strutturato in cinque componenti, ciascuna delle quali interessa un aspetto differente del complesso vegetativo.

→ UFORE-A: Anatomia della Foresta Urbana

Si determina la struttura della foresta urbana, individuando la disposizione della vegetazione nell'area interessata dal progetto e le caratteristiche delle piante e degli arbusti, tra cui numero, specie, densità, salute, LAI⁵. Questo passaggio può sembrare sottinteso quando si ha un complete inventory, dove è l'utente stesso a fornire questi dati, ma risulta essenziale nel caso di PSI, dove si ha un prelievo campionario di dati sul territorio ed è necessario estendere le statistiche a tutta la zona di progetto.

La copertura fogliare e la biomassa della chioma vengono calcolate per ogni albero rilevato considerando le equazioni di regressione definite da Nowak per numerose specie urbane [31].

→ UFORE-B: Emissioni di COV Biogenici

Viene stimata l'entità dei composti organici volatili (COV o VOC) prodotti dalle piante. Tali sostanze rappresentano una fonte di inquinamento atmosferico attraverso la formazione di ozono, monossido di carbonio e altri aerosol troposferici [32]. L'emissione dei COV biogenici di origine vegetale dipende principalmente dalla specie dell'albero, dalla biomassa della chioma, dalla temperatura dell'aria e dall'irraggiamento solare [25].

La formazione di ozono derivante dai composti organici volatili viene quantificata con valori prefissati del rapporto fra i grammi di O_3 prodotti e i grammi di COV emessi (isoprene, monoterpeni e atri) [33].

→ UFORE-C: sequestro e stoccaggio di carbonio

Si valuta la capacità delle piante di rimuovere i gas serra dall'atmosfera sfruttando il fissaggio del carbonio all'interno della propria biomassa durante il processo di crescita. Per quantificare la biomassa sviluppata nel tempo da ogni albero misurato si fa

_

⁵LAI (Leaf Area Index): viene definito come l'area totale di una faccia del tessuto fotosintetizzante per unità di superficie di terreno (Watson,1947) [30]. È un parametro che descrive la densità fogliare degli alberi e in letteratura si trovano i valori tipici per diverse specie arboree, arbustive ed erbacee.

riferimento alle equazioni allometriche presenti in letteratura [25][34]. La crescita del diametro degli alberi in un anno viene stimata al variare dell'uso del suolo, dell'esposizione all'irraggiamento solare, della salute dell'albero e del numero di giorni all'anno in cui la temperatura dell'aria sia maggiore di 0 °C. Viene conteggiato anche il carbonio stoccato negli alberi abbattuti che viene rilasciato attraverso la decomposizione.

Se si specifica il valore monetario del carbonio (€/ton) vengono realizzate delle stime del patrimonio economico rappresentato da questa risorsa della vegetazione.

→ UFORE-D: Rimozione degli Inquinanti

I composti inquinanti che vengono richiesti in input e di cui si valuta la rimozione in presenza di un ecosistema sono O_3 , SO_2 , NO_2 , CO e $PM_{2.5}$. I risultati delle stime sono funzione del tipo di copertura del suolo, della specie, della temperatura dell'aria, della densità fogliare delle piante, delle precipitazioni orarie e della velocità del vento (se si dispone di questo dato) [25].

Si calcola il flusso di inquinanti rimossi come il prodotto fra la velocità di deposizione degli inquinanti V_d (m/s) e la loro concentrazione atmosferica C (g/m³):

$$F = V_d \cdot C$$

F viene espresso in grammi al secondo per unità di superficie. La velocità di deposizione viene descritta nel modello di Baldocchi [35] come il reciproco della resistenza totale:

$$V_d = \frac{1}{R_{TOT}} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c}$$

dove R_a è la resistenza che incontrano gli inquinanti nel atmosfera, R_b è la resistenza relativa alla superficie fogliare e R_c è la resistenza che oppongono i tessuti vegetali. La concentrazione viene comunicata dall'utente, attraverso le misurazioni a frequenza oraria. Il flusso viene, poi, moltiplicato per la superficie vegetata per ottenere la quantità di inquinanti rimossi per unità di tempo.

→ UFORE-E: Effetti energetici sugli Edifici

Si genera una stima degli effetti energetici che gli alberi hanno sugli edifici e della riduzione della quantità di carbonio emesso dalle centrali elettriche. Il programma considera influenti sul bilancio energetico tutti gli alberi che rientrano nel raggio di 18 m dall'edificio e che siano alti almeno 6 m. I metodi di stima sono stati sviluppati da McPherson e Simpson [36] e prevedono di determinare gli effetti energetici per ogni regione climatica e per ogni periodo di costruzione dell'edificio sulla base del diametro dell'albero, della distanza e della direzione rispetto all'edificio e dell'utilizzo dell'energia (riscaldamento o refrigerazione). Gli stessi autori nel loro report considerano le variazioni dei valori stimati in base alla salute degli alberi, limitando gli effetti nel caso di malattia

della pianta. Dopo aver definito le caratteristiche dei singoli alberi è necessario descrivere un contesto più esteso, introducendo le superfici vegetate e quelle su cui si ergono gli edifici all'interno dell'area interessata.

2.3. i-Tree HYDRO

i-Tree Hydro è un programma applicativo in grado di descrivere l'andamento dei deflussi in ambito urbano derivanti dalle precipitazioni meteoriche. Viene presa in considerazione la presenza di vegetazione e il software permette di confrontare i diversi comportamenti del bacino idrografico al variare della copertura del suolo e, in particolare, della permeabilità della superficie. Si esplicano, così, i cambiamenti idrologici che ha subito il territorio in seguito al consumo di suolo rurale e si prevedono i mutamenti per possibili scenari futuri.

Vengono calcolate le portate che giungono ai collettori delle reti bianche, la quantità d'acqua accumulata sulla superficie impermeabile del bacino, i volumi trattenuti dalle piante attraverso l'intercettazione della copertura fogliare e l'infiltrazione, ma anche l'aliquota legata all'evapotraspirazione. Grazie ai risultati forniti dalle analisi di Hydro si può denotare come la presenza di un ecosistema sviluppato sul suolo cittadino permetta di ricostruire un ciclo idrologico naturale che l'antropizzazione aveva fortemente condizionato (Figura 2.13).

Si stima, inoltre, la qualità delle acque di deflusso, in particolare delle portate bianche smaltite dalle fognature, attraverso uno specifico modulo implementato in Hydro.

Evapotranspiration Interception Runoff Pre-developed Developed Green Infrastructure

Natural vs. Disturbed Hydrological Cycle

Figura 2.13: confronto tra scenari differenti, i-Tree Hydro [S2]

Grazie a queste funzionalità, Hydro rappresenta uno strumento di pianificazione territoriale e urbanistica, utile nella gestione delle acque per la prevenzione di eventi di piena. L'obiettivo è creare un'efficace integrazione del verde all'interno del centro abitato,

sfruttando questa risorsa per laminare i picchi di portata durante le piogge più intense e limitare il rischio per la popolazione. i-Tree Hydro può essere applicato in aree di studio contenute all'interno della linea spartiacque del bacino imbrifero, così come in zone che ne ricadono al di fuori e, alla stregua di Eco, si ha ampia scelta sulla scala spaziale dell'analisi. Sebbene l'utilizzo del programma sia più accessibile rispetto ad Eco grazie ad una procedura di inserimento dati più agevole (vedi paragrafo 2.3.1), l'applicazione al di fuori degli USA viene sconsigliata dai programmatori, in attesa che le opportune modifiche vengano apportate al modello per renderlo attendibile per gli utenti internazionali. Le leggi fisiche ed empiriche con cui vengono stimati i deflussi idrici sono frutto di numerosi studi incentrati sulle condizioni climatiche statunitensi e i relativi parametri sono stati tarati sulla base di osservazioni che differiscono, in parte o del tutto, da quelle registrate nelle nazioni estere. Tuttavia, è possibile usufruire delle potenzialità di Hydro al di fuori degli States introducendo dati aggiuntivi che caratterizzino la nuova località, con la consapevolezza di non raggiungere la stessa precisione delle stime che si potrebbe avere oltre oceano. Il programma richiede agli utenti internazionali di specificare un luogo di riferimento, una città all'interno degli Stati Uniti che abbia latitudine, altitudine e caratteristiche climatiche simili alla zona di interesse. Così facendo, si comunicano al modello informazioni associate alla località statunitense relative al ciclo di crescita delle piante e alle condizioni atmosferiche. La metodologia per individuare tale luogo di riferimento è la medesima descritta nel paragrafo 2.2.1.

2.3.1. Input

Il modello a cui si attiene il programma viene definito UFORE-Hydro (Urban Forest Effects – Hydrology) [37] e verrà descritto nel paragrafo 2.3.6. L'inserimento dei dati in input non avviene tramite il Database, ma si effettua all'inizio di ogni progetto direttamente dall'interfaccia di Hydro. Questo permette di ridurre i tempi dell'analisi, ma non si può usufruire di dati già inseriti da altri utenti, come poteva avvenire in Eco. Per di più, la mancanza di un controllo da parte di U.S. Forest Service non garantisce la completa attendibilità dei dati, lasciando ogni responsabilità alla precisione dell'utente.

Per procedere con l'analisi è necessario disporre dei seguenti dati:

- Informazioni dell'area in esame: dimensioni, posizione e durata e periodo della simulazione;
- Modello digitale del terreno (DEM): si introduce una discretizzazione del territorio con le relative quote altimetriche per ogni nodo della mesh in modo da creare un modello tridimensionale del bacino. Il file DEM deve essere georeferenziato in GIS e convertito da formato raster a ASCII, salvandolo come file di testo (DAT). In alternativa, si può utilizzare l'indice topografico (TI) che descrive il logaritmo naturale del rapporto tra la superficie della cella e la sua pendenza locale. Verrà assegnato un valore per ogni cella. Il territorio statunitense (bacini, stati, contee e città) è stato interamente inserito all'interno del database del programma;

- Copertura del terreno: si effettua una suddivisione del territorio in superfici arboree, arbustive ed erbacee, specificando quali di queste sono sempreverdi, e si distinguono le superfici permeabili e impermeabili. Se sono presenti, è necessario specificare le zone ricoperte da terra nuda e le superfici a pelo libero. L'intera area deve essere classificata con la opportuna descrizione del tipo di terreno e questa procedura viene realizzata attraverso l'applicazione online i-Tree Canopy. All'interno del National Land Cover Database [S4] sono contenuti dei file GIS che racchiudono questi dati, ma sono disponibili esclusivamente negli USA;
- Dati pluviometrici: come per Eco, anche qui si richiedono le serie storiche di durata pari ad almeno un anno solare con frequenza oraria. All'interno del software sono memorizzati i dati compresi tra il 2005 e il 2012 per tutto il territorio statunitense. Si possono aggiungere i dati degli anni seguenti reperendoli dal National Climate Data Center (NCDC) [S6]. Per gli utenti internazionali non è ancora disponibile un servizio di elaborazione dei dati, ma il Database è in fase di adeguamento anche per Hydro. Tuttavia, si possono prelevare i dati di una stazione NCDC, eventualmente aggiungendo dati reperiti da un'altra fonte (es. Arpa [S7]), così da ottenere una serie storica sufficientemente fornita di dati e con il formato consono alla lettura da parte del programma. Non potendo, quindi, prescindere dai dati NCDC, è necessario individuare una stazione di misura in prossimità dell'area di studio e, in ogni caso, che ne rispecchi le condizioni climatiche. Allo stesso tempo, si deve considerare che si è specificato un luogo di riferimento negli USA dove viene virtualmente realizzata l'analisi e la stazione meteorologica deve riprodurre adeguatamente le precipitazioni, la latitudine e l'altitudine di questa località;
- Parametri idrologici: il programma di default associa dei valori ai parametri idrologici utilizzati dal modello che derivano da studi effettuati sui bacini statunitensi. Essi possono essere incoerenti con le condizioni climatiche e le caratteristiche geologiche dei terreni presenti in Italia negli altri Paesi internazionali. Se si vuole correggere questa imprecisione, è possibile andare a modificare tali parametri in modo che il modello sia più conforme alle esigenze degli utenti. La sostituzione può essere realizzata manualmente, se si dispone degli specifici valori, oppure attraverso un servizio di auto-calibrazione implementato all'interno di i-Tree Hydro capace di estrapolare i parametri idrologici di cui necessita il modello a partire dalla serie temporale delle portate misurate nello stesso anno in cui si esegue la simulazione. Questo processo prevede di confrontare l'idrogramma misurato con quello ideale, derivante dalla simulazione, e di modificare iterativamente il set di parametri fino ad arrivare al minimo scarto fra i due.

I deflussi devono essere misurati con frequenza oraria e per la durata di almeno un anno solare, dal 1 gennaio al 31 dicembre e vengono indicati in un file di testo (secondo una specifica formattazione) come portate specifiche, ossia i volumi d'acqua per unità di tempo divisi per la superficie del bacino.

Nell'Appendice 2 vengono esplicitati i parametri idrologici richiesti dal programma.

2.3.2. Watershed o non-Watershed

Hydro crea una prima e importante distinzione nell'analisi in base alla finalità del progetto: se si entra nell'ambito fluviale considerando un'area di progetto che comprende il bacino di un fiume rispetto ad una sezione di chiusura (che potrebbe anche essere la foce) si rientra nel caso Watershed, letteralmente "bacino imbrifero"; se, invece, la modellazione interessa un'area urbana, delle dimensioni di un giardino o dell'intera città indifferentemente, si ricade nella modalità non-Watershed.

Non è semplicemente una separazione legata alle proporzioni della superficie considerata, ma si valuta se i risultati finali contribuiscono alla gestione del bacino o all'amministrazione comunale.

Se si dovessero effettuare delle simulazioni con le due modalità, i risultati dovranno essere in qualche modo correlati, poiché il territorio cittadino rientra all'interno della superficie del bacino. Tuttavia, si hanno delle differenze nell'approccio alla calibrazione, in quanto nelle zone non-Watershed non si ha un unico nodo di deflusso in cui misurare le portate, ma l'acqua viene scaricata in diversi punti. Pertanto, gli utenti interessati ad analizzare un'area urbana possono calibrare i parametri solo modificandoli manualmente, nel caso in cui siano in possesso di specifici valori relativi al territorio di interesse. In Figura 2.14 viene riportato uno schema di quanto descritto in questo paragrafo.

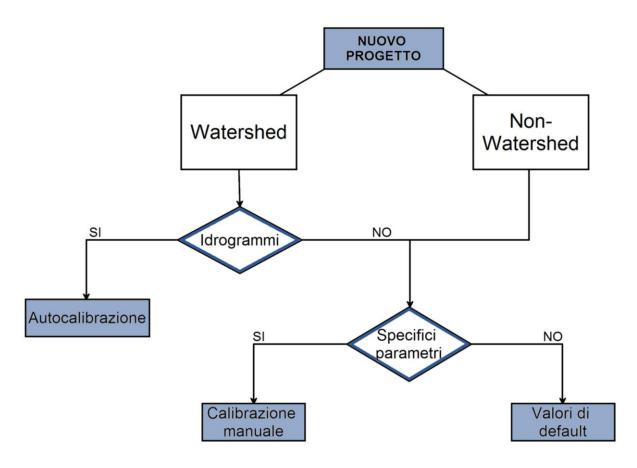


Figura 2.14: parametri idrologici in funzione del tipo di progetto

2.3.3. Caso base e casi alternativi

i-Tree Hydro permette di confrontare scenari differenti che variano in base al tipo di copertura del terreno nell'area di studio, con particolare attenzione alla permeabilità della superficie. Questo permette di prevedere i riscontri di una o più variazioni dell'uso del suolo. Il software inizialmente considera il "caso base" nel quale rientrano le condizioni attuali della località in esame, descritte dall'utente mediante i dati menzionati nel paragrafo 2.3.1. Si effettua, quindi, una simulazione dei volumi di deflusso e della qualità dell'acqua per come si presenta realmente l'area di progetto.

Il programma definisce, invece, "caso alternativo" un qualunque scenario in cui la permeabilità del suolo si discosta dalle condizioni attuali. Si possono aggiungere fino a tre casi alternativi, all'interno dei quali si ipotizzano delle mutazioni della copertura del suolo: costruzione di una pavimentazione cementizia o bituminosa (e quindi impermeabile) su un terreno precedentemente coltivato, bonifica di una zona paludosa e piantumazione di alberi ad alto fusto per la raccolta di legname, inserimento di piante ornamentali nel centro di una rotatoria, realizzazione di aree di bioritenzione all'interno del centro abitato, ecc.. I nuovi scenari vengono comunicati dagli utenti al programma modificando le proporzioni dei diversi tipi di copertura del terreno e possono essere ritoccati in qualunque momento, eseguendo una simulazione ogni volta che vengono apportate delle correzioni. Nel caso in cui si sia fatto ricorso all'auto-calibrazione o alla calibrazione manuale, sarebbe opportuno cambiare i parametri idrologici, in modo da rispecchiare nuovamente le condizioni dei casi alternativi.

I risultati delle diverse analisi (paragrafo 2.3.5) vengono, infine, confrontati attraverso dei valori numerici e delle elaborazioni grafiche che permettono di valutare facilmente se i nuovi scenari apportano delle migliorie oppure si dimostrano meno efficienti rispetto alle condizioni attuali.

Si precisa che l'inserimento dei dati connessi ai casi alternativi è un processo facoltativo, in quanto ci si può limitare ad analizzare il solo caso base, ottenendo, comunque, degli importanti risultati, utili nella gestione delle acque. Tuttavia, così facendo non si sfrutterebbero le più apprezzabili potenzialità del programma.

2.3.4. i-Tree Canopy

i-Tree Canopy è un'applicazione online che permette di distinguere le diverse tipologie di copertura del terreno all'interno di un'area di interesse attraverso immagini satellitari o file GIS. Lo strumento è gratuito, come gli altri programmi della suite i-Tree, e si pone al servizio di pianificatori e gestori di aree verdi, studenti e ricercatori: chiunque sia interessato a conoscere la struttura della foresta urbana, la distribuzione delle superfici permeabili e impermeabili, la ripartizione delle coperture vegetate ed, eventualmente, a distinguere gli spazi dove è possibile inserire nuove colture.

Canopy si dimostra adatto ad individuare i dati necessari al funzionamento di Hydro qualora non siano già disponibili, definendo le aree delle diverse coperture del territorio e le relative percentuali rispetto alla superficie totale.

Il funzionamento è piuttosto semplice e si articola nei seguenti passaggi:

- 1. definire l'area di progetto mediante il tracciamento dei confini su un'immagine aerea tratta da Google Maps o su uno shapefile georeferenziato raffigurante la zona di interesse;
- 2. specificare l'elenco delle coperture con cui si vuole catalogare il territorio. Inizialmente è presente solo la distinzione tra Tree e Non-Tree, ma si possono aggiungere elementi a piacere, quali Grass, Shrub, Sand, Gravel, Street, come anche Permeabile e Impermeabile, o ancora distinguere le varie specie di piante. In previsione di un utilizzo di Hydro, è conveniente far coincidere queste categorie con quelle richieste in input dal programma;
- 3. inserire la valuta e le caratteristiche della località (urbana o rurale) a cui vengono automaticamente associati dei valori monetari alla rimozione di inquinanti realizzata grazie alla presenza di vegetazione (es. euro per kilogrammo di CO rimosso ogni anno). Lo scopo è quello di generare approssimativamente un bilancio economico annuo per rimarcare i benefici generati dagli alberi in città. È un passaggio facoltativo, anzitutto perché le stime dei risultati al di fuori degli USA possono essere grossolane. Questi risultati possono essere ottenuti da un'analisi effettuata con Eco con stime più precise e dettagliate;
- 4. Canopy genera dei punti in posizione casuale all'interno dell'area delimitata al punto 1 e l'utente ha il compito di classificare ciascun punto con una delle coperture elencate al punto 2. È una fase cruciale, poiché la capacità di riconoscere il tipo di copertura dalle immagini aeree ha una forte influenza sull'accuratezza dei risultati. Il numero di punti campionati è scelto dall'utente, tenuto conto che la precisione dell'analisi cresce con esso con un criterio che viene esposto in seguito;
- 5. esportare i report, sui quali vengono riportate, in forma grafica e tabulata, le aree dei diversi tipi di copertura, l'errore della stima e i contributi economici definiti al punto 3.

Ad ogni chiusura del programma si possono salvare i progressi ottenuti fino a quel momento e proseguire in seguito, caricando il file che racchiude il progetto nella pagina iniziale.

La determinazione delle proporzioni fra le coperture del terreno si basa sull'ipotesi che la classificazione dei punti campionati rispecchi la condizione di tutta la superficie di progetto. Viene realizzata in automatico dal programma un'analisi statistica che permette di stabilire l'incertezza della stima. L'aleatorietà del prelievo dei punti e l'indipendenza tra

le diverse coperture del terreno consentono di fare affidamento ad una distribuzione di probabilità discreta: nel caso specifico, la Binomiale.

L'appartenenza di un punto alla i-esima tipologia di superficie rappresenta una variabile aleatoria di Bernoulli, ossia accetta due soli risultati: esito positivo ed esito negativo [38]. Considerando N prove bernoulliane, cioè il numero di punti campionati, indipendenti fra loro, si avranno $n_i \in [0, N]$ successi. Si ottiene, pertanto, una distribuzione Binomiale con una media campionaria pari alla frequenza di successo:

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

La frequenza di insuccesso è invece uguale a

$$q_i = \frac{N - n_i}{N} = 1 - p_i$$

Si calcola, ora, la variabilità dei risultati attraverso la varianza:

$$\sigma^2 = N \cdot p_i \cdot q_i$$

e la precisione dello stimatore per mezzo dell'errore standard:

$$SE = \frac{\sigma}{N} = \sqrt{\frac{p_i \cdot q_i}{N}}$$

L'errore standard si riduce all'aumentare del numero di punti campionati, perciò si può considerare come l'imprecisione dell'analisi di Canopy.

Quando il numero di successi n_i è molto piccolo rispetto al numero di punti campionati N_i la stima con la funzione Binomiale non è più adatta e si fa riferimento alla distribuzione di Poisson [38]. Si ricava, dunque, la varianza

$$\sigma^2 = N \cdot p_i$$

e l'errore standard

$$SE = \frac{\sigma}{N} = \frac{\sqrt{N \cdot n_i/N}}{N} = \frac{\sqrt{n_i}}{N}$$

I risultati di tutta l'analisi saranno le percentuali delle varie coperture del terreno espresse come

$$\%_i = p_i \pm SE$$

Ciò significa che l'errore standard identifica l'intervallo di confidenza della variabile. Se si vogliono visionare le superfici anziché le percentuali è sufficiente moltiplicare per la superficie totale dell'area in esame, misurata dal programma.

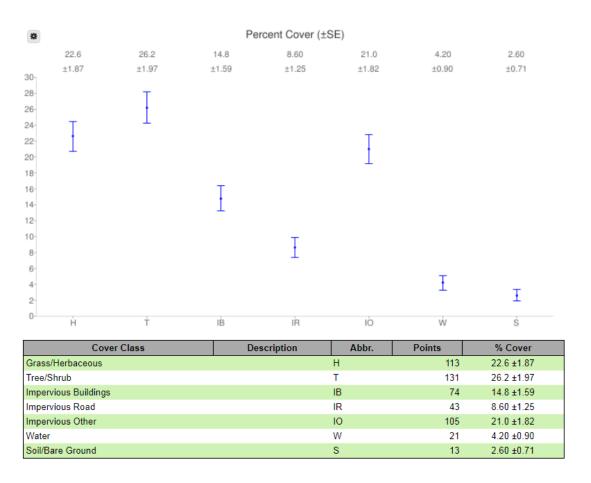


Figura 2.15: report di un progetto di esempio con 500 punti campionati, i-Tree Canopy [S2]

Ottenuti i risultati da Canopy, si ritorna alla fase di definizione del progetto di Hydro, dove le percentuali appena determinate vengono inserite manualmente nella sezione Copertura del terreno.

2.3.5. Output

Dopo aver introdotto i dati ed i parametri di cui necessita il modello di Hydro con la opportuna formattazione, si procede all'esecuzione del programma. Secondo quanto annunciato nel paragrafo 2.3.3, si possono includere nell'elaborazione due diversi scenari in contemporanea: il caso base e un caso alternativo oppure due casi alternativi differenti. Se si hanno più di due scenari da comparare, si esportano i risultati finali e si svolge un confronto che esula dal programma (ad esempio creando un unico grafico con Excel a partire dai valori tabulati). I risultati dell'analisi sono tanto più dettagliati e precisi quanto più lo sono stati i dati in ingresso. Essi permettono di esaminare la risposta idrologica del bacino al variare dell'utilizzo del suolo urbano e facilitano la gestione delle risorse naturali per mitigare il rischio inondazioni. La previsione della qualità dell'acqua, invece, consente di effettuare un controllo diretto sulle concentrazioni delle sostanze inquinanti, individuando eventuali picchi che potrebbero eccedere i limiti imposti dal d.lgs. nº 152/2006.

Si riporta una descrizione degli elaborati restituiti in uscita da i-Tree Hydro.

Executive Summary

È un report entro cui si riassumono le peculiarità del progetto (Allegati 2 e 3). Dapprima vengono riassunti i parametri utilizzati dal modello per eseguire l'analisi: dimensione dell'area di studio, piogge e portate misurate (se importate), descrizione della copertura del suolo. Se si esegue l'analisi per due scenari in contemporanea, vengono riportati questi dati per entrambi, proponendo un primo confronto.

Dopodiché vengono riportati i valori finali dei deflussi, distinti in tre termini:

- *pervious flow*: portate derivanti dal volume d'acqua che ricade sulle superfici permeabili del territorio, si presentano quando l'intensità di pioggia supera la velocità di filtrazione e quando il terreno è saturo. Vengono sottratti l'aliquota legata all'evaporazione e il volume trattenuto nelle zone di accumulo impermeabili;
- *impervious flow*: deflussi generati sulle superfici impermeabili, anche in questo caso, depurati dall'evaporazione e dal volume raccolto nelle depressioni impermeabili;
- base flow: flusso generato dal moto di filtrazione della falda con apporto di acqua piovana. Le acque di prima pioggia alimentano questa portata.

Per ciascuna di queste quantità vengono riportati i valori numerici in una tabella ed è rappresentato graficamente l'andamento nel tempo con un istogramma (Figura 2.16).

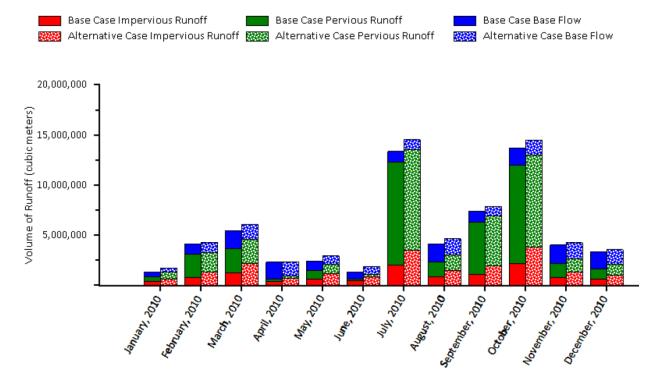


Figura 2.16: andamento dei deflussi per il caso base e il caso alternativo, Sample Project di i-Tree Hydro

Infine, si descrivono i carichi di dieci inquinanti all'interno delle acque che vengono scaricate in un corpo idrico ricettore o nelle fognature.

Water Quantity

Si descrive l'andamento dei deflussi con tre tipologie di elaborati: istogrammi, serie temporali e tabelle. Nel primo caso si hanno grafici come quello rappresentato in Figura 2.16, con il vantaggio che si possono ampiamente personalizzare per avere la rappresentazione che più compiace all'utente. Si possono comparare i deflussi misurati (se presenti) e quelli previsti dalla simulazione, calcolati con i parametri idrologici inseriti o derivanti dall'autocalibrazione. Se i valori nei due casi si discostano eccessivamente si può generare un altro set di parametri e dare origine ad una nuova simulazione, fino ad arrivare a convergenza. Si ha, inoltre, un confronto fra due scenari differenti in termini di deflussi totali, pervious, impervious e base flow con diverse scale temporali, dall'intero anno a intervalli settimanali. Il grafico si può esportare come immagine, personalizzando i colori e i dati che si vogliono mantenere nel diagramma.

Per le serie temporali valgono gli stessi concetti e si differenziano dagli istogrammi in quanto l'andamento nel tempo dei deflussi è rappresentato da una spezzata. Un importante vantaggio è che possono essere rappresentate graficamente le differenze fra i deflussi del caso alternativo e quelli del caso base, individuando dove gli effetti provocati dalla variazione della copertura del terreno si rendono più visibili. All'interno di ogni diagramma vengono inseriti i dati pluviometrici, per rimarcare l'accostamento tra eventi di pioggia intensa e innalzamento delle portate. Per ottenere una visualizzazione più dettagliata è presente il comando Zoom, adatto a mettere in evidenza i punti più ravvicinati (Figura 2.17).

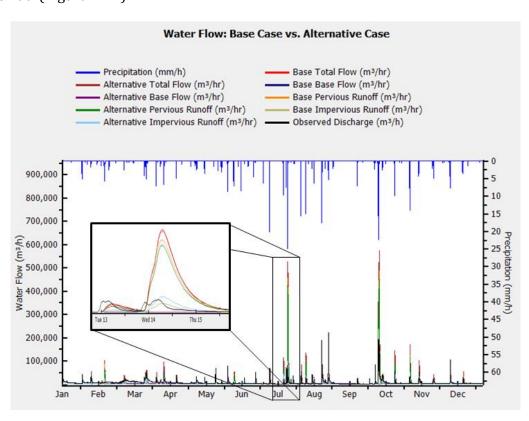


Figura 2.17: serie temporale con zoom di un picco di portate, Sample Project di i-Tree Hydro

I risultati sono, quindi, riportati in formato tabulare, accostando ai grafici i relativi valori numerici. Sono presenti i dati descritti fin qui, espressi con frequenza oraria. L'intervallo temporale può essere, però, esteso, fino ad avere un solo valore per l'intero anno. Le tabelle sono esportabili nei formati .xlsx e .csv.

Water Quality

I tipi di elaborati con cui vengono riportati gli output generati per la qualità dell'acqua sono gli stessi dei deflussi: istogrammi, serie temporali e tabelle. Quanto detto per personalizzare, modificare ed esportare gli elaborati rimane valido anche in questo settore.

Viene riportata in Figura 2.18, a titolo di esempio, la concentrazione di due delle dieci sostanze inquinanti stimate dal programma nel progetto campione. Tss è l'acronimo di Total Suspended Solid, cioè il solido trasportato da una portata liquida, e BOD significa Biochemical Oxigen Demand ed è un parametro che descrive la quantità di sostanze organiche biodegradabili presenti in una soluzione acquosa [39]. Pertanto, si hanno anche delle misure indirette dei composti inquinanti. Gli altri valori descritti sono il COD (Chemical Oxigen Demand, parametro con caratteristiche simili al BOD [39]), fosforo totale, dato dalla somma di tutti i suoi composti presenti in natura, e fosforo solubile in acqua, TKN (Total Kjeldahl Nitrogen, indicatore della quantità di azoto presente nel terreno [39]), nitrati e nitriti, rame, piombo e zinco.

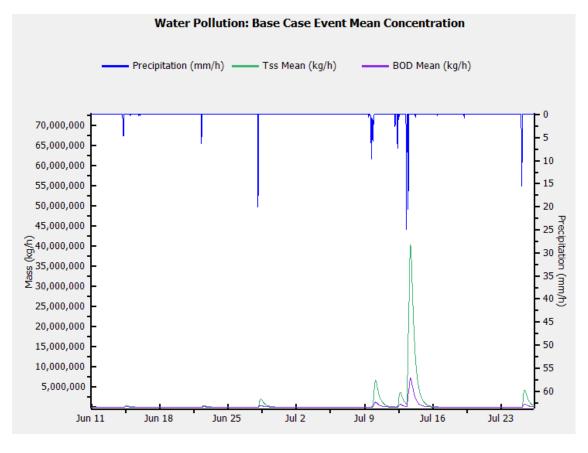


Figura 2.18: serie temporale di TSS e BOD, associata all'intensità di pioggia, Sample Project di i-Tree Hydro

Advanced Outputs

In aggiunta ai risultati "standard" vengono messi a disposizione per gli utenti degli ulteriori dati, frutto dell'esecuzione delle sub-routine che compongono il modello UFORE-Hydro (paragrafo 2.3.6). Come si intuisce dal nome, questi report descrivono le caratteristiche più specifiche dell'analisi e si suddividono in Idrologia della vegetazione e Idrologia del terreno. Nel primo caso vengono diagrammati nel tempo i seguenti volumi, espressi per unità di tempo (m³/h):

- precipitazioni esclusivamente sulla vegetazione
- intercettazione da parte della copertura fogliare
- ristagni nelle depressioni impermeabili
- caduta libera dell'acqua in eccesso dalle foglie bagnate (throughfall)
- evaporazione dalla superficie esterna delle piante
- evapotraspirazione dell'apparato radicale

Nel secondo caso, invece, si rappresentano i seguenti deflussi:

- infiltrazione attraverso le superfici permeabili
- evapotraspirazione dell'apparato radicale

I termini elencati sono esplicitati in Figura 2.19.

In entrambi i casi sono presenti le intensità pluviometriche e i diagrammi possono essere personalizzati esteticamente secondo le modalità descritte in Water Quantity e Quality, scegliendo quali voci inserire nel grafico.

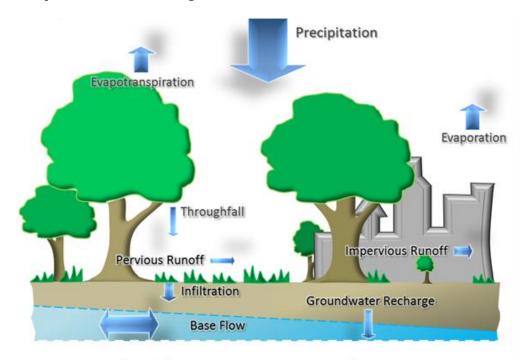


Figura 2.19: flussi che descrivono l'idrologia della vegetazione e del terreno, i-Tree Hydro [S2]

Calibration Comparision

La calibrazione si effettua sui parametri idrologici del bacino, secondo quanto riportato nei paragrafi 2.3.1 e 2.3.2. Come riassunto in Figura 2.14, il programma mette a disposizione degli utenti una funzionalità che permette di individuare automaticamente i parametri che meglio adattano l'idrogramma "di progetto" a quello misurato in campo, ma è fruibile solamente se si dispone delle serie temporali delle portate misurate con frequenza oraria per un anno solare.

Il processo di auto-calibrazione può essere eseguito rispetto ai dati mensili, settimanali, giornalieri o orari, andando ad infittire la mesh delle coppie di nodi che si cerca di avvicinare (Figura 2.20). Ridurre l'intervallo temporale, oltre a dilatare i tempi computazionali, non sempre migliora l'accuratezza della stima. È necessario effettuare un controllo sull'attendibilità dei valori forniti dal sistema.

Se non fossero disponibili dati orari della portata, ma si conoscessero gli specifici parametri idrologici del bacino analizzato, si possono modificare i valori di default manualmente e realizzare una nuova simulazione. Nell'Appendice 2 vengono descritti i parametri che possono essere modificati dall'utente.

Nella sezione output si ha la possibilità di confrontare graficamente i risultati derivanti dai diversi set di parametri. Vengono diagrammate le portate totali nel tempo e si può apprezzare il discostamento tra i valori stimati e quelli misurati ed, eventualmente, ripetere la procedura per migliorare la sovrapposizione degli idrogrammi.

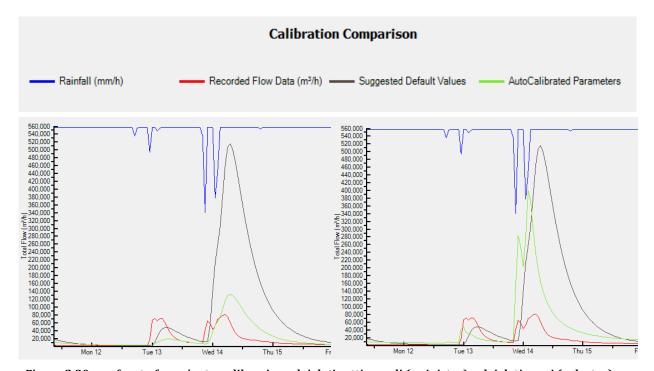


Figura 2.20: confronto fra un'auto-calibrazione dei dati settimanali (a sinistra) e dei dati orari (a destra), Sample Project di i-Tree Hydro

Si riporta in Figura 2.21 uno schema riassuntivo sui dati di input e di output di Hydro.

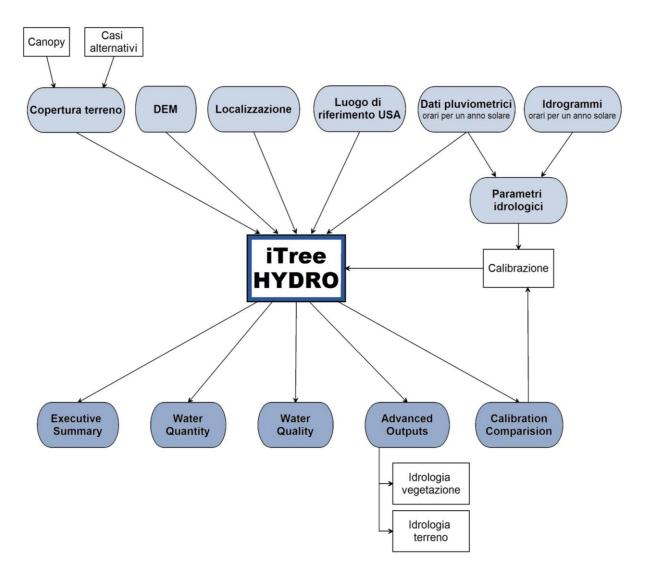


Figura 2.21: schema di i-Tree Hydro

2.3.6. Modello

Gli output restituiti all'utente sono frutto di un'analisi realizzata con gli algoritmi implementati nel software. Si distingue un primo modello, definito UFORE-Hydro, con il quale si determinano i deflussi che compongono l'idrologia della vegetazione e del suolo all'interno di un contesto urbano. Il secondo modello ha lo scopo di individuare i carichi di inquinanti contenuti nelle acque superficiali e fa rifermento alle portate calcolate con UFORE-Hydro.

Calcolo dei deflussi (UFORE Hydro)

Questo modello ha lo scopo di "rappresentare esplicitamente gli effetti della vegetazione e del suolo sul ciclo idrologico urbano" [37], ossia discernere le componenti in cui si scompongono le acque piovane quando giungono a contatto con un suolo cittadino vegetato. Per ciascuna di queste si ha una specifica sub-routine capace di quantificare i volumi in funzione dell'intensità di pioggia assegnata.

Intercettazione. Una percentuale delle precipitazioni che raggiunge la superficie terrestre viene intercettata dalla vegetazione, sia essa arborea o arbustiva. L'algoritmo si basa sul modello di Rutter [40], ma sviluppato per considerare l'acqua che si infiltra tra le chiome degli alberi. Il bilancio idrico viene espresso dalla seguente equazione:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = P - R - E$$

dove C è l'altezza di pioggia al tempo t (m), P è la precipitazione che ricade sulla vegetazione (m/s), R è la quantità d'acqua che giunge al suolo nell'unità di tempo (m/s) ed E è l'evaporazione (m/s). Tutte le grandezze sono espresse per unità di superficie.

Oltre all'intensità e alla durata di pioggia, rientrano, quindi, tra le variabili che influenzano il modello l'indice di area fogliare (LAI), la capacità di immagazzinamento del fogliame (S) e la quantità d'acqua iniziale presente sulla chioma.

- Ristagni in depressioni impermeabili. Le acque di prima pioggia vanno a colmare le depressioni impermeabili presenti sul territorio. Attenendosi al Storm Water Management Model (SWMM), sviluppato da USEPA (Agenzia di protezione dell'ambiente degli Stati Uniti) [S8], si paragona la superficie impermeabile ad un serbatoio di altezza costante con un volume pari a quello delle depressioni. Tale altezza rappresenta l'unico parametro da cui dipende questa componente e si possono assumere valori compresi fra 1 e 4 mm. Una volta che questo volume sia stato riempito, hanno luogo i deflussi superficiali.
- Evaporazione e traspirazione. Si hanno tre diversi termini racchiusi in questa componente: l'evaporazione dalle chiome degli alberi e dagli arbusti, l'evaporazione dalle superfici impermeabili e l'evapotraspirazione del suolo. Il primo caso interessa l'aliquota di pioggia intercettata dalla copertura fogliare e si determina il flusso di evaporazione per unità di superficie (m/s) con la legge di Noilhan e Planton [41] facendo riferimento alla capacità di immagazzinamento S.

$$E = \left(\frac{C}{S}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot E_p$$

in cui E_p è l'evaporazione potenziale (m/s).

Per il secondo termine si fa nuovamente riferimento alla legge di Noilhan e Planton sostituendo ad S il volume contenuto nelle zone impermeabili di accumulo.

L'evapotraspirazione, a sua volta, si ottiene dalla somma dell'evaporazione diretta e della traspirazione generata degli apparati radicali, ma viene conteggiato un unico valore con la formula di Noilhan e Planton sostituendo a E_p l'evapotraspirazione potenziale ET_p .

• Infiltrazione. Le precipitazioni che non vengono intercettate dalla chioma degli alberi e ricadono su una superficie permeabile, giungono a contatto con il suolo e qui ha inizio il processo di infiltrazione. In questa sub-routine viene applicata la teoria di Green-Ampt ampliata con la formulazione delle leggi di saturazione del terreno proposte nel TOPMODEL da Beven [42]:

$$i = \frac{dI}{dt} = \frac{\Delta \psi + Z}{\int_0^z \frac{dz}{K_z}}$$

in cui i e I sono rispettivamente il tasso di infiltrazione e l'infiltrazione cumulata alla profondità Z, $\Delta \psi$ è la variazione del fronte saturo e K_z è la conducibilità idraulica del terreno. Quest'ultima subisce una decadenza esponenziale con la profondità, secondo quanto descritto da Wang [43] nella seguente espressione:

$$K_z = K_0 \cdot (1 - f \cdot Z)^n$$

dove *f* e *n* sono coefficienti sperimentali, frutto di misurazioni in sito. Si determinano, così, l'andamento del volume d'acqua infiltrato, la profondità della falda e, una volta che il terreno è saturo, l'entità dei deflussi superficiali.

Deflussi. In conclusione alle analisi delle sub-routine già descritte, vengono individuati i deflussi che in precedenza sono stati definiti pervious, impervious e base flow. Le grandezze sono espresse per unità di superficie perciò le portate verranno riportate in m/s.

Il pervious flow deriva dall'analisi relativa all'infiltrazione: quando il terreno è saturo subentrano i deflussi superficiali.

Si possono calcolare con la formula che segue:

$$q_p = \frac{A_{sat}}{A_{tot}} \cdot P_W$$

In cui compare il rapporto tra l'area satura e la superficie totale in esame e l'intensità di pioggia P_W (m/s) che assumerà valori differenti a seconda che superficie sia a cielo libero oppure al di sotto della chioma di un albero.

L'impervious flow ha origine nel momento in cui l'altezza di pioggia eccede il livello massimo che possono contenere le superfici impermeabili, dopodiché l'intensità delle precipitazioni equivale al deflusso superficiale q_{im} . Si sottolinea l'importanza dell'orografia del terreno e la disposizione delle aree ad alta e bassa conducibilità: l'impervious flow può sfociare nelle aree permeabili adiacenti, alimentando il volume infiltrato. Il programma considera questo fattore grazie al DEM ricevuto in input.

I moti di filtrazione, da cui si ricava il base flow, conducono l'acqua piovana ad un canale ricettore attraverso le porosità del terreno. La teoria su cui si basa la subroutine è nuovamente il TOPMODEL [42],[43],[44]. Le equazioni inserite all'interno del modello sono funzione della trasmissibilità del suolo saturo T_0 , della pendenza media del territorio, definita nel DEM e del contenuto d'acqua dove il suolo non è saturo.

I parametri richiesti dalle sub-routine vengono stimati o ipotizzati dal programma stesso interpretando i dati introdotti dall'utente. Nei progetti dove si ha una carenza di dati dovuta ad eccessive spese oppure alla mancanza di un rilievo in sito, si immettono automaticamente dei valori di default che consentono il prosieguo dell'analisi. Così facendo, si avrà inevitabilmente una riduzione di precisione e di attendibilità dei risultati, tuttavia si consente allo stesso tempo l'utilizzo del programma ad un utenza più inesperta e un processo più semplice e veloce.

Calcolo del carico di inquinanti

La descrizione di questo modello è riportata nel manuale di i-Tree Hydro [S2].

La stima del contenuto di inquinanti nell'acqua è incentrata nella determinazione della concentrazione media, EMC (Event Mean Concentration). Questo parametro viene definito come il rapporto fra massa totale di sostanza inquinante registrata durante un evento di pioggia e il volume totale dei deflussi generati dalla precipitazione. La massa totale si ottiene dall'integrazione nel tempo del prodotto fra la concentrazione e la portata istantanee C(t) e Q(t).

Il volume totale è semplicemente dato dall'integrazione della portata nel tempo.

Le misurazioni in campo comportano una calcolo a tempo discreto nel quale gli integrali si tramutano in sommatorie e si considera un intervallo di integrazione non più infinitesimo ma pari all'intervallo di campionamento:

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int C(t) \cdot Q(t)dt}{\int Q(t)dt} \cong \frac{\sum C(t) \cdot Q(t) \cdot \Delta t}{\sum Q(t) \cdot \Delta t}$$

Concretamente rappresenta la una media della concentrazione rispetto al volume totale d'acqua che scorre in superficie durante un evento di pioggia (Figura 2.22).

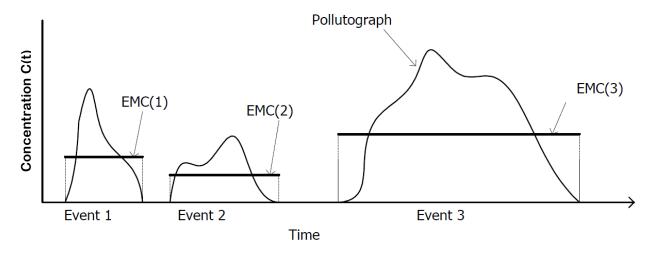


Figura 2.22: concentrazione media degli inquinanti per diversi eventi di pioggia, i-Tree Hydro [S2]

L'intervallo temporale su cui vengono integrate le grandezze è pari alla durata dell'evento di pioggia. Ciò significa che per lo stesso bacino ci saranno un numero di valori pari al numero di eventi monitorati, ma vengono tenute in considerazione solamente la media e la mediana.

La fase di misurazione in sito può risultare eccessivamente onerosa, sia in termini di tempo che di costi, pertanto si possono utilizzare, se disponibili, dei valori già presenti in letteratura o negli archivi regionali pertinenti una specifica area di interesse. Tali parametri verranno inseriti direttamente nel programma.

Si precisa che la determinazione di un unico parametro che rappresenti l'intero panorama dei composti inquinanti è una procedura complessa, in quanto sono soggetti a una forte variabilità nello spazio e nel tempo. Ne deriva la necessità di scegliere con cura i termini che si vogliono inserire nella simulazione, in modo da ottenere dei risultati attendibili.

Il carico di inquinante L (Load) si determina moltiplicando la concentrazione media per la portata, ottenendo una massa nell'intervallo di tempo considerato:

$$L(t) = EMC \cdot Q(t)$$

In i-Tree Hydro le portate con cui si calcola L sono pervious e impervious flow, cioè quelle superficiali, senza considerare il base flow che si infiltra nel terreno.

Si ottiene un andamento del tempo delle sostanze inquinanti in funzione dei deflussi e, quindi, dell'intensità pluviometrica, come è visibile in Figura 2.18.

3. APPLICAZIONE AL PARCO CASCINA VIGNA

In questo capitolo viene presentata l'applicazione dei programmi di i-Tree ad un caso studio. Scomponendo le diverse fasi della procedura seguita, si vogliono evidenziare le funzionalità dei software e indicare le linee guida per un corretto utilizzo degli stessi.

Le simulazioni vengono eseguite in una località italiana, così da focalizzare l'attenzione sulle potenzialità applicabili all'ambiente che ci circonda e dimostrare come accedere ai servizi forniti dalla suite al di fuori degli USA. In particolare, si potrà apprezzare il funzionamento di i-Tree Eco e di i-Tree Hydro, con cui si eseguiranno delle modellazioni del Parco Cascina Vigna (Figura 3.1) situato Carmagnola [S8], un comune della Città Metropolitana di Torino che dista circa 30 Km dal capoluogo piemontese.



Figura 3.1: viale di ingresso del Parco Cascina Vigna, Carmagnola, Angelo Miele, 2016

Il centro abitato ha la struttura di una agglomerazione urbana⁶, estesa rapidamente nel periodo del Boom economico (dal primo dopoguerra al termine degli anni '70), e consiste in un limitato nucleo storico che si dirama nelle borgate immerse nei terreni coltivati. La zona

_

⁶ Agglomerazione urbana: complesso formato da una città e da un insieme di centri minori, disposti nel territorio, via via più densamente urbanizzato, che la circonda; fra questi centri e la città principale, gli spazi a carattere rurale tendono a ridursi o a sparire, fino a costituire 'conurbazioni' se i rispettivi edificati si saldano tra loro [4].

verde si sviluppa su una superficie di circa 60000 m² su un appezzamento comunale ed è collocata nelle vicinanze del centro storico. Il parco rappresenta per i cittadini un luogo di svago dove si possono trovare ampi spazi verdi adatti all'attività sportiva, attrezzature per i bambini e punti di ristoro. Sono, inoltre, presenti un campo da calcetto cementato, un complesso composto da il bar, il ristorante, il museo di storia naturale e l'antico cascinale ristrutturato che abbraccia un cortile interno pavimentato con blocchi cementizi autobloccanti che consentono uno scarso drenaggio (Figura 3.2). Dal punto di vista idrologico queste costruzioni rappresentano una criticità a causa della loro impermeabilità superficiale.



- (1) Campo da calcetto
- (2) Bar
- (3) Ristorante
- (4) Museo
- (5) Cortile

Figura 3.2: inquadramento del parco, in evidenza le aree impermeabili, Google Earth

Sebbene i progetti interessino la stessa area, le analisi seguiranno un percorso separato poiché i programmi si dimostrano indipendenti l'uno dall'altro, pertanto si esamineranno distintamente le applicazioni dei due software.

3.1. Applicazione di i-Tree Eco

Attraverso l'utilizzo di i-Tree si potranno valutare i servizi ecosistemici che il Parco Cascina Vigna fornisce alla città di Carmagnola e ai suoi abitanti, conducendo anche una previsione di possibili scenari futuri. La simulazione esula da vantaggi/svantaggi sociali riconducibili all'area verde (ad es. svago, disposizione di spazi idonei a grandi eventi, miglioramento dell'aspetto estetico, ma anche necessità di manutenzione e smaltimento di rifiuti solidi urbani).

Si seguiranno le diverse fasi del progetto, analizzando passo passo la procedura da seguire per realizzare un analisi con il software.

Il programma deve essere scaricato sul proprio PC dal sito web di i-Tree [S2], scegliendo la versione più recente. In seguito all'installazione si può usufruire di tutti i servizi di cui dispone Eco: all'interno del programma sono stati inseriti i manuali, video interattivi, il Forum per gli utenti, ma soprattutto si hanno diversi progetti campione che si dimostrano un prezioso sostegno nell'introduzione all'uso del programma. Ciascuno di questi progetti campione segue una configurazione differente tra quelle descritte nel paragrafo 2.2.2.

È presente, inoltre, un link per aprire la pagina del Database: è essenziale che la località in cui si vuole realizzare il progetto sia presente nell'archivio del programma. L'esecuzione di Eco è strettamente vincolata alla presenza dei dati menzionati nel paragrafo 2.2.1, mentre i dati pluviometrici e le concentrazioni di inquinanti non sono prioritari. Tuttavia, trascurare queste misure escluderebbe la determinazione dei deflussi e della rimozione delle sostanze inquinanti. Per numerose città italiane i dati sono stati inseriti in passato da altri utenti e rimangono validi per simulazioni attuali e future. Il sistema del Database consente di visionare le località e le specie disponibili, ma non vi è la possibilità di eseguire un controllo sulla provenienza e sull'affidabilità dei dati. L'accertamento da parte di U.S. Forest Service è l'unica garanzia della qualità delle informazioni riportate.

Carmagnola rientra tra le città già presenti nel Database e ciò permette di evitare la lunga e complessa procedura di raccolta, formattazione e inserimento dei dati, abbreviando le tempistiche dell'indagine. Vengono fornite le serie temporali delle precipitazioni dal 2005 al 2015 con l'aggiunta degli inquinanti per il solo 2013.

3.1.1. Inserimento dati

Tornando all'interfaccia di Eco, si procede con la creazione di un nuovo progetto e viene immediatamente richiesto di specificare se si dovrà seguire la configurazione "Complete inventory" oppure "Plot-based sample inventory", in quanto questa scelta condizionerà fortemente il prosieguo dell'analisi. Considerato che l'estensione del parco è contenuta, è ragionevole optare per l'inventario completo.

Nella definizione del progetto è necessario indicare il titolo del progetto, la località, l'anno a cui si fa riferimento per le piogge e gli inquinanti (si sceglie il 2013, poiché sono presenti entrambi) e la stazione meteorologica, la quale può essere selezionata su Google Maps tra quelle presenti (Figura 3.3). Quest'ultima comunica in automatico al programma ulteriori dati meteorologici al di fuori delle precipitazioni, quali la temperatura, la velocità del vento e la pressione atmosferica. L'aggiunta di questi dati migliora la stima dei servizi ecosistemici [45].

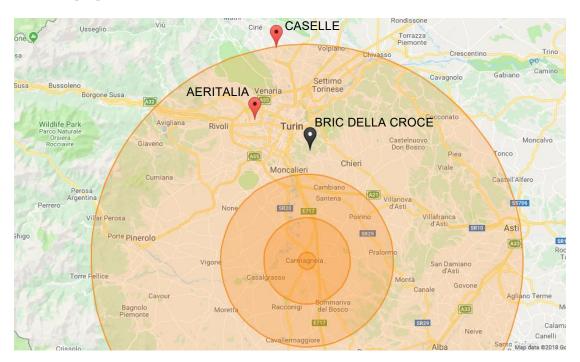


Figura 3.3: selezione della stazione meteorologica su Google Maps

La stazione meteorologica Bric della Croce (ID 160610-99999), situata a Torino (45°02′ N 07°44′ E) a 710 m s.l.m. e di competenza dell'Aeronautica Militare [S9], rappresenta il miglior compromesso fra approssimazione delle condizioni climatiche carmagnolesi, abbondanza di dati e distanza dal parco in esame.

Nella fase successiva viene richiesto di segnare quali dati verranno raccolti in sito, da cui si intuirà il livello di dettaglio dei risultati. La mancanza di determinati set di dati rende inutilizzabili dei comandi successivi e i relativi output. Per esempio, se non si suddivide il territorio in sottounità (stratification, paragrafo 2.2.2), non si potranno distinguere gli alberi dei diversi quartieri e non verranno stilati i grafici per ciascun lotto, ma solamente per l'intera area considerata.

Segue, poi, la fase di inserimento dei dati appena selezionati. Sulle modalità di misurazione degli alberi in campo si rimanda all'Appendice 1. Nel caso del Parco Cascina Vigna si dispone di un inventario degli alberi, concesso dal Comune di Carmagnola, che viene direttamente importato nel programma. Durante il rilevo, realizzato nel 2011,

sono stati registrati la specie, il diametro (non viene specificata l'altezza a cui è stata fatta la misurazione, ma si suppone che si pari a 4.5 piedi dal piano campagna come vuole la definizione di DBH) e l'altezza totale per ogni pianta e i dati sono stati inseriti in un foglio di calcolo. Si hanno in totale 279 alberi di 29 specie differenti. In Tabella 3.1 viene riportato il numero di alberi per ogni specie presente nel parco e la relativa percentuale sul numero totale.

Nella processo di upload dell'inventario viene richiesto all'utente di specificare il contenuto di ogni colonna del foglio di calcolo, in modo che il programma associ i valori alle rispettive voci. Solamente l'acquisizione di specie e diametro è imposta, gli altri dati sono opzionali, coerentemente con quanto descritto nel paragrafo 2.2.3.

Considerando che nel censimento degli alberi del parco non viene specificato l'uso del suolo su cui giacciono le piante e non si evidenziano distinzioni nette tra zone differenti, non si ritiene utile eseguire la "statificazione" dell'area di progetto.

In conclusione alla fase di inserimento dati, è possibile indicare i prezzi di energia elettrica (€/KWh), riscaldamento (€/Therm⁷), carbonio (€/ton) e deflussi d'acqua evitati⁸ (€/m³). È un'operazione facoltativa, lasciata all'iniziativa da parte dell'utente di individuare i valori specifici del proprio Paese. Sono disponibili importi di default relativi alle condizioni statunitensi. I valori assunti per il progetto sono stati reperiti dal web [S10], [S11], [S12] e si rivelano assolutamente indicativi:

• energia elettrica: 0.24 €/KWh

riscaldamento: 2.93 €/Therm (0.10 €/KWh)

carbonio: 81.98 €/ton

deflussi evitati: 1.902 €/m³ (default)

-

 $^{^{7}}$ 1 Therm = 29.3071 KWh

⁸ Valore monetario del deflusso delle acque piovane evitato grazie all'intercettazione delle precipitazioni da parte degli alberi. Viene stimato in base ai danni economici associati al deflusso e ai costi del controllo delle acque piovane (Glossario di i-Tree Eco [S2]).

Nome scientifico	Nome comune ⁹	Nome Hydro	Numero	%
Platanus x acerifolia	Platano ibrido	London Plane	106	37.99%
Tilia cordata	Tiglio selvatico	Littleleaf linden	36	12.90%
Betula pendula	Betulla verrucosa	European white birch	21	7.53%
Quercus rubra	Quercia rossa	Northern red oak	13	4.66%
Aesculus hippocastanum	Ippocastano	Horse chestnut	12	4.30%
Liquidambar styraciflua	Noce satinato	Sweetgum	12	4.30%
Liriodendron tulipifera	Liriodendro	Tulip tree	10	3.58%
Pinus strobus	Pino strobo	Eastern white pine	10	3.58%
Ginkgo biloba	Ginkgo	Ginkgo	7	2.51%
Fraxinus excelsior	Frassino comune	European ash	6	2.15%
Acer saccharinum	Acero saccarino	Silver maple	5	1.79%
Fagus sylvatica 'Purpurea'	Faggio occidentale	Copper beech	5	1.79%
Acer campestre	Acero campestre	Hedge maple	4	1.43%
Carpinus betulus	Carpino bianco	European hornbeam	4	1.43%
Cedrus deodara	Cedro dell'Himalaya	Deodar cedar	3	1.08%
Cercis siliquastrum	Albero di Giuda	Arbol de judea	3	1.08%
Magnolia x soulangiana	Magnolia alessandrina	Saucer magnolia	3	1.08%
Metasequoia	Metasequoia	Dawn redwood spp	3	1.08%
Prunus serrulata	Ciliegio giapponese	Japanese cherry	3	1.08%
Acer negundo	Acero americano	Boxelder	2	0.72%
Pterocarya fraxinifolia	Noce del Caucaso	Caucasian Wingnut	2	0.72%
Ulmus pumila	Olmo siberiano	Siberian elm	2	0.72%
Acer platanoides	Acero riccio	Norway maple	1	0.36%
Acer pseudoplatanus	Acero bianco	Sycamore maple	1	0.36%
Juglans nigra	Noce nero	Black walnut	1	0.36%
Pinus nigra	Pino nero	Austrian pine	1	0.36%
Populus nigra	Pioppo nero	Black poplar	1	0.36%
Prunus avium	Ciliegio selvatico	Sweet cherry	1	0.36%
Prunus pissardi	Mirabolano	Purpleleaf plum	1	0.36%

Tabella 3.1: raggruppamento degli alberi per specie. La colonna "Nome Hydro" riporta i nomi comuni delle specie riconosciuti dal programma

_

⁹ Index Plantarum Florae Italicae [46]

3.1.2. Risultati

Terminata la fase di importazione dei dati in i-Tree Eco, si trasmette telematicamente il progetto al Server che ne esegue la simulazione. Grazie alla contenuta dimensione dei dati consegnati al calcolatore è sufficiente circa un'ora di attesa prima di ricevere i risultati. I report recapitati all'utente sono numerosi e ricchi di informazioni utili. Verranno esposti nelle prossime pagine solo alcuni di questi, reputati più significativi.

Il primo documento è un report nel quale vengono riassunti i risultati dell'analisi con grafici e descrizioni (Allegato 1). Viene generato automaticamente perciò il layout è il medesimo per ogni progetto e variano solamente i contenuti. Se si vogliono conoscere più nel dettaglio gli esiti dell'analisi si esamineranno gli elaborati descritti schematicamente di seguito.

Composizione e struttura

Vengono conteggiati gli alberi elencati dall'utente, suddivisi per specie (come riportato in Figura 3.4), per sottounità, se sono state delimitate in fase di definizione del progetto, e per il continente di origine della specie. In seguito all'elaborazione del Server, il numero di alberi considerati si è ridotto a 278, sebbene nei dati trasmessi fossero presenti 279 alberi.

Si fraziona il range entro cui può variare il diametro (0 – 182.9 cm) in intervalli uguali, dopodiché si diagramma la distribuzione dei diametri misurati, distinti per ciascuna specie. In Figura 3.4 vengono rappresentate soltanto le specie che contano il maggior numero di alberi.

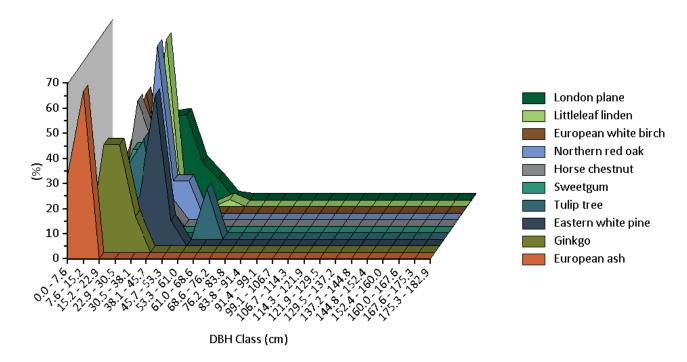


Figura 3.4: distribuzione dei diametri per le principali specie del parco

Gli stessi valori percentuali sono riportati in formato tabulare.

Benefici economici e costi

I benefici sono funzione dei prezzi citati nel paragrafo 3.1.1 e vengono riportati in Tabella 3.2.

Species	Trees	Carbon S	torage	Gross Carbon Sec	questration	Avoided	Runoff	Pollution Re	moval	Structural Value
	Number	(metric ton)	(€)	(metric ton/yr)	(€/yr)	(m³/yr)	(€/yr)	(metric ton/yr)	(€/yr)	(€)
Hedge maple	4	0.06	4.73	0.01	0.74	0.39	0.74	0.00	22.05	1,386.94
Boxelder	2	0.93	76.54	0.03	2.61	1.30	2.48	0.00	73.82	3,450.93
Norway maple	1	0.17	14.18	0.01	0.76	0.56	1.07	0.00	31.76	1,447.88
Sycamore maple	1	0.07	5.63	0.01	0.46	0.33	0.64	0.00	18.92	794.12
Silver maple	5	0.44	36.41	0.02	2.01	1.87	3.56	0.00	105.89	4,372.90
Horse chestnut	12	2.19	179.74	0.12	9.70	6.93	13.19	0.00	392.59	17,150.94
European white birch	21	2.94	241.13	0.19	15.82	4.91	9.33	0.00	277.78	22,826.76
European hornbeam	4	0.26	21.30	0.02	1.77	1.11	2.11	0.00	62.94	3,253.62
Deodar cedar	3	1.22	100.28	0.03	2.62	1.58	3.01	0.00	89.51	13,228.64
Arbol de judea	3	0.05	3.94	0.01	0.55	0.27	0.52	0.00	15.46	964.90
Copper beech	5	1.46	119.79	0.07	5.62	3.88	7.38	0.00	219.68	10,681.66
European ash	6	0.08	6.42	0.01	0.93	0.53	1.00	0.00	29.84	2,035.10
Ginkgo	7	0.72	59.34	0.05	4.07	1.67	3.18	0.00	94.75	8,520.80
Black walnut	1	0.23	19.12	0.01	0.96	0.87	1.65	0.00	49.00	1,739.52
Sweetgum	12	0.99	80.84	0.05	3.71	3.65	6.94	0.00	206.55	18,488.72
Tulip tree	10	3.15	257.84	0.12	9.55	8.03	15.27	0.00	454.55	27,037.81
Saucer magnolia	3	0.15	12.04	0.01	0.90	0.43	0.82	0.00	24.33	1,652.12
dawn redwood spp	3	0.36	29.68	0.02	1.33	1.50	2.85	0.00	84.90	6,074.88
Austrian pine	1	0.05	3.74	0.00	0.22	0.19	0.36	0.00	10.71	1,057.88
Eastern white pine	10	1.96	160.66	0.08	6.36	4.44	8.44	0.00	251.22	26,689.06
London plane	106	45.14	3,700.93	1.73	141.97	99.81	189.84	0.06	5,650.97	280,975.94
Black poplar	1	1.28	104.55	0.03	2.47	1.04	1.98	0.00	58.87	3,915.46
Sweet cherry	1	0.02	1.53	0.00	0.24	0.10	0.19	0.00	5.53	476.96
Japanese cherry	3	0.12	9.49	0.01	1.09	0.38	0.73	0.00	21.60	1,718.80
Caucasian Wingnut	2	0.56	45.84	0.03	2.06	1.02	1.94	0.00	57.88	3,911.51
Northern red oak	13	4.89	400.73	0.21	17.14	7.31	13.90	0.00	413.63	33,740.76
Littleleaf linden	36	5.70	467.46	0.26	21.67	17.60	33.48	0.01	996.51	76,057.03
Siberian elm	2	6.37	522.05	0.02	1.98	2.76	5.26	0.00	156.53	11,168.42
Total	278	81.56	6,685.95	3.16	259.33	174.47	331.84	0.11	9,877.77	584,820.07

Tabella 3.2: benefici economici prodotti dalla vegetazione del parco suddivisi per specie

Le definizioni dei termini che compaiono nella tabella vengono richiamate dal Glossario del manuale di i-Tree Eco [S2]:

- Carbon Storage: misura del carbonio che viene immagazzinato all'interno degli alberi. Rappresenta la quantità di carbonio che si accumula nelle parti in superficie e nel suolo della vegetazione legnosa;
- *Gross Carbon Sequestration*: misura del carbonio (sotto forma di anidride carbonica) che viene rimosso dall'atmosfera dagli alberi. Net Sequestration è, invece, pari alla quantità lorda (Gross) depurata dalle emissioni di carbonio dovute alla decomposizione dopo la morte dell'albero, ma questo termine non compare in Tabella 3.2 poiché non sono stati rilevate piante appassite;
- Avoided Runoff: misura del deflusso delle acque piovane che viene evitato grazie all'intercettazione delle precipitazioni da parte degli alberi, che trattengono parzialmente le precipitazioni sulle loro foglie, riversando al suolo il volume in eccesso. Viene stimata confrontando i deflussi superficiali in presenza degli alberi e quelli che si verificherebbero in loro assenza. Una descrizione più dettagliata viene fornita nel paragrafo 3.3;

■ *Pollution Removal*: misura dell'inquinamento atmosferico che viene rimosso dall'atmosfera dagli alberi. Viene calcolata per il biossido di azoto (NO₂), il biossido di zolfo (SO₂), l'ozono (O₃), il monossido di carbonio (CO) e il particolato inferiore a 2.5 micron (PM_{2.5}). Il valore monetario è stimato in base ai danni economici associati all'aumento delle emissioni inquinanti e all'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana.

Vengono calcolate le quantità di inquinanti rimossi dall'atmosfera per ogni mese dell'anno, come raffigurato in Figura 3.5, dove viene rappresentata anche la somma delle sostanze inquinanti.

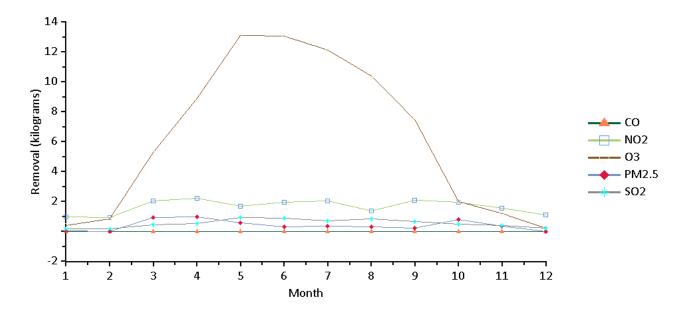


Figura 3.5: rimozione degli inquinanti atmosferici nel corso dell'anno in esame

L'ossigeno generato dall'insieme di tutti gli alberi viene stimato pari a 8.4 ton. In questo caso non si ha una distinzione delle specie, ma viene calcolata la produzione per ogni albero.

Lato svantaggi, si considerano le emissioni di composti organici volatili (COV o VOC) suddivise per ciascuna specie (Tabella 3.3). Tuttavia, non vengono associati i danni economici causati dalla diffusione di questi composti.

Vengono, quindi, esposti i costi originati da acquisto e piantumazione di nuove piante, abbattimento e rimozione, potatura, irrigazione, gestione dei parassiti, pulizia e altre forme di manutenzione. Queste operazioni vanno previste in fase di definizione del progetto, stabilendo quali fondi si potranno stanziare per l'amministrazione del parco. In questo modo viene stilato un bilancio economico, determinando il tornaconto derivante dall'area verde. Nel presente caso studio non sono stati introdotti questi dati, pertanto il risultato non è disponibile.

Species Name	Monoterpene (kg/yr)	Isoprene (kg/yr)	Total VOCs (kg/yr)
Arbol de judea	0.0	0.0	0.0
Austrian pine	0.1	0.0	0.1
Black poplar	0.0	0.7	0.7
Black walnut	0.2	0.0	0.2
Boxelder	0.2	0.0	0.2
Caucasian Wingnut	0.2	0.0	0.2
Copper beech	0.1	0.0	0.1
dawn redwood spp	0.3	0.0	0.3
Deodar cedar	0.5	0.0	0.5
Eastern white pine	1.1	0.0	1.1
European ash	0.0	0.0	0.0
European hornbeam	0.1	0.0	0.1
European white birch	0.1	0.0	0.1
Ginkgo	0.3	0.0	0.3
Hedge maple	0.0	0.0	0.0
Horse chestnut	0.0	0.0	0.0
Japanese cherry	0.0	0.0	0.0
Littleleaf linden	0.0	0.0	0.0
London plane	0.5	20.5	21.0
Northern red oak	0.1	5.2	5.3
Norway maple	0.1	0.0	0.1
Saucer magnolia	0.1	0.0	0.1
Siberian elm	0.0	0.0	0.0
Silver maple	0.2	0.0	0.2
Sweet cherry	0.0	0.0	0.0
Sweetgum	0.6	1.5	2.1
Sycamore maple	0.0	0.0	0.0
Tulip tree	0.1	0.0	0.1
Total	5.1	28.0	33.1

Tabella 3.3: emissioni COV per ogni specie del parco

Un ulteriore risultato dell'analisi è l'effetto della vegetazione sui raggi UV: si confronta l'irraggiamento che si ha in assenza degli alberi con quello che filtra attraverso di essi. La capacità di bloccare le radiazioni UV tramite la chioma viene ritenuta dal programma come un beneficio a favore della salute delle persone, dal momento che l'ombra proiettata dal fogliame protegge da eccessive esposizioni ai raggi solari. Questa funzionalità è disponibile esclusivamente se si realizza la suddivisione del territorio in sottounità, di conseguenza non si dispone di alcun report.

Dettagli degli alberi misurati

All'interno di una tabella vengono riassunte le seguenti caratteristiche, o dettagli per usare la stessa terminologia del programma, per ogni albero:

- numero progressivo, specie, diametro e altezza, introdotti tramite l'inventario
- area di copertura fogliare (m²)
- salute della pianta, "Discreta" se non specificata dall'utente
- superficie fogliare, ottenuta moltiplicando la copertura fogliare per il LAI (m²)
- biomassa della chioma (Kg)
- area del fusto (m²)
- posizionato sulla strada, "NO" di default
- originario della nazione in cui vive ("SI" o "NO")

Parimenti, si realizza una descrizione di alcune di queste caratteristiche per le specie (Tabella 3.4).

Species Name	Tree (ount	Canopy Cover (m²)		Leaf Area (ha)		Leaf Biomass (kg)		Basal Area (m²)	
	Value	%	Value	%	Value	%	Value	%	Value	%
Arbol de judea	3	1.1	44.6	0.3	<0.1	0.2	9.5	0.2	<0.1	0.1
Austrian pine	1	0.4	24.6	0.1	<0.1	0.1	9.9	0.2	<0.1	0.2
Black poplar	1	0.4	158.4	0.9	0.1	0.6	40.8	0.8	0.4	1.4
Black walnut	1	0.4	62.2	0.4	<0.1	0.5	37.7	0.7	0.1	0.3
Boxelder	2	0.7	142.0	0.8	0.1	0.7	64.8	1.2	0.3	1.0
Caucasian Wingnut	2	0.7	130.8	0.8	0.1	0.6	44.5	0.8	0.2	0.7
Copper beech	5	1.8	402.5	2.3	0.2	2.2	105.5	2.0	0.4	1.4
dawn redwood spp	3	1.1	91.6	0.5	0.1	0.9	46.1	0.9	0.3	0.9
Deodar cedar	3	1.1	83.6	0.5	0.1	0.9	134.6	2.5	0.8	2.6
Eastern white pine	10	3.6	448.4	2.6	0.2	2.5	155.1	2.9	1.3	4.3
European ash	6	2.2	74.8	0.4	<0.1	0.3	30.5	0.6	<0.1	0.2
European hornbeam	4	1.4	155.1	0.9	0.1	0.6	36.4	0.7	0.1	0.4
European white birch	21	7.6	417.3	2.4	0.3	2.8	158.4	3.0	1.0	3.5
Ginkgo	7	2.5	219.1	1.3	0.1	1.0	40.1	0.8	0.3	1.0
Hedge maple	4	1.4	57.0	0.3	<0.1	0.2	11.9	0.2	<0.1	0.1
Horse chestnut	12	4.3	645.5	3.7	0.4	4.0	263.6	5.0	0.8	2.8
Japanese cherry	3	1.1	57.6	0.3	<0.1	0.2	16.0	0.3	0.1	0.2
Littleleaf linden	36	12.9	1,741.5	10.0	1.0	10.1	716.7	13.6	3.1	10.5
London plane	106	38.1	9,671.2	55.6	5.4	57.2	2,492.1	47.2	14.5	49.2
Northern red oak	13	4.7	890.1	5.1	0.4	4.2	316.4	6.0	1.5	5.1
Norway maple	1	0.4	52.8	0.3	<0.1	0.3	16.5	0.3	0.1	0.2
Saucer magnolia	3	1.1	63.4	0.4	<0.1	0.2	15.6	0.3	0.1	0.2
Siberian elm	2	0.7	363.4	2.1	0.2	1.6	102.4	1.9	1.8	5.9
Silver maple	5	1.8	230.6	1.3	0.1	1.1	53.5	1.0	0.2	0.8
Sweet cherry	1	0.4	15.9	0.1	<0.1	0.1	4.1	0.1	<0.1	<0.1
Sweetgum	12	4.3	419.7	2.4	0.2	2.1	91.0	1.7	0.8	2.7
Sycamore maple	1	0.4	34.2	0.2	<0.1	0.2	12.7	0.2	<0.1	0.1
Tulip tree	10	3.6	693.7	4.0	0.4	4.6	257.3	4.9	1.2	4.1
Total	278	100	17,391.8	100	9.5	100	5,283.7	100	29.5	100

Tabella 3.4: caratteristiche delle specie analizzate da i-Tree Eco

In questa sezione vengono ripetuti i risultati descritti in "Benefici economici e costi", ma espressi per ogni albero in formato tabulare: Carbon Storage e Sequestration, Avoided Runoff, Pollution Removal ed emissioni di COV.

Analisi dei parassiti

Questa analisi rientra tra i servizi aggiuntivi descritti nel paragrafo 2.2.5 e dipende fortemente dal livello di dettaglio con cui si sono registrati i sintomi generati da malattie e parassiti e le cause che hanno portato al contagio.

Se non vengono introdotti dati specifici, il programma eseguirà un'analisi sulla suscettibilità delle specie presenti sul territorio ad una possibile diffusione di 36 varietà di parassiti. Si distinguono gli alberi esposti al rischio di contaminazione da quelli immuni e si stimano i potenziali danni economici. Si determinano, in aggiunta, le superfici occupate da alberi soggetti al contagio e la percentuale dell'area di progetto a rischio (Tabella 3.5).

Si precisa che la panoramica descritta in questo report non rappresenta la situazione reale, per la quale sono necessari sopraluoghi che forniscano una relazione sulla salute

della vegetazione (i-Tree Pest Detection). In base ai sintomi visionati in sito e introdotti nel programma, il Server genererà degli elaborati sulle condizioni del parco, specificando la percentuale di alberi affetti per ogni specie, le patologie più diffuse e le cause predominanti.

	Number	of Trees	Structural Value (€)		Leaf Area (%)		
Pest Name	Susceptible	Not susceptible	Susceptible	Not susceptible	Susceptible	Not susceptible	
Aspen Leafminer	0	278	0	584,820	0	100	
Asian Longhorned Beetle	48	230	62,599	522,221	10.9	89.1	
Beech Bark Disease	0	278	0	584,820	0	100	
Butternut Canker	0	278	0	584,820	0	100	
Balsam Woolly Adelgid	0	278	0	584,820	0	100	
Chestnut Blight	0	278	0	584,820	0	100	
Dogwood Anthracnose	0	278	0	584,820	0	100	
Douglas-fir Root Disease	0	278	0	584,820	0	100	
Dutch Elm Disease	2	276	11,168	573,652	1.6	98.4	
Douglas-Fir Beetle	0	278	0	584,820	0	100	
Emerald Ash Borer	6	272	2,035	582,785	0.3	99.7	
Fir Engraver	0	278	0	584,820	0	100	
Fusiform Rust	0	278	0	584,820	0	100	
Gypsy Moth	83	195	155,029	429,791	19.8	80.2	
Goldspotted Oak Borer	0	278	0	584,820	0	100	
Hemlock Woolly Adelgid	0	278	0	584,820	0	100	
Jeffrey Pine Beetle	0	278	0	584,820	0	100	
Large Aspen Tortrix	21	257	22,827	561,993	2.8	97.2	
Laurel Wilt	0	278	0	584,820	0	100	
Mountain Pine Beetle	0	278	0	584,820	0	100	
Northern Spruce Engraver	0	278	0	584,820	0	100	
Oak Wilt	13	265	33,741	551,079	4.2	95.8	
Pine Black Stain Root Disease	0	278	0	584,820	0	100	
Port-Orford Root Disease	0	278	0	584,820	0	100	
Pine Shoot Beetle	11	267	27,747	557,073	2.7	97.3	
Polyphagous Shot Hole Borer	2	276	3,451	581,369	0.7	99.3	
Spruce Beetle	0	278	0	584,820	0	100	
Spruce Budworm	0	278	0	584,820	0	100	
Sudden Oak Death	13	265	33,741	551,079	4.2	95.8	
Southern Pine Beetle	11	267	27,747	557,073	2.7	97.3	
Sirex Wood Wasp	11	267	27,747	557,073	2.7	97.3	
Thousand Canker Disease	1	277	1,740	583,081	0.5	99.5	
Winter Moth	25	253	58,573	526,247	8.6	91.4	
Western Pine Beetle	0	278	0	584,820	0	100	
White Pine Blister Rust	10	268	26,689	558,131	2.5	97.5	
Western Spruce Budworm	0	278	0	584,820	0	100	
All Pests	129	149	226,799	358,021	31.4	68.6	

Tabella 3.5: suscettibilità della vegetazione del parco ad un'epidemia parassitaria

Inquinamento e dati meteorologici

Nella prima parte vengono rappresentati graficamente i dati registrati dalla strumentazione della stazione meteorologica e immessi nel Database: concentrazione degli inquinanti e altezze di pioggia. Sono, inoltre, diagrammate la temperatura e la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR)¹⁰ nell'arco dei 12 mesi dell'anno esaminato. Queste serie temporali di dati sono state misurate dalla stazione Bric della Croce che è situata ad un'altitudine maggiore rispetto a Carmagnola (mediamente 240 m s.l.m.), per cui possono risultare leggermente discordanti dalle condizioni del parco. Le grandezze vengono riportate in Figura 3.6 e Figura 3.7 e si può notare come i loro andamenti siano correlati fra loro.

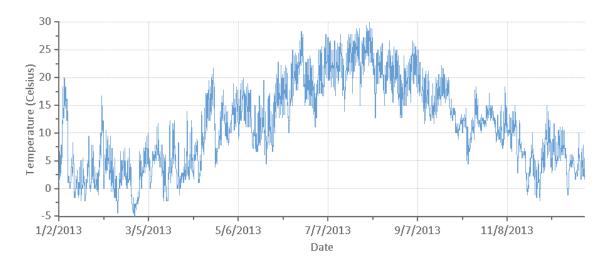


Figura 3.6: temperatura registrata a Bric della Croce nel 2013

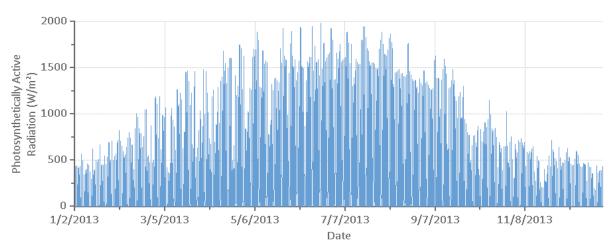


Figura 3.7: PAR registrato a Bric della Croce nel 2013

¹⁰ *Radiazione fotosinteticamente attiva (PAR)*: frazione della radiazione solare che si estende tra 400 e 700 nm e che fornisce l'energia necessaria alle piante per generare la fotosintesi clorofilliana [16].

Nella seconda parte l'utente può usufruire di grafici e tabelle nei quali vengono esposti la traspirazione e l'evaporazione (separati oppure congiunti come in Figura 3.8), i deflussi evitati e il miglioramento della qualità dell'aria. Questi ultimi due termini sono già stati menzionati nella sezione "Benefici economici e costi", ma si hanno delle differenze: i deflussi vengono rappresentati graficamente in funzione del tempo (Figura 3.9), mentre i composti inquinanti sono espressi in percentuale e illustrati separatamente uno dall'altro. Tra questi viene selezionato l'ozono come esempio (Figura 3.10).

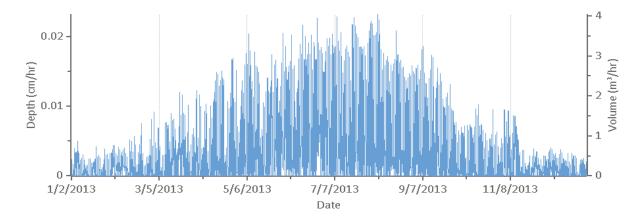


Figura 3.8: evapotraspirazione

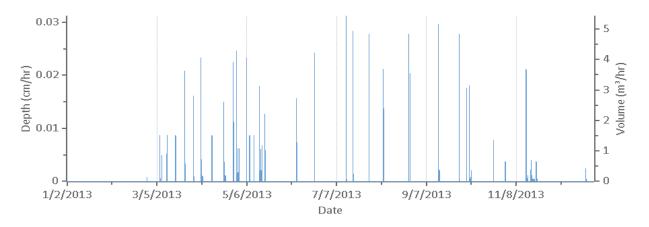


Figura 3.9: deflussi evitati

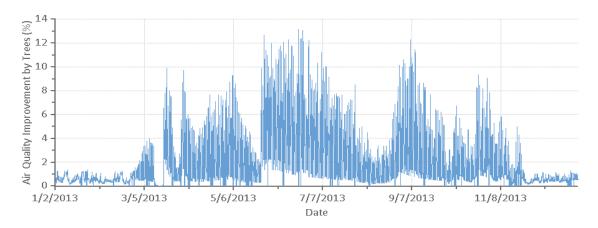


Figura 3.10: percentuale di ozono rimosso dall'atmosfera

Si sono riscontrate delle ripetizioni di alcuni risultati nei report esposti. Le concentrazioni di inquinanti, per esempio, vengono stimate per ogni albero, per le diverse specie, per ogni sottounità e per l'intero parco, si riporta il valore complessivo annuo o l'andamento nel tempo e per tutti questi risultati sono presenti i diagrammi e i valori tabulati, assoluti e in percentuale. In questo modo si considerano tutti gli sviluppi generati dal programma e l'utente ha la possibilità di scegliere il formato più consono alle proprie esigenze.

3.1.3. Previsioni future

Forecast è uno dei servizi aggiuntivi di i-Tree Eco che permette di prevedere l'evoluzione dell'ecosistema che si sta studiando. Facendo riferimento alle indicazioni presentate nel paragrafo 2.2.5, si ipotizzano due scenari futuri, individuando lo sviluppo della vegetazione in entrambi i casi.

Le variabili di progetto assunte per gli scenari esaminati sono le seguenti:

- numero di anni della previsione: 30, valore di deafult;
- numero di giorni all'anno con temperatura maggiore a 0 °C: 275 (si suppone che per 3 mesi all'anno la temperatura scenda al di sotto di 0 °C almeno una volta al giorno);
- tasso di mortalità annua: 3 % per alberi sani (0-49 % dieback, vedi Appendice 1),
 13.1 % per alberi malati (50-74 % dieback), 50 % per alberi morenti (75-99 % dieback), valori di default.

Le variabili inserite possono essere cambiate in qualunque momento, ripetendo la simulazione e ottenendo nuovi risultati.

Non è indispensabile introdurre cambiamenti o eventi futuri nel progetto: senza variazioni si può seguire la mutazione del parco a partire dalle condizioni attuali. Si considera, però, più interessante immaginare dei possibili interventi/condizioni climatiche avverse per esporre le potenzialità dello strumento.

Piantumazione

Il primo scenario presume di inserire nel parco delle nuove piante secondo questo prospetto:

- 30 alberi di diametro pari a 5 cm nel 2016, 3° anno della previsione
- 20 alberi di diametro pari a 25 cm nel 2023, 10° anno della previsione
- 15 alberi all'anno di diametro pari a 18 cm dal 2035 al 2040, 22° e 27° anno della previsione

Il programma non permette di specificare la specie delle piante aggiunte. I risultati, grafici e tabulati, comprendono una sezione che riguarda la composizione e la struttura del parco e un'altra dove vengono considerati i benefici. All'interno della prima sezione si hanno le previsioni sull'andamento di numero di alberi, copertura della vegetazione arborea, diametro, LAI e biomassa della chioma.

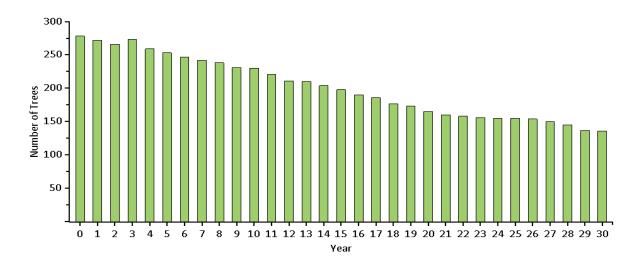


Figura 3.11: previsione del numero degli alberi del parco nel tempo

Dalla Figura 3.11 si nota chiaramente come il numero degli alberi si riduca considerevolmente, giungendo ad un valore di 136 nel 2043. La causa potrebbe essere un tasso di mortalità eccessivo che sovrastima il decadimento delle piante. Le piantumazioni ipotizzate sono poco percettibili, ma concentrando l'attenzione sugli anni in cui vengono innestate le nuove piante ci si accorge di una lieve crescita o, almeno, di un'interruzione della decrescita.

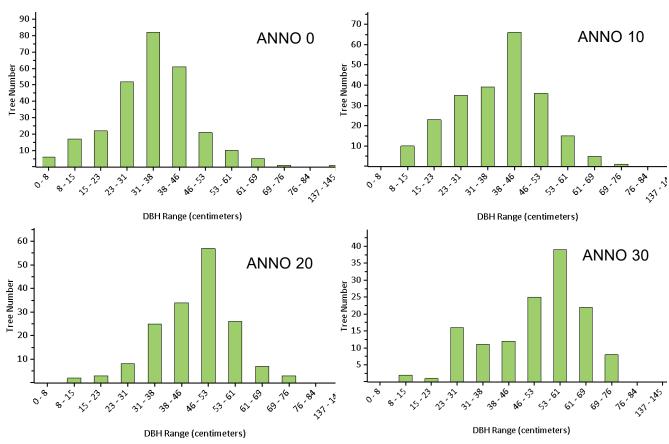


Figura 3.12: previsione della distribuzione dei diametri nel tempo

Nei quattro grafici riportati in Figura 3.12 si apprezza l'evoluzione dei diametri nel corso degli anni. La mediana si sposta verso valori sempre maggiori, fenomeno che dimostra la crescita del fusto. Osservando il numero degli alberi in ordinata si registra anche qui una netta riduzione. L'innalzamento in corrispondenza del diametro compreso fra 23 e 31 cm distinguibile nel grafico del 30° anno è provocato dalla piantumazione degli alberi di diametro pari a 18 cm che negli ultimi anni di previsione subiscono una crescita tale da superare i 23 cm.

Un fattore più difficile da intuire è l'incremento dell'indice di area fogliare che implica un infoltimento delle chiome (Figura 3.13).

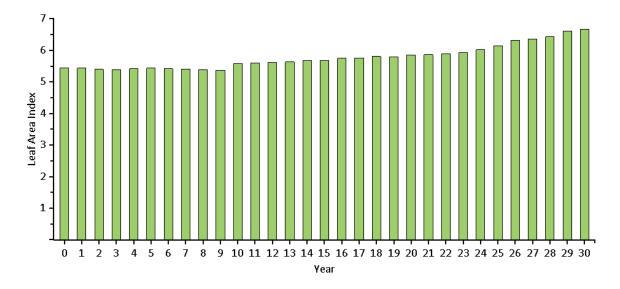


Figura 3.13: previsione del LAI nel tempo

Tra i benefici si hanno il sequestro e lo stoccaggio di carbonio e la rimozione degli inquinanti.

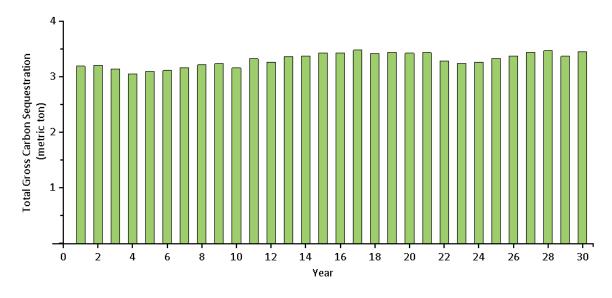
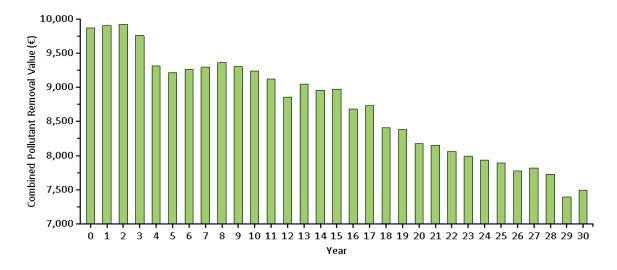


Figura 3.14: previsione del sequestro del carbonio nel tempo

L'andamento del carbonio sequestrato all'atmosfera (Figura 3.14) risulta altalenante e rispecchia approssimativamente quello del carbonio immagazzinato negli alberi.

La rimozione degli inquinanti e i conseguenti vantaggi economici subiscono un importante mutamento (Figura 3.15), frutto di una riduzione dell'effetto benefico per ciascun composto: si stima un complessivo declino da 9878 € all'anno nel 2013 a 7494 € all'anno nel 2043.



 $Figura\ 3.15:\ previsione\ dei\ benefici\ economici\ derivanti\ dalla\ rimozione\ degli\ inquinanti$

Evento temporalesco

Mantenendo valido il programma di piantumazione del caso precedente, si prevede che nel 2030 (17° anno della previsione) si verifichi una tempesta di particolare intensità che incrementi il tasso di mortalità per quell'anno a 40 %.

Il numero di alberi subisce un brusco abbattimento in corrispondenza di quell'anno, come si poteva immaginare (Figura 3.16).

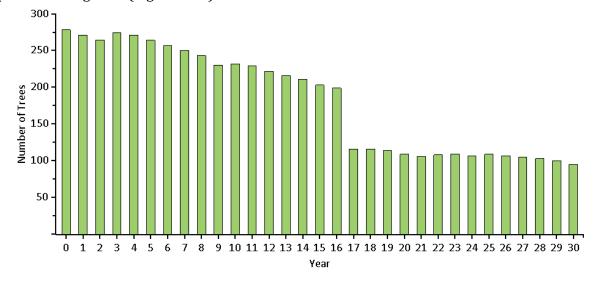


Figura 3.16: previsione del numero di alberi del parco nel tempo

In questa nuova simulazione si evidenziano nuovamente le lievi crescite in corrispondenza del 3° e del 10° anno che già caratterizzavano il caso con la sola piantumazione.

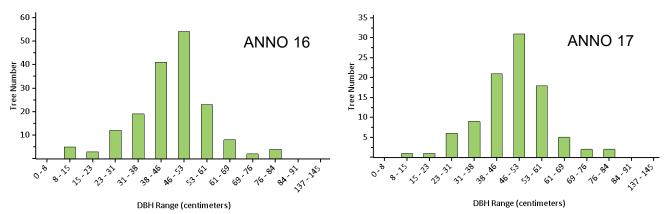


Figura 3.17: previsione della distribuzione dei diametri nel tempo

La distribuzione dei diametri non subisce variazioni considerevoli (Figura 3.17) dal momento che il tasso di mortalità provocato dalla tempesta viene applicato a tutte le classi in cui è suddiviso il range del diametro.

L'indice di area fogliare conserva lo stesso andamento previsto nello scenario precedente, mantenendo la crescita anche negli anni dopo il 17°.

I benefici vengono fortemente compromessi dall'evento, in particolare il profitto stimato dalla rimozione degli inquinanti viene sostanzialmente dimezzato alla fine dei 30 anni (Figura 3.18).

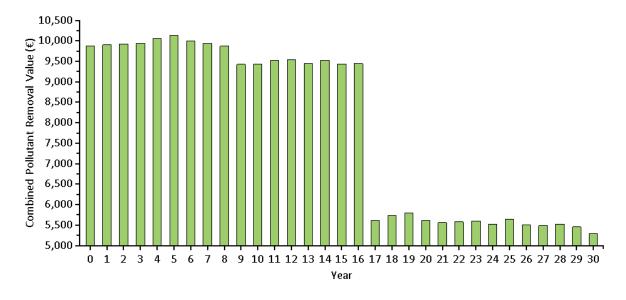


Figura 3.18: previsione dei benefici economici derivanti dalla rimozione degli inquinanti

3.2. Applicazione di i-Tree Hydro

Si concentra ora l'attenzione sul secondo software con cui si vuole eseguire la simulazione: i-Tree Hydro. Anche in questo caso il primo passo è effettuare il download del programma dalla pagina ufficiale di i-Tree [S2] per farne uso sul proprio PC.

L'area soggetta alla simulazione è nuovamente il Parco Cascina Vigna a Carmagnola. Viene inizialmente analizzato il caso base che descrive le condizioni attuali della zona in esame, dopodiché si ipotizzano dei cambiamenti dell'uso del suolo, definiti nel paragrafo 3.2.3 come "casi alternativi", determinando le variazioni dei deflussi e degli altri risultati che ne conseguono.

3.2.1. Inserimento dati

La fase di inserimento dei dati viene ripartita in tre step.

Step 1: informazioni dell'area di progetto

In questo ambito rientra il luogo di riferimento menzionato nel capitolo 2.3: si tratta della posizione dove viene realizzata l'analisi se si rientra negli USA, oppure della città statunitense le cui condizioni geoclimatiche più di avvicinano alla località estera nel caso di utenti internazionali. In modo molto approssimativo, per il progetto in questione si è scelta Minneapolis in Minnesota, capoluogo della contea di Hennepin.

Si indicano, quindi, le date di inizio e di fine simulazione e, per coerenza con l'applicazione realizzata con Eco, si sceglie l'anno 2013.

Successivamente si introduce nel programma il DEM (modello digitale del terreno) che descrive l'orografia del parco. I dati sono stati reperiti tramite il Geoportale della Regione Piemonte [S13], dove è disponibile una mappa digitale in formato raster con passo 10 m che ritrae tutto il territorio piemontese. Attraverso un programma GIS si è selezionata la porzione di interesse definendo un nuovo shapefile in formato ASCII, convertito poi in un file di testo di estensione DAT. Nella fase di upload del DEM viene richiesto di specificare la configurazione del progetto scegliendo fra Watershed e non-Watershed. L'analisi non rientra nel settore fluviale e si hanno molteplici punti di scarico delle acque, pertanto si opta per la seconda.

Vengono, inoltre, definiti in questa fase i dati pluviometrici. Si possono selezionare le serie temporali registrate da una stazione meteorologica specificata dall'utente. I dati statunitensi sono già implementati, mentre nelle altre località è necessario scaricare i dati orari dall'archivio del National Climatic Data Center [S6]. Sono presenti diverse stazioni nell'intorno di Carmagnola (le stesse raffigurate in Figura 3.3) e tra queste si è scelta quella situata al Bric della Croce (ID 160610-99999), già selezionata per il progetto di Eco. Il pluviogramma viene importato in Hydro sotto forma di file di testo. Nell'ipotesi di disporre di una stazione meteorologica più rappresentativa di quelle presenti nell'archivio

NCDC che registri le altezze di pioggia con frequenza oraria, si possono introdurre questi dati nel file da inserire nel programma (convertito in formato CSV) in sostituzione alle altezze già presenti. A Carmagnola sono presenti due pluviometri, ma i dati orari non sono accessibili gratuitamente e si reputano i dati del Bric della Croce sufficientemente idonei per questa analisi.

Step 2: copertura del terreno

Subentra in questa fase l'utilizzo dell'applicazione online i-Tree Canopy per definire le tipologie di copertura del terreno e quantificarne le percentuali rispetto alla superficie totale dell'area di progetto. Seguendo il procedimento esplicato nel paragrafo 2.3.4, si delimita il contorno del parco attraverso immagini satellitari (Figura 3.19).

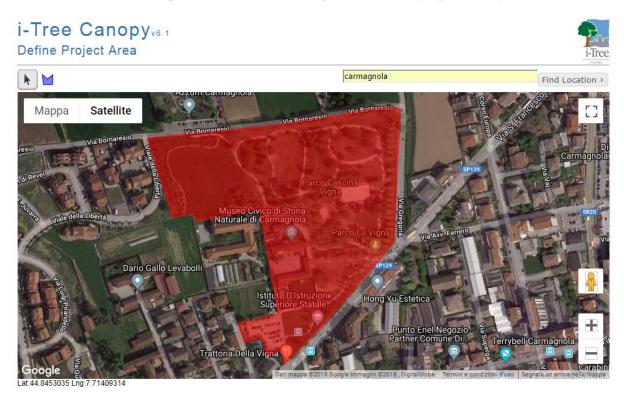


Figura 3.19: delimitazione del Parco Cascina Vigna con i-Tree Canopy

Si specificano le seguenti coperture:

- Tree Pervious: alberi su terreno permeabile
- Tree Impervious: alberi su terreno impermeabile
- Impervious Building: superfici impermeabili (senza vegetazione)
- Shrubs: arbusti
- Water: superfici a pelo libero
- Grass/Herbaceous: superfici con copertura erbacea
- Bare soil/Ground: terreno in assenza di vegetazione

Si è proceduto all'identificazione di mille punti sul territorio, classificando ciascuno di essi all'interno di una delle categorie qui elencate.

La scelta del numero di punti è arbitraria. Si giudica mille un numero proporzionato alle dimensioni dell'area esaminata che permetta di ottenere dei risultati di precisione accettabile, come mostrato nel report in Figura 3.20.

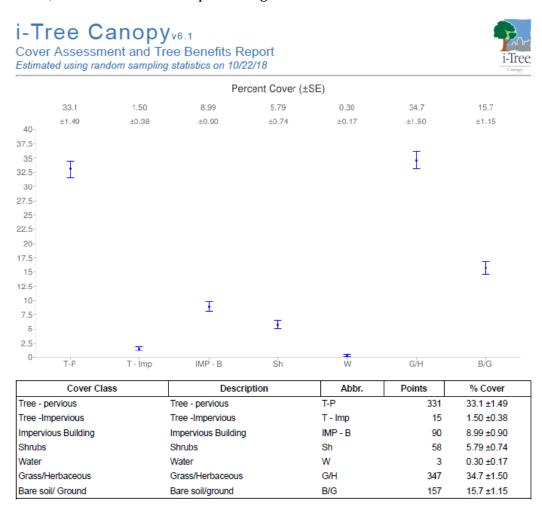


Figura 3.20: report delle percentuali di copertura del terreno

Si riportano, in aggiunta, gli esiti della valutazione economica dei benefici prodotti dall'ecosistema, rimarcando l'incerta attendibilità delle stime (Figura 3.21).

Tree Benefit Estimates

Abbr.	Benefit Description	Value (EUR)	±SE	Amount	±SE
СО	Carbon Monoxide removed annually	€0.18	±0.01	2.24 kg	±0.10
NO2	Nitrogen Dioxide removed annually	€0.31	±0.01	12.23 kg	±0.53
О3	Ozone removed annually	€16.36	±0.71	121.79 kg	±5.30
PM2.5	Particulate Matter less than 2.5 microns removed annually	€33.82	±1.47	5.92 kg	±0.26
SO2	Sulfur Dioxide removed annually	€0.05	±0.00	7.71 kg	±0.34
PM10*	Particulate Matter greater than 2.5 microns and less than 10 microns removed annually	€11.88	±0.52	40.80 kg	±1.77
CO2seq	Carbon Dioxide sequestered annually in trees	€838.96	±36.48	24.80 t	±1.08
CO2stor	Carbon Dioxide stored in trees (Note: this benefit is not an annual rate)	€21,152.71	±919.88	625.26 t	±27.19

Figura 3.21: quotazione monetaria del verde urbano

Le percentuali riportate in Figura 3.20 vengono trasferite in Hydro, dove vengono moltiplicate per la superficie totale del parco, approssimata a 60000 m² (6 ha), per ottenere le aree per ogni tipo di copertura.

Viene, poi, richiesto di specificare la Directly Connected Impervious Area (DCIA), un parametro definito come "la porzione di superficie impermeabile con una connessione idraulica diretta alla rete fognaria o ad un corso d'acqua attraverso superfici pavimentate continue, grondaie, tubi di scarico o altre strutture di trasporto e detenzione che non riducono il volume di deflusso" [47]. Si escludono, quindi, le superfici impermeabili isolate senza una connessione diretta al sistema fognario, ad un fiume o ad un altro corpo idrico. Basandosi sulle equazioni di Sutherland [47] [48], si stima la DCIA, in percentuale rispetto alla superficie totale, in funzione dell'area impermeabile, espressa anch'essa in percentuale (%IA):

$$DCIA_{Sutherland} = 0.1 \cdot (\%IA)^{1.5} = 0.1 \cdot (8.99)^{1.5} = 2.69$$

Il programma, tuttavia, richiede questo parametro espresso come la frazione della sola superficie impermeabile:

$$DCIA_{Hydro} = \frac{DCIA_{Sutherland}}{\%IA} \cdot 100 \cong 30\%$$

Si possono, infine, introdurre i valori del Leaf Area Index (LAI) per alberi, arbusti e specie erbacee e l'aliquota di alberi e arbusti sempreverdi. Non disponendo di valori caratteristici, si mantengono quelli di default pari a 4.7, 2.2, 1.6 per i LAI e 10% per le percentuali di sempreverdi.

Step 3: parametri idrologici

Attraverso questi parametri si può personalizzare dettagliatamente il modello in modo che rispecchi le condizioni idrogeologiche attuali dell'area di progetto. Secondo quanto descritto nei paragrafi 2.3.1 e 2.3.2, l'auto-calibrazione non è disponibile poiché si sta analizzando un'area non-Watershed e non disponendo dei valori specifici del parco, si mantengono i valori di default del programma. In questo step è possibile eseguire una classificazione di quello che può essere considerato il "terreno medio" dell'area di progetto. Il principio di contemplare un'unica tipologia di suolo semplifica notevolmente il modello, rappresentando nel contempo una riduzione dei parametri da determinare in sito e una limitazione delle potenzialità dell'analisi. In assenza di opportuni rilievi che caratterizzino il terreno, si suppone la presenza di argilla sabbiosa. In automatico il programma associa i valori dei termini che serviranno nel calcolo dei deflussi (vedi Appendice 2).

Al termine di questa ultima fase di inserimento dati si può eseguire il programma.

3.2.2. Risultati

i-Tree Hydro è in grado di generare molteplici output, descritti nel paragrafo 2.3.5. Si vedranno, ora, i prospetti più significativi dell'applicazione del programma al parco carmagnolese.

Dall'istogramma che descrive l'andamento dei deflussi (Figura 3.22), suddivisi in impervious flow, pervious flow e base flow, si può notare come i moti di filtrazione siano inconsistenti, cosicché i volumi di pioggia precipitati nell'unità di tempo vengono convertiti quasi del tutto in portate superficiali. Le cause principali possono essere la scarsa conducibilità del suolo (argilla sabbiosa) e la breve durata delle piogge.

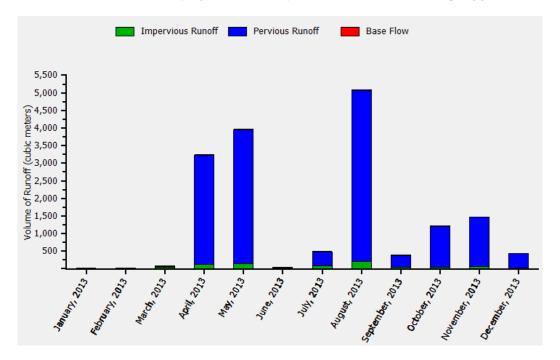


Figura 3.22: istogramma dei diversi tipi di deflusso

L'evento più critico si è presentato tra il 25 e il 27 agosto, quando per due giorni consecutivi l'intensità di pioggia ha subito un brusco innalzamento di breve durata nel tardo pomeriggio (temporali estivi), comportando dei picchi delle portate (Figura 3.23).

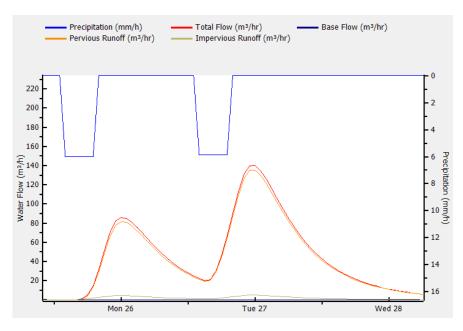


Figura 3.23: picchi di portata derivanti da eventi temporaleschi

Con questo esempio si vuole sottolineare la capacità da parte del software di mettere in evidenza i particolari dei risultati, permettendo all'utente di cogliere, in questo caso, il valore massimo delle portate conseguente alle piogge più intense. All'elaborato grafico vengono associati i valori tabulati.

Per quanto riguarda le concentrazioni di sostanze inquinanti, si può notare dal grafico in Figura 3.24 che si ha principalmente la presenza di materiale solido sospeso e sostanze organiche. Gli altri elementi, infatti, risultano nettamente più diluiti.

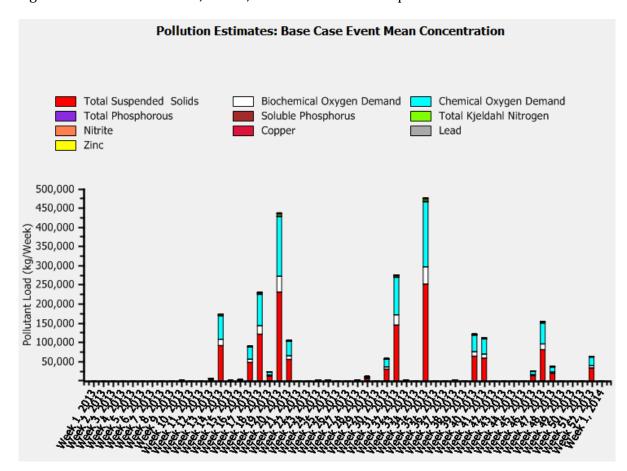


Figura 3.24: concentrazione di sostanze inquinanti

Si hanno, infine, i diagrammi dei volumi che caratterizzano il ciclo idrologico della vegetazione e del terreno sottostante. Nel primo vengono raffigurati i termini che riguardano l'intercettazione delle precipitazioni da parte della chioma degli alberi, l'immagazzinamento d'acqua sull'area vegetata e l'evaporazione dalla superficie esterna delle piante (Figura 3.25). Viene limitato l'intervallo temporale illustrato per facilitare la lettura dell'immagine. Per lo stesso motivo non sono stati inseriti gli altri termini elencati nel paragrafo 2.3.5.

Nel secondo grafico sono rappresentati gli andamenti dell'infiltrazione nel terreno e dell'evapotraspirazione dal suolo e dalle radici (Figura 3.26).

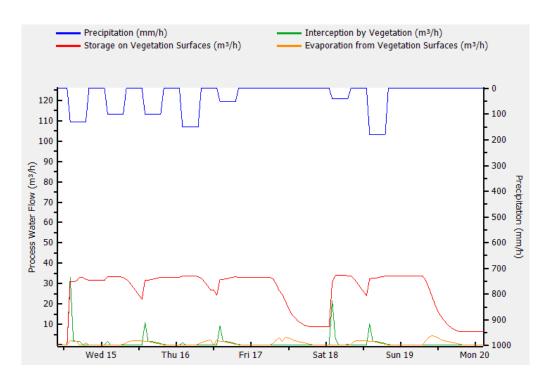


Figura 3.25: Idrologia della vegetazione

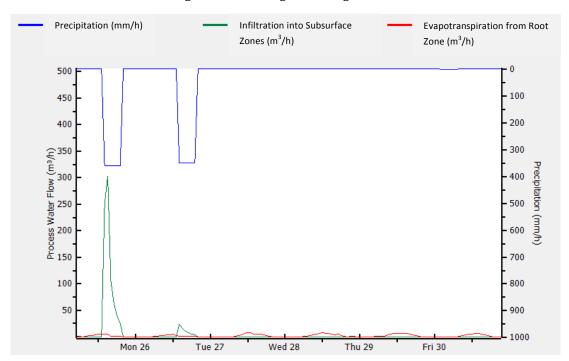


Figura 3.26: Idrologia del terreno

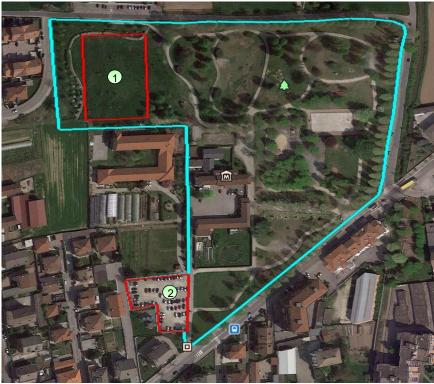
Si sono messi in luce due eventi di pioggia differenti che permettono di risaltare i fenomeni che interessano prima la vegetazione e poi il terreno. La prima precipitazione, di intensità minore e a intermittenza, dà origine a dei picchi dell'intercettazione fogliare e ad un innalzamento dell'acqua immagazzinata. L'andamento più impulsivo e di maggior intensità della seconda pioggia si rispecchia nei flussi di infiltrazione nel terreno. In entrambi i casi i termini di evaporazione ed evapotraspirazione si protraggono nei giorni che seguono le precipitazioni.

3.2.3. Casi alternativi

Si ipotizzano due casi alternativi alle condizioni attuali che rappresentano due potenziali interventi all'interno del parco.

Aumento della superficie impermeabile

Si prevede di usufruire di un'area prativa per la realizzazione di un campo da calcio in materiale sintetico impermeabile che ricopre una superficie pari a 6000 m² (Figura 3.27). In contemporanea, si suppone di pavimentare con materiale bituminoso il terreno adibito a parcheggio che attualmente si presenta con uno strato superficiale di ghiaia sabbiosa. Questo intervento interessa un'area di circa 2000 m² e incrementa la superficie impermeabile a discapito di una riduzione della tipologia denominata "Bare soil/Ground" (Figura 3.27).



- (1) Campo da calcio in materiale sintetico
- (2) Pavimentazione impermeabile del parcheggio

Figura 3.27: perimetrazione degli interventi

Le nuove percentuali da introdurre nella sezione "Copertura del terreno" sono descritte nella Tabella 3.6.

Tree - Pervious	33.1 %
Tree - Impervious	1.50 %
Impervious Building	22.32 %
Shrubs	5.79 %
Water	0.22 %
Grass/Herbaceous	24.70 %
Bare soil/Ground	12.37 %

Tabella 3.6: distribuzione delle coperture del terreno per il primo caso alternativo

In conseguenza alla variazione della superficie impermeabile, subirà una correzione anche la DCIA:

$$DCIA_{Sutherland} = 0.1 \cdot (\%IA)^{1.5} = 0.1 \cdot (22.32)^{1.5} = 10.54$$

$$DCIA_{Hydro} = \frac{DCIA_{Sutherland}}{\%IA} \cdot 100 = 47.24\%$$

I parametri idrologici rimangono inalterati. Si procede con l'esecuzione del programma e l'interpretazione dei risultati.

L'Executive Summary viene riportato nell'Allegato 2.

Un primo confronto si effettua sull'entità dei deflussi in Figura 3.28: l'aumento della percentuale di superficie impermeabile comporta logicamente un incremento dell'impervious flow e una riduzione del pervious flow. Nel complesso si ha una crescita del volume totale dato dalla somma dei tre termini.

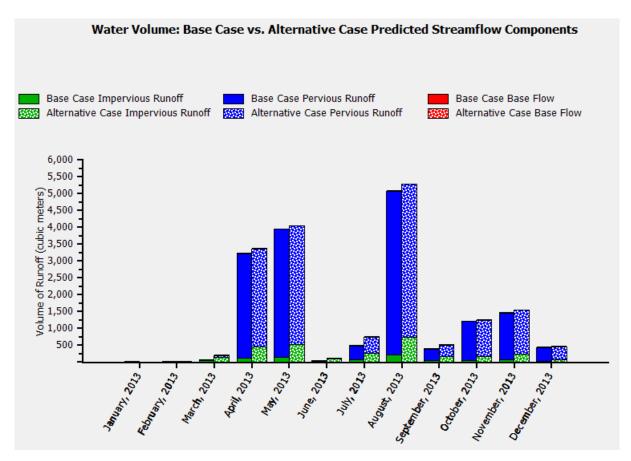


Figura 3.28: confronto fra i deflussi del caso base e del caso alternativo

Dagli istogrammi che riportano le concentrazioni degli inquinanti nella configurazione di base e nel caso alternativo (Figura 3.29) si può notare come anche le sostanze contaminanti subiscano un incremento a causa del cambiamento dell'uso del suolo.

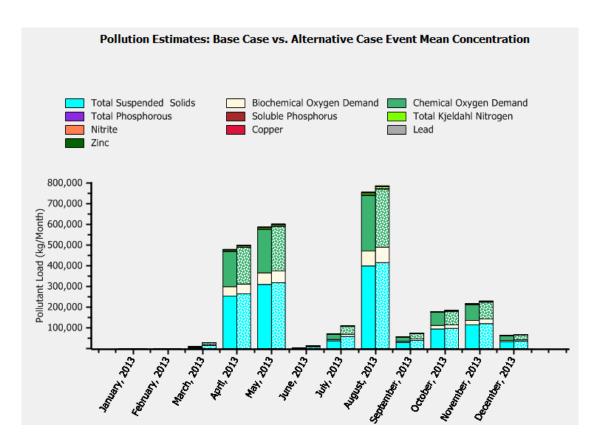


Figura 3.29: confronto fra gli inquinanti del caso base e del caso alternativo

Dall'idrologia della vegetazione e del terreno, come si può intuire, si ha una diminuzione dell'infiltrazione (Figura 3.30) e dell'evapotraspirazione, fattori che contribuiscono alla laminazione dei picchi di portata durante gli eventi di pioggia più intensi.

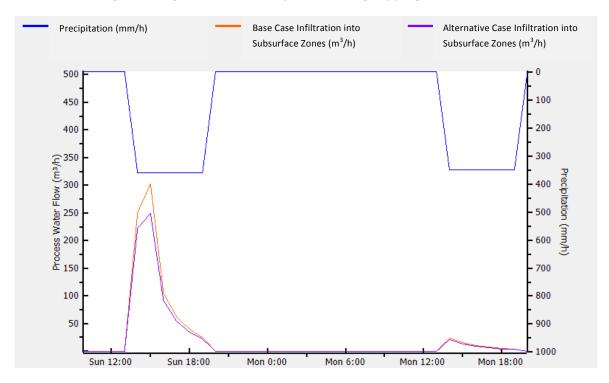


Figura 3.30: confronto fra l'infiltrazione nel terreno del caso base e del caso alternativo

Si è constatato, quindi, che la realizzazione degli interventi che convertono l'uso del suolo riducendone la permeabilità comporta cambiamenti svantaggiosi per la salute e la sicurezza dei cittadini.

Piantumazione alberi

Si ipotizza che il Comune di Carmagnola sia interessato a valutare le conseguenze derivanti dall'ampliamento della vegetazione arborea nel parco. In particolare si predispone la piantumazione di alberi su attuali $1000 \ m^2$ di superficie impermeabile, $1000 \ m^2$ di terreno senza vegetazione e $8000 \ m^2$ di manto erboso. Si avranno, dunque, le percentuali di copertura riportate in Tabella 3.7.

Tree - Pervious	49.77 %
Tree - Impervious	1.5 %
Impervious Building	7.32 %
Shrubs	5.79 %
Water	0.22 %
Grass/Herbaceous	21.37 %
Bare soil/Ground	14.03 %

Tabella 3.7: distribuzione delle coperture del terreno per il secondo caso alternativo

La DCIA, ripetendo i calcoli descritti nel primo caso alternativo, assume un valore pari a 27.06%.

I risultati dimostrano una differenza esigua rispetto alla configurazione di base.

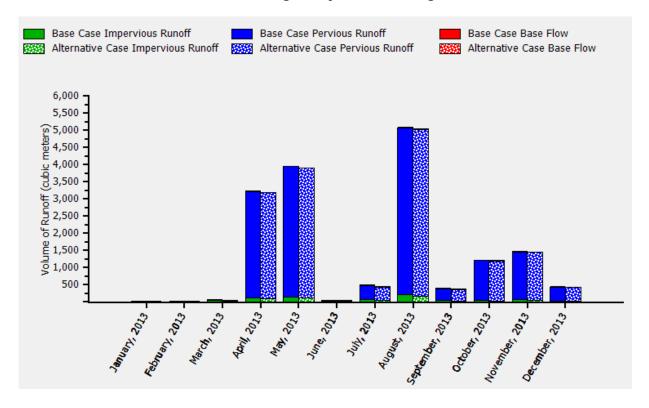


Figura 3.31: confronto fra i deflussi per il secondo caso alternativo

Vengono riportati in Figura 3.31 i deflussi per un confronto fra le configurazioni prima e dopo la piantumazione, senza rilevare un particolare distacco tra gli istogrammi. Lo stesso risultato si avrebbe anche raffigurando gli altri risultati, ottenendo andamenti pressoché coincidenti, pertanto si rimanda ai rapporti conseguiti per il caso base.

Da questo esempio e dal confronto con quello precedente ne deriva l'incidenza delle superfici impermeabili sul bilancio idrico del parco e sulla fornitura di servizi ecosistemici. Inserire 8000 m² di alberi su un terreno già vegetato, nonostante sia semplicemente un tappeto erboso, non apporta gli stessi benefici che si avrebbero tramutando le costruzioni impermeabili in zone verdi.

A dimostrazione di quanto detto, si riporta in Figura 3.32 il raffronto fra lo stato attuale e la condizione di piantumazione di alberi su tutte le superfici impermeabili (che attualmente si estendono su un'area di circa 5400 m²), annullandole completamente.

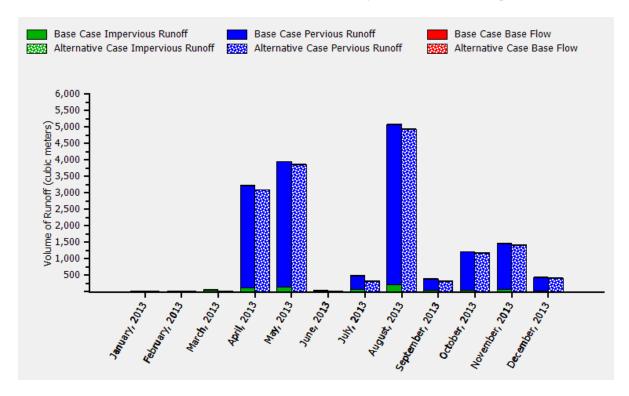


Figura 3.32: confronto fra i deflussi con e senza le superfici impermeabili

Il discostamento tra il contesto reale e quello ipotizzato risulta più marcato, ottenendo dei deflussi ridotti grazie all'assenza dell'impervious flow.

3.3. Deflussi: differenze tra Eco e Hydro

Confrontando i risultati ottenuti dall'applicazione prima di Eco e poi di Hydro si può notare come vengano stimati in entrambi i casi i deflussi superficiali. Ci si chiede, dunque, quali siano le differenze nel calcolo di questi termini e si fa riferimento al topic "How do avoided runoff estimates differ in Eco and Hydro?" del Forum di i-Tree [49].

Il modello di Eco determina la differenza tra i deflussi superficiali che si hanno nelle condizioni attuali e quelli che si avrebbero in totale assenza di vegetazione, ottenendo così i deflussi definiti "evitati" (Avoided Runoff). L'area di progetto, ad esclusione delle superfici coperte dagli alberi, viene suddivisa in superfici permeabili e impermeabili secondo le proporzioni che si hanno in media sul territorio statunitense: 74.5% permeabile, 25.5% impermeabile. L'ipotesi approssimativa alla base di queste stime consiste nel ritenere interamente infiltrati i volumi di pioggia che ricadono sulle superfici permeabili, mentre le precipitazioni che si riversano sulle superfici impermeabili alimentano i deflussi superficiali. L'unica forma di riduzione delle portate deriva dall'azione di trattenuta dell'acqua da parte delle piante attraverso l'intercettazione della copertura fogliare. Questo termine viene calcolato con gli stessi algoritmi descritti nel modello di Hydro, così come l'evaporazione e la traspirazione di cui al paragrafo 2.3.6, e risulta strettamente legato all'indice di area fogliare: nei risultati di Eco, dove il LAI viene definito per ciascun albero, viene riportata l'intercettazione fogliare per ogni specie (Tabella 3.8) e per ogni albero, affiancata dai deflussi evitati.

	Number of		Evapotranspirati			Water	Avoided	Avoided
Species Name	Trees	Leaf Area	on	Evaporation	Transpiration	Intercepted	Runoff	Runoff Value
		(ha)	(m³/yr)	(m³/yr)	(m³/yr)	(m³/yr)	(m³/yr)	(€/yr)
London plane	106	5.43	2,847.76	449.13	624.00	453.19	99.81	189.84
Littleleaf linden	36	0.96	502.18	79.20	110.04	79.92	17.60	33.48
Tulip tree	10	0.44	229.07	36.13	50.19	36.45	8.03	15.27
Northern red oak	13	0.40	208.45	32.87	45.67	33.17	7.31	13.90
Horse chestnut	12	0.38	197.84	31.20	43.35	31.48	6.93	13.19
European white birch	21	0.27	139.99	22.08	30.67	22.28	4.91	9.33
Eastern white pine	10	0.24	126.60	19.97	27.74	20.15	4.44	8.44
Copper beech	5	0.21	110.70	17.46	24.26	17.62	3.88	7.38
Sweetgum	12	0.20	104.09	16.42	22.81	16.56	3.65	6.94
Siberian elm	2	0.15	78.88	12.44	17.29	12.55	2.76	5.26
Silver maple	5	0.10	53.36	8.42	11.69	8.49	1.87	3.56
Ginkgo	7	0.09	47.75	7.53	10.46	7.60	1.67	3.18
Deodar cedar	3	0.09	45.11	7.11	9.88	7.18	1.58	3.01
dawn redwood spp	3	0.08	42.78	6.75	9.37	6.81	1.50	2.85
Boxelder	2	0.07	37.20	5.87	8.15	5.92	1.30	2.48
European hornbeam	4	0.06	31.72	5.00	6.95	5.05	1.11	2.11
Black poplar	1	0.06	29.67	4.68	6.50	4.72	1.04	1.98
Caucasian Wingnut	2	0.06	29.17	4.60	6.39	4.64	1.02	1.94
Black walnut	1	0.05	24.69	3.89	5.41	3.93	0.87	1.65
Norway maple	1	0.03	16.00	2.52	3.51	2.55	0.56	1.07
European ash	6	0.03	15.04	2.37	3.30	2.39	0.53	1.00
Saucer magnolia	3	0.02	12.26	1.93	2.69	1.95	0.43	0.82
Hedge maple	4	0.02	11.11	1.75	2.43	1.77	0.39	0.74
Japanese cherry	3	0.02	10.88	1.72	2.38	1.73	0.38	0.73
Sycamore maple	1	0.02	9.54	1.50	2.09	1.52	0.33	0.64
Arbol de judea	3	0.01	7.79	1.23	1.71	1.24	0.27	0.52
Austrian pine	1	0.01	5.40	0.85	1.18	0.86	0.19	0.36
Sweet cherry	1	0.01	2.79	0.44	0.61	0.44	0.10	0.19
Total	278	9.48	4,977.82	785.07	1,090.74	792.17	174.47	331.84

Tabella 3.8: volumi dei processi idrologici della vegetazione e deflussi evitati per ogni specie

In assenza di vegetazione il volume intercettato ricadrebbe parzialmente (25.5%) su superfici impermeabili e genererebbe scorrimento superficiale: questa quantità è assunta pari ai deflussi evitati.

La sub-routine con cui Eco determina i deflussi risulta una versione semplificata di quella implementata in Hydro che viene affinata sui seguenti aspetti:

- le proporzioni con cui si distinguono superfici permeabili e impermeabili sono specifiche dell'area in esame, determinate con Canopy o note a priori;
- si considera la presenza della falda acquifera, il cui livello viene aggiornato ad ogni intervallo temporale;
- si può avere quello che nel paragrafo 2.3.5 è stato definito pervious flow, ossia quel deflusso superficiale che si genera sulle superfici permeabili in caso di saturazione del terreno o di intensità di pioggia maggiori della capacità di infiltrazione del suolo;
- nel caso in cui le superfici impermeabili non siano connesse tra loro, le acque che scorrono su di esse defluiscono sul suolo permeabile, infiltrandosi nel terreno o convertendosi in pervious flow;
- vengono stimati i ristagni nelle depressioni impermeabili e il volume d'acqua evaporato da queste superfici a pelo libero;
- maggior flessibilità nel descrivere i parametri idrologici del bacino.

Si può, dunque, affermare che il modello di Hydro dà origine ad una simulazione più accurata e più rappresentativa delle condizioni reali. I risultati di Eco, tuttavia, forniscono un'informazione indicativa sui benefici forniti dal verde urbano nell'ambito idrologico e per gli utenti interessati all'aspetto più "ambientale" può essere sufficiente.

4. CONCLUSIONI

La presente tesi ha cercato di descrivere e analizzare uno strumento capace di analizzare il verde urbano e crearne un modello con il quale vengono valutati i servizi ecosistemici forniti. Questo strumento è stato identificato nella software suite i-Tree, nata e sviluppata dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti in collaborazione con altre associazioni con lo scopo di facilitare una pianificazione territoriale "ecologica". Attraverso i numerosi programmi che compongono il pacchetto i-Tree si possono analizzare diversi aspetti della vegetazione nei centri abitati. Il programma permette di trovare una risposta a domande quali "È necessario effettuare un intervento?", "È conveniente?", "Quali mutamenti si avrebbero rispetto alle condizioni attuali?". Per di più, è possibile stabilire le peculiarità dell'intervento: numero di alberi, specie, posizione, ecc.

Dallo studio degli strumenti usufruibili in Italia si è riscontrato che la limitazione di diverse applicazioni ad un utilizzo esclusivo per gli USA, dove il programma esprime tutte le sue potenzialità, sfavorisce gli utenti internazionali. In tal senso si può affermare che la suite rimane ancora eccessivamente radicata nella nazione di origine, poiché le simulazioni effettuate al di fuori degli States sono sensibilmente vincolate alle condizioni climatiche oltreoceano e le approssimazioni possono essere eccessive. La possibilità di specificare una località statunitense di riferimento nella fase di inserimento dati attribuisce efficacia al metodo, ma presuppone di conoscere, almeno approssimativamente, le condizioni atmosferiche nei diversi Stati del Nord America.

Il Database risulta uno strumento efficace che permette l'utilizzo della suite nei Paesi esteri e l'intento è quello di ampliarlo al servizio non solo di Eco, ma anche di Hydro e delle altre componenti. Tuttavia, considerando una potenziale espansione delle prestazioni e un numero sempre crescente di utenti, si avrà l'esigenza di sviluppare la procedura di archiviazione nel Database, accelerando in particolar modo la fase di formattazione e convalida dei dati trasmessi.

Allo stato attuale, se l'acquisizione delle serie temporali delle concentrazioni di inquinanti e delle altezze di pioggia rilevate con frequenza oraria può di per sé apparire come un ostacolo, dilatare le tempistiche con un'attesa di mesi prima che i dati siano usufruibili per un progetto di i-Tree Eco crea scoramento tra gli utenti. La migliore alternativa, per ora, è quella di sfruttare le informazioni già implementate in passato e accettare le approssimazioni che derivano dall'utilizzo di dati relativi ad una località a cui non appartiene l'area in esame.

In taluni casi si ha la fortuna di ritrovare la propria città tra quelle già presenti nel Database, così da poter indirizzarsi direttamente sulla simulazione di Eco. La condizione ideale consiste nel riuscire a ricoprire tutto il territorio italiano (e, in un futuro più lontano, quello mondiale) grazie all'inserimento progressivo dei dati nel tempo, in modo

da disporre di qualunque località, come avviene tutt'ora negli USA, e non dover più ricorrere alla trasmissione delle informazioni del proprio comune. In questa visione futuribile i centri abitati di piccole dimensioni potrebbero rimanere esclusi, tuttavia potranno fare affidamento alle città più importanti che li circondano.

L'impiego di i-Tree Hydro si rivela più semplice e immediato, soprattutto per l'inserimento dei dati. Il software è svincolato dal Database e ciò permette di evitare l'onere di seguire la procedura di immissione di una nuova località, limitando le tempistiche del progetto. Tuttavia, quando ci si ritrova al di fuori degli Stati Uniti, non si fa più affidamento alle informazioni contenute nel Database per caratterizzare la località estera (per esempio albedo medio o spessore dello strato di ozono) e questo può ridurre l'affidabilità dei risultati della simulazione.

Nonostante ciò, la necessità di disporre di un DEM ritagliato implica sia la disponibilità di un rilievo dell'altimetria della zona di interesse da cui si è costruito il modello, sia la capacità da parte dell'utente di utilizzare un programma GIS per delimitare l'area di progetto e creare un nuovo shapefile. Pertanto anche per Hydro possono presentarsi delle complicazioni nella ricerca e nell'inserimento dei dati.

Il funzionamento vero e proprio del programma si dimostra decisamente meno gravoso della fase di acquisizione dati. Nelle applicazioni pratiche si è scelto di esaminare un contesto che fosse vicino alla realtà in cui viviamo, così da dimostrare la possibilità di servirsi di i-Tree in una città italiana. Con entrambi i software si sono analizzate le condizioni effettive del Parco Cascina Vigna, ipotizzando, poi, delle variazioni che descrivessero dei possibili scenari futuri. Sorvolando sulla veridicità e sull'attuabilità dei diversi casi, si è posto interesse nel mostrare le capacità dei programmi nel prevedere le conseguenze di determinati interventi. All'utente viene data la possibilità di apportare modifiche a suo piacimento, generando delle nuove simulazioni in tempi relativamente brevi: per un'area di progetto di dimensioni contenute come il parco carmagnolese (circa 60000 m²) è sufficiente un'ora per analizzare decine di trasformazioni dell'uso del suolo, ottenendo per ciascuna di esse i valori desiderati. Qui si esplica la più importante risorsa del programma: permettere agli utenti (potenziali pianificatori territoriali) di confrontare diverse soluzioni per scegliere la più conveniente alle loro necessità, che possono essere economiche e/o ambientali.

Nel caso specifico di Carmagnola, i risultati danno prova dell'eccezionale valore economico e ambientale del Parco Cascina Vigna per la località piemontese. Le circostanze sono nettamente differenti da quelle che si hanno nelle grandi città come Torino, in quanto le aree rurali sono ancora molto diffuse all'interno dei confini comunali. Tuttavia, dal momento che negli ultimi decenni la città si sta espandendo rapidamente, la permanenza dell'area verde contrasta la crescita della densità edilizia, incrementando il proprio valore intrinseco.

Le previsioni future per Eco e i casi alternativi per Hydro dimostrano che la piantumazione di nuovi alberi in un'area già vegetata (in questo caso prativa) o su terreno sciolto risulta un provvedimento di scarsa efficacia, in quanto comportano una crescita contenuta dei servizi ecosistemici. L'effetto benefico è distintamente più marcato quando gli alberi vengono innestati su aree impermeabili. Viceversa, la cementificazione comporta un regresso della regimazione delle acque e un aumento del carico di sostanze inquinanti nell'ambiente.

Ridurre le superfici impermeabili sul territorio in concomitanza con la crescita della popolazione e l'ampliamento degli insediamenti urbani è un'impresa utopica, ma un compromesso si può ritrovare nel principio di invarianza idrologica, ossia cercare di mantenere complessivamente inalterata la permeabilità del suolo cittadino. L'utilizzo combinato di Eco e Hydro permette di applicare questo concetto per ricreare un sistema di drenaggio urbano sostenibile.

La ricerca svolta in questa tesi può rappresentare un punto di partenza per lo studio delle componenti non esaminate, con particolare attenzione a quelle disponibili esclusivamente negli USA, in modo da mettere in risalto i margini di miglioramento per un utilizzo completo in Italia.

Appendice 1 - Raccolta dati in campo per i-Tree Eco

Si vogliono descrivere le modalità della fase di misurazione in sito, illustrando le direttive specifiche per la raccolta dei dati da inserire nel proprio progetto di i-Tree Eco.

Si precisa che questi dati non riguardano il Database, all'interno del quale si introducono i dati pluviometrici e degli inquinanti misurati in una stazione permanente.

Una volta stabilite le caratteristiche generali del progetto, quali località, tipo di inventario, dimensioni dell'area di studio, si procede con la fase di raccolta dati in sito.

La registrazione dei dati può essere effettuata su supporto cartaceo oppure utilizzando il servizio Mobile Data Collector, offerto agli utenti che dispongono di un dispositivo mobile capace di connettersi alla rete internet. Non è un'applicazione da scaricare sul cellulare o sul tablet, ma richiede di accedere al browser del dispositivo. Attraverso la funzione Submit to Mobile si inviano le impostazioni del progetto via mail e si apre il collegamento dal dispositivo mobile, in modo da poter iniziare l'annotazione dei dati rilevati. Si sfrutta la capacità di localizzazione dei nuovi smartphone e tablet per individuare la propria posizione, soprattutto per identificare le coordinate GPS dei plots.

Facendo riferimento al paragrafo 2.2.3 (Input) nella descrizione di Eco, si delineano le modalità di rilevamento di ciascun dato in ingresso.

Specie: per ogni albero si identifica la specie tra quelle elencate nel Database. Se una specie non è presente nell'inventario del Database è necessario aggiungerla fornendo le informazioni descritte nel paragrafo 2.2.1 (Database).

Diametro del fusto (DBH): per ogni albero si misura il diametro del fusto a 4.5 ft o 1.37 m dal piano campagna. Nel caso in cui il fusto sia suddiviso in più tronchi si misurano i diversi diametri alla stessa altezza (il programma fornisce fino a sei campi per ogni albero riservati ai valori dei diametri). Se sono presenti più di sei diramazioni, abbassare la misurazione a 1 ft (0.30 m).

I germogli con diametro minore a 1 in (2.54 cm) possono essere trascurati.

Se si hanno rigonfiamenti al piede dell'albero, misurare il diametro a 1.5 ft (circa 0.50 m) al di sopra del rigonfiamento. Se si presenta un'irregolarità nella forma del fusto, ipotizzata pseudo-cilindrica, si effettua la misura al di sopra dell'irregolarità.

Nel caso in cui il piano campagna sia in pendenza, rilevare il diametro a 4.5 ft in direzione a monte. Se, invece, l'albero risultasse inclinato rispetto al piano campagna, porsi a 4.5 ft dal lato verso cui pende l'albero.

Gli alberi abbattuti vanno comunque registrati e si misura il diametro a 4.5 ft dal termine delle radici.

Le diverse casistiche sono esplicitate in Figura A1.1.

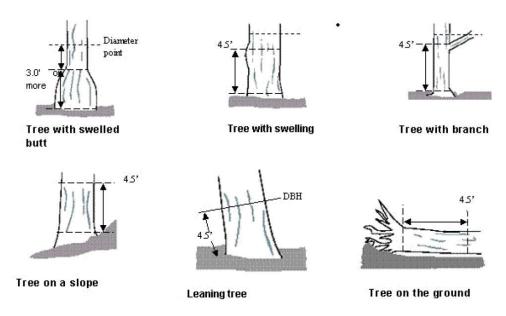


Figura A1.1: indicazioni sulla misura del DBH in casi particolari, Eco Field Guide

Uso del suolo: come viene utilizzato il suolo su cui è posizionato ogni albero. Sono implementati nel programma tredici classi d'uso di default: Agricoltura, Cimitero, Commerciale/Industriale, Campi da golf, Istituzionale (scuole, ospedali, edifici religiosi,...), Residenziale, Parco, Popolare (si differenzia dal residenziale poiché sono presenti più di quattro unità abitative), Trasporti, Utilità (centrali elettriche, impianti di depurazione delle acque reflue, casse di espansione,...), Libero (suolo senza uno specifico utilizzo), Acqua (superfici a pelo libero di fiumi e laghi, naturali o artificiali) e Altro (ciò che non rientra nelle categorie precedenti).

L'utente può aggiungere altre classi d'uso direttamente dal software.

Altezza totale dell'albero rispetto al piano campagna: misura dell'altezza dell'albero a partire dal piano campagna fino alla cima.

Altezza massima della parte viva: differisce dall'altezza totale nel caso in cui l'albero abbia la parte superiore della chioma appassita. Di conseguenza il suo valore è sempre minore o uguale dell'altezza totale dell'albero.

Altezza della base della chioma: è l'altezza dal piano campagna fino alla base della chioma viva, individuata dal punto ottenuto proiettando sul tronco principale l'estremità inferiore del fogliame non appassito che si trova sul ramo meno elevato della chioma.

Larghezza della chioma: è la larghezza della chioma misurata nelle direzioni nord-sud e est-ovest o il più vicino possibile a queste qualora ostacoli fisici, o altri motivi, ne impediscano la misura.

Percentuale del volume della chioma non occupato da rami o foglie (definita "mancante"): tale percentuale indica la porzione di chioma mancante a causa di potature, defogliazione o appassimento di alcune parti di questa.

L'acquisizione di questo dato deve essere effettuata da due persone disposte in modo tale che l'angolo sotteso tra essi e il fusto dell'albero sia retto, come illustrato in Figura A1.2.

VIEWING THE CROWN

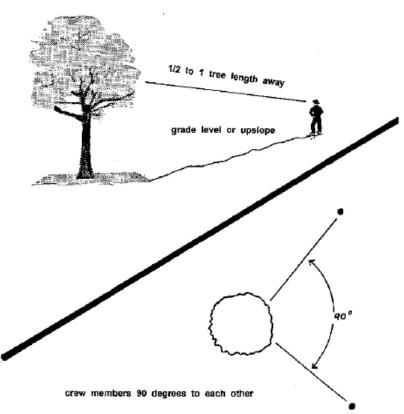


Figura A1.2: posizionamento degli operatori nella misura della percentuale di chioma mancante, Eco Field Guide

In questa posizione le due persone devono delineare una sagoma ideale della chioma ottenuta specchiando, rispetto alla mezzeria delle fronde dell'albero supposto sano e in ottime condizioni, una linea che ne definisce la silhouette sulla base della larghezza e altezza della chioma viva e dell'altezza totale dell'albero. Da notare che la forma di tale sagoma varia a seconda della specie considerata, come rappresentato in Figura A1.3.

Si procede con la stima della percentuale di fogliame assente: si noti che sono esclusi da tale computo, i normali vuoti interni della chioma dovuti all'ombreggiatura delle foglie. Inoltre, un terzo della chioma potrebbe essere stato rimosso per lasciare i dovuti spazi ai cavi dell'alta tensione e ancora, uno squilibrio nella sagoma potrebbe essere stato provocato dalla presenza di un albero attiguo; quindi la chioma che rimane potrebbe avere una percentuale mancante dello 0% se non ci sono altre carenze.

La percentuale di chioma assente deve essere registrata come 0%, 100% (ossia albero morto), o punti intermedi del 5% (3%, 8%, 13%, 18%, ecc.).

Per gli arbusti valgono le medesime considerazioni.

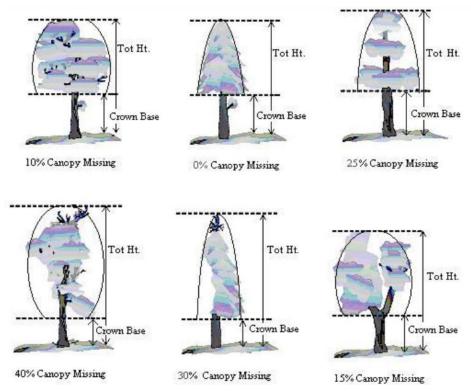


Figura A1.3: illustrazione sulla forma naturale della chioma al variare della specie, Eco Field Guide

Salute del fogliame: la salute della chioma si basa su una valutazione visiva, espressa poi in percentuale, della quantità di rami secchi che viene dichiarata come *condition* (salute) o *dieback* (condizione in cui un albero inizia a perire dalle estremità, ossia foglie o radici, al tronco, a causa di una malattia o di un ambiente sfavorevole). Il primo è il complemento a uno del secondo.

Nella creazione di un nuovo progetto, il programma Eco fornisce delle classi di default sulla salute della chioma per favorire una più precisa raccolta dei dati in campo e una standardizzazione delle osservazioni. In tali classi predefinite, le percentuali vengono indicate con punti intermedi del 5% (3%, 8%, 13%, 18%, ecc.) e un albero secco viene registrato come condition 0% oppure dieback 100%.

Esposizione all'irraggiamento solare: viene valutato come numero di lati della chioma che ricevono luce dall'alto o di lato (massimo di cinque). Il conteggio dei lati è svolto secondo la seguente procedura: un lato è costituito dalla cima dell'albero, gli altri quattro sono ottenuti dividendo verticalmente la chioma in quattro quadranti attorno allo stelo. La distinzione dei lati è illustrata in Figura A1.4.

Un numero di lati pari a 0 corrisponde alla condizione in cui l'albero non riceve luce diretta perché oggetti, o altra vegetazione, ostacolano l'esposizione ai raggi solari, 5 è la condizione di massima esposizione o assenza di ostruzioni.

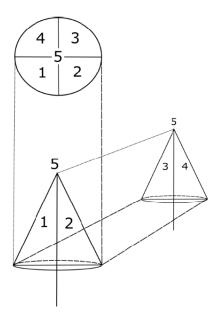


Figura A1.4: schema dei cinque lati in cui viene suddivisa la chioma, Eco Field Guide

Percentuale di superficie accessibile e misurabile: tale indicazione è richiesta solo nel caso in cui si scelga di improntare il progetto sulla modalità PSI, e individua la percentuale di superficie del plot, o area di campionamento, accessibile agli operatori incaricati di fare i rilievi del caso, per la realizzazione del progetto. La percentuale di superficie accessibile e misurabile indica che i dati reperiti fanno riferimento a una porzione del plot e non all'intera area a causa di ostacoli come alte recinzioni, oppure edifici che rendono inaccessibile l'area o impediscono un'adeguata visuale, ostruendo le operazioni di misura.

Percentuale di superficie ricoperta dalla chioma degli alberi: anch'essa è richiesta solo nel caso in cui si scelga di improntare il progetto sulla modalità PSI, ed è superficie dell'area di campionamento, espressa in percentuale (con punti intermedi del 5%: 3%, 8%, 13%, 18%, ecc.) coperta dalla chioma degli alberi. La sua determinazione può essere semplificata con l'utilizzo di immagini scattate per via aerea e può essere immaginata come la porzione di area ombreggiata dagli alberi, quando il sole è in posizione verticale. La superficie può essere oscurata da alberi che non appartengono al plot, di conseguenza i plot privi di alberi possono avere una percentuale di superficie ricoperta dalla chioma diversa da 0%.

Composizione del suolo: non si ha una classificazione dei terreni in base alla granulometria né in funzione delle proprietà meccaniche dei sedimenti, ma vengono semplicemente distinte le coperture del terreno in modo analogo a quanto descritto nel paragrafo 2.3.4 (i-Tree Canopy). Dal rilievo in sito o da analisi realizzate in passato si stimano le percentuali per ogni classe di copertura, approssimando ai multipli di 5%.

Eventualmente si può far uso dell'applicazione online Canopy, ma la procedura può risultare onerosa in termini di tempo. Eco dispone di 11 classi di default a cui gli utenti possono aggiungerne altre a piacimento. Si distinguono Terra nuda, Edifici, Superfici cementate, Superfici bituminose, Roccia permeabile (inteso come materiale granulare grossolano o elementi lapidei posati senza malta), Materiale organico sciolto, Erba coltivata, Erba non coltivata, Specie erbacee (altre colture agricole), Atre superfici impermeabili (massi ciclopici, pietre tombali, erba sintetica, piscine artificiali), Acqua (corpi idrici naturali).

Appendice 2 – Parametri idrologici di i-Tree Hydro

In questa appendice si vogliono esplicitare i parametri idrologici menzionati nel paragrafo 2.3.1. Il programma associa a questi termini dei valori di default che possono essere modificati attraverso l'auto-calibrazione o con l'inserimento manuale nel caso in cui siano noti.

Si distinguono i seguenti parametri:

- *flusso medio annuo dell'area di progetto* (m³/s): è definito come la portata media annua misurata nella sezione di chiusura per i progetti Watershed, cioè relativi ad un bacino idrografico, oppure come il deflusso medio (somma di pervious, impervious e base flow) stimato per le aree non-Watershed. Viene utilizzato per il calcolo del base flow.
 - Di default si assume pari al prodotto tra un'intensità di pioggia costante (0.000016 m/h) e la superficie del bacino;
- *tipo di suolo*: si può selezionare una tipologia di suolo fra Sabbia, Sabbia argillosa, Argilla sabbiosa, Argilla, Limo, Limo sabbioso, Limo argilloso, Argilla limosa, Terreno sabbioso, Terreno argilloso, Terreno limoso, Tessitura mista;
- *fronte di umidificazione* (m): profondità in cui termina la zona satura e ha inizio quella insatura nel modello di Green-Ampt [42]. Permette di caratterizzare la velocità con cui l'acqua piovana penetra nel terreno;
- *umidità del suolo*: differenza fra il contenuto d'acqua al di sopra del fronte di umidificazione (zona satura) e il contenuto d'acqua nelle condizioni iniziali del terreno. Influisce sul tasso di filtrazione nel modello di Green-Ampt [42];
- conducibilità idraulica superficiale (cm/h): valore iniziale dell'andamento della conducibilità idraulica del terreno, stimato con una legge di decadenza esponenziale [43]. Intuitivamente, il tasso di filtrazione è proporzionale alla conducibilità idraulica, la quale dipende dalla tessitura del terreno e dalle caratteristiche della vegetazione in superficie;

Questi ultimi tre valori possono essere modificati solo se si seleziona Tessitura mista come tipo di terreno. Negli altri casi i valori sono fissati dal programma.

- Profondità dello strato superficiale (m): lo strato superficiale (Upper Soil Zone, Figura A2.1) è definito dal programma come lo spessore di terreno in cui avvengono infiltrazione ed evapotraspirazione. Si identifica una profondità media per l'intera area di progetto;
- *saturazione iniziale del suolo*: contenuto d'acqua nel terreno all'inizio della simulazione.

Inoltre, possono essere personalizzati numerosi altri parametri che rientrano nella categoria "Impostazioni avanzate":

- periodo di transizione del fogliame (giorni): durata del periodo di transizione dal LAI minimo degli alberi decidui (senza foglie, in inverno) al LAI massimo (chioma completa, in estate);
- *giorno di inizio del periodo di transizione*: espresso come il numero di giorni dal 1 gennaio in cui si completa la transizione del fogliame;
- giorno di inizio del periodo di transizione inverso: dal massimo LAI al minimo;
- *LAI minimo*: espresso come indice dell'area della corteccia degli alberi e degli arbusti;
- *altezza d'acqua trattenuta da una singola foglia* (mm): si assume un valore medio;
- profondità delle depressioni permeabili (mm): profondità media delle zone con quota inferiore al piano campagna con superficie permeabile disposte sull'area di progetto;
- *profondità delle depressioni impermeabili* (mm): come sopra, ma impermeabile;
- *trasmissività della zona satura* (m²/h): definita come l'integrale della conducibilità idraulica sullo spessore saturo;
- *tempo di ritardo della zona insatura* (h): tempo impiegato dall'acqua per passare dal limite superiore della zona insatura alla falda;
- percentuale di macropori nel suolo: percentuale di volume del terreno occupato dai macropori;
- percentuale dell'area di progetto in cui l'intensità di pioggia può superare il tasso di filtrazione.

Per rendere più chiare le variabili esposte, viene riportata in Figura A2.1 la rappresentazione del terreno secondo il modello di Hydro.

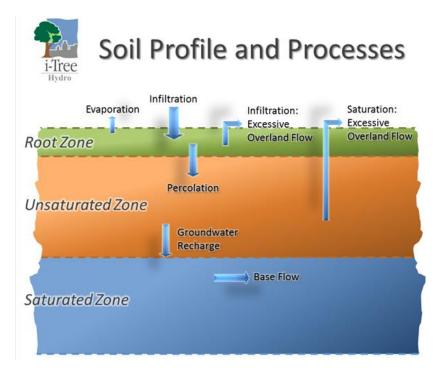


Figura A2.1: modello idrogeologico del terreno. La Upper Soil Zone è qui indicata come Root Zone [S2]

Allegato 1 - Report dell'applicazione di Eco al Parco Cascina Vigna

i-Tree Ecosystem Analysis

Parco Cascina Vigna



Urban Forest Effects and Values
November 2018

Summary

Understanding an urban forest's structure, function and value can promote management decisions that will improve human health and environmental quality. An assessment of the vegetation structure, function, and value of the Parco Cascina Vigna urban forest was conducted during 2013. Data from 278 trees located throughout Parco Cascina Vigna were analyzed using the i-Tree Eco model developed by the U.S. Forest Service, Northern Research Station.

Number of trees: 278

Tree Cover: 1.739 hectares

• Most common species of trees: London plane, Littleleaf linden, European white birch

• Percentage of trees less than 6" (15.2 cm) diameter: 8.3 %

• Pollution Removal: 106.4 kilograms/year (€9.88 thousand/year)

• Carbon Storage: 81.56 metric tons (€6.69 thousand)

• Carbon Sequestration: 3.163 metric tons (€259/year)

Oxygen Production: 8.436 metric tons/year

Avoided Runoff: 174.5 cubic meters/year (€332/year)

• Building energy savings: N/A - data not collected

• Avoided carbon emissions: N/A – data not collected

• Structural values: €585 thousand

Tonne: 1000 kilograms

Monetary values $\ensuremath{\mathfrak{C}}$ are reported in euros throughout the report except where noted.

Ecosystem service estimates are reported for trees.

For an overview of i-Tree Eco methodology, see Appendix I. Data collection quality is determined by the local data collectors, over which i-Tree has no control.

Allegato 1 – Pagina 3

Table of Contents

2
2 4
<mark>7</mark>
9
11
13
14
15
16
17
21
25
26
27
28
29
30
· · · ·

I. Tree Characteristics of the Urban Forest

The urban forest of Parco Cascina Vigna has 278 trees with a tree cover of London plane. The three most common species are London plane (38.1 percent), Littleleaf linden (12.9 percent), and European white birch (7.6 percent).

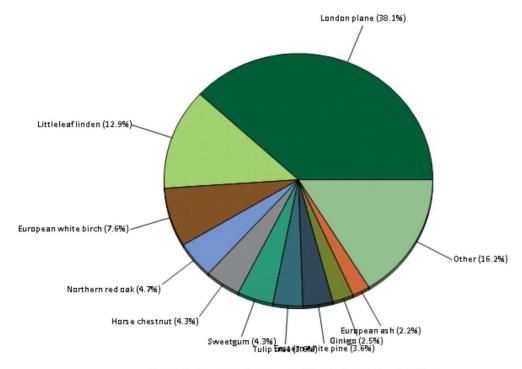


Figure 1. Tree species composition in Parco Cascina Vigna

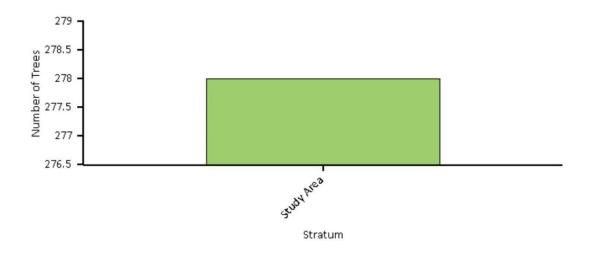


Figure 2. Number of trees in Parco Cascina Vigna by stratum

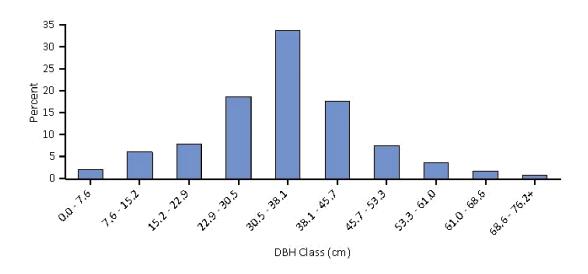


Figure 3. Percent of tree population by diameter class (DBH - stem diameter at 1.37 meters)

Urban forests are composed of a mix of native and exotic tree species. Thus, urban forests often have a tree diversity that is higher than surrounding native landscapes. Increased tree diversity can minimize the overall impact or destruction by a species-specific insect or disease, but it can also pose a risk to native plants if some of the exotic species are invasive plants that can potentially out-compete and displace native species. In Parco Cascina Vigna, about 13 percent of the trees are species native to Europe. Most trees have an origin from Unknown (42 percent of the trees).

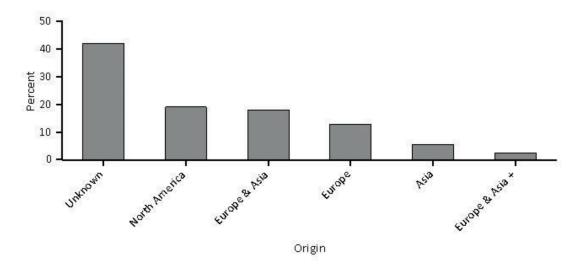


Figure 4. Percent of live tree population by area of native origin, Parco Cascina Vigna

The plus sign (+) indicates the tree species is native to another continent other than the ones listed in the grouping.

Allegato 1 – Pagina 6

Invasive plant species are often characterized by their vigor, ability to adapt, reproductive capacity, and general lack of natural enemies. These abilities enable them to displace native plants and make them a threat to natural areas.

II. Urban Forest Cover and Leaf Area

Many tree benefits equate directly to the amount of healthy leaf surface area of the plant. Trees cover about 1.739 hectares of Parco Cascina Vigna and provide 9.484 hectares of leaf area.

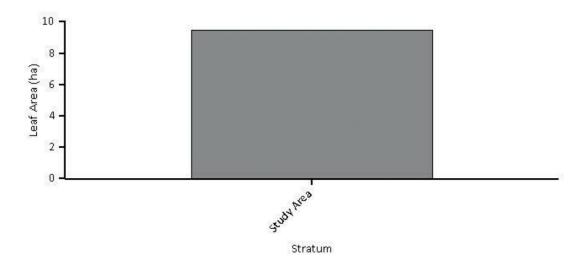


Figure 5. Leaf area by stratum, Parco Cascina Vigna

In Parco Cascina Vigna, the most dominant species in terms of leaf area are London plane, Littleleaf linden, and Tulip tree. The 10 species with the greatest importance values are listed in Table 1. Importance values (IV) are calculated as the sum of percent population and percent leaf area. High importance values do not mean that these trees should necessarily be encouraged in the future; rather these species currently dominate the urban forest structure.

Table 1. Most important species in Parco Cascina Vigna

	Percent	Percent	
Species Name	Population	Leaf Area	IV
London plane	38.1	57.2	95.3
Littleleaf linden	12.9	10.1	23.0
European white birch	7.6	2.8	10.4
Northern red oak	4.7	4.2	8.9
Horse chestnut	4.3	4.0	8.3
Tulip tree	3.6	4.6	8.2
Sweetgum	4.3	2.1	6.4
Eastern white pine	3.6	2.5	6.1
Copper beech	1.8	2.2	4.0
Ginkgo	2.5	1.0	3.5

Allegato 1 – Pagina 8

Common ground cover classes (including cover types beneath trees and shrubs) in Parco Cascina Vigna are not available since they are configured not to be collected.

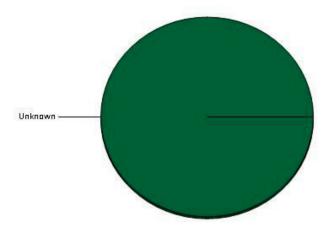


Figure 6. Percent of land by ground cover classes, Parco Cascina Vigna

III. Air Pollution Removal by Urban Trees

Poor air quality is a common problem in many urban areas. It can lead to decreased human health, damage to landscape materials and ecosystem processes, and reduced visibility. The urban forest can help improve air quality by reducing air temperature, directly removing pollutants from the air, and reducing energy consumption in buildings, which consequently reduces air pollutant emissions from the power sources. Trees also emit volatile organic compounds that can contribute to ozone formation. However, integrative studies have revealed that an increase in tree cover leads to reduced ozone formation (Nowak and Dwyer 2000).

Pollution removal by trees in Parco Cascina Vigna was estimated using field data and recent available pollution and weather data available. Pollution removal was greatest for ozone (Figure 7). It is estimated that trees remove 106.4 kilograms of air pollution (ozone (O3), carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO2), particulate matter less than 2.5 microns (PM2.5)², and sulfur dioxide (SO2)) per year with an associated value of €9.88 thousand (see Appendix I for more details).

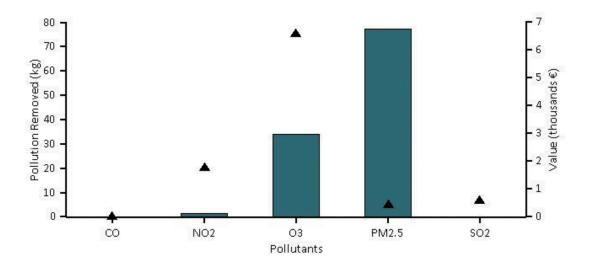


Figure 7. Annual pollution removal (points) and value (bars) by urban trees, Parco Cascina Vigna

¹ Particulate matter less than 10 microns is a significant air pollutant. Given that i-Tree Eco analyzes particulate matter less than 2.5 microns (PM2.5) which is a subset of PM10, PM10 has not been included in this analysis. PM2.5 is generally more relevant in discussions concerning air pollution effects on human health.

² Trees remove PM2.5 when particulate matter is deposited on leaf surfaces. This deposited PM2.5 can be resuspended to the atmosphere or removed during rain events and dissolved or transferred to the soil. This combination of events can lead to positive or negative pollution removal and value depending on various atmospheric factors (see Appendix I for more details).

Allegato 1 - Pagina 10

In 2013, trees in Parco Cascina Vigna emitted an estimated 33.05 kilograms of volatile organic compounds (VOCs) (27.96 kilograms of isoprene and 5.09 kilograms of monoterpenes). Emissions vary among species based on species characteristics (e.g. some genera such as oaks are high isoprene emitters) and amount of leaf biomass. Eighty percent of the urban forest's VOC emissions were from London plane and Northern red oak. These VOCs are precursor chemicals to ozone formation.³

General recommendations for improving air quality with trees are given in Appendix VIII.

-

³ Some economic studies have estimated VOC emission costs. These costs are not included here as there is a tendency to add positive dollar estimates of ozone removal effects with negative dollar values of VOC emission effects to determine whether tree effects are positive or negative in relation to ozone. This combining of dollar values to determine tree effects should not be done, rather estimates of VOC effects on ozone formation (e.g., via photochemical models) should be conducted and directly contrasted with ozone removal by trees (i.e., ozone effects should be directly compared, not dollar estimates). In addition, air temperature reductions by trees have been shown to significantly reduce ozone concentrations (Cardelino and Chameides 1990; Nowak et al 2000), but are not considered in this analysis. Photochemical modeling that integrates tree effects on air temperature, pollution removal, VOC emissions, and emissions from power plants can be used to determine the overall effect of trees on ozone concentrations.

IV. Carbon Storage and Sequestration

Climate change is an issue of global concern. Urban trees can help mitigate climate change by sequestering atmospheric carbon (from carbon dioxide) in tissue and by altering energy use in buildings, and consequently altering carbon dioxide emissions from fossil-fuel based power sources (Abdollahi et al 2000).

Trees reduce the amount of carbon in the atmosphere by sequestering carbon in new growth every year. The amount of carbon annually sequestered is increased with the size and health of the trees. The gross sequestration of Parco Cascina Vigna trees is about 3.163 metric tons of carbon per year with an associated value of €259. See Appendix I for more details on methods.

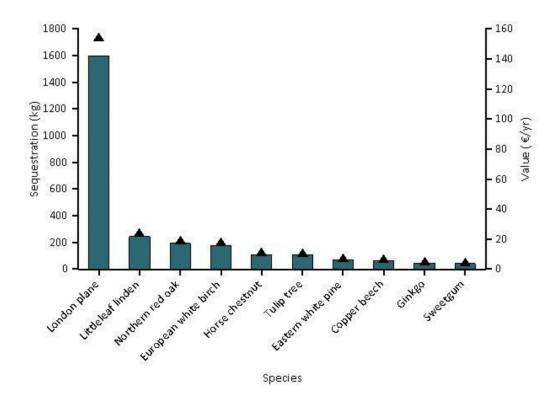


Figure 8. Estimated annual gross carbon sequestration (points) and value (bars) for urban tree species with the greatest sequestration, Parco Cascina Vigna

Carbon storage is another way trees can influence global climate change. As a tree grows, it stores more carbon by holding it in its accumulated tissue. As a tree dies and decays, it releases much of the stored carbon back into the atmosphere. Thus, carbon storage is an indication of the amount of carbon that can be released if trees are allowed to die and decompose. Maintaining healthy trees will keep the carbon stored in trees, but tree maintenance can contribute to carbon emissions (Nowak et al 2002c). When a tree dies, using the wood in long-term wood products, to heat buildings, or to produce energy will help reduce carbon emissions from wood decomposition or from fossil-fuel or wood-based power plants.

Trees in Parco Cascina Vigna are estimated to store 81.6 metric tons of carbon (\le 6.69 thousand). Of the species sampled, London plane stores and sequesters the most carbon (approximately 55.4% of the total carbon stored

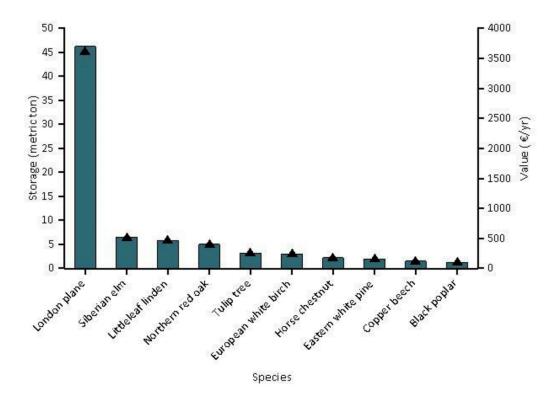


Figure 9. Estimated carbon storage (points) and values (bars) for urban tree species with the greatest storage, Parco Cascina Vigna

V. Oxygen Production

Oxygen production is one of the most commonly cited benefits of urban trees. The annual oxygen production of a tree is directly related to the amount of carbon sequestered by the tree, which is tied to the accumulation of tree biomass.

Trees in Parco Cascina Vigna are estimated to produce 8.436 metric tons of oxygen per year.⁴ However, this tree benefit is relatively insignificant because of the large and relatively stable amount of oxygen in the atmosphere and extensive production by aquatic systems. Our atmosphere has an enormous reserve of oxygen. If all fossil fuel reserves, all trees, and all organic matter in soils were burned, atmospheric oxygen would only drop a few percent (Broecker 1970).

Table 2. The top 20 oxygen production species.

		Gross Carbon		
Species	Oxygen	Sequestration	Number of Trees	Leaf Area
	(kilogram)	(kilogram/yr)		(hectare)
London plane	4,618.07	1,731.78	106	5.43
Littleleaf linden	704.97	264.36	36	0.96
Northern red oak	557.58	209.09	13	0.40
European white birch	514.45	192.92	21	0.27
Horse chestnut	315.48	118.31	12	0.38
Tulip tree	310.70	116.51	10	0.44
Eastern white pine	206.76	77.53	10	0.24
Copper beech	182.75	68.53	5	0.21
Ginkgo	132.52	49.69	7	0.09
Sweetgum	120.56	45.21	12	0.20
Deodar cedar	85.37	32.01	3	0.09
Boxelder	84.80	31.80	2	0.07
Black poplar	80.45	30.17	1	0.06
Caucasian Wingnut	66.87	25.07	2	0.06
Silver maple	65.42	24.53	5	0.10
Siberian elm	64.46	24.17	2	0.15
European hornbeam	57.49	21.56	4	0.06
dawn redwood spp	43.33	16.25	3	0.08
Japanese cherry	35.51	13.32	3	0.02
Black walnut	31.38	11.77	1	0.05

VI. Avoided Runoff

Surface runoff can be a cause for concern in many urban areas as it can contribute pollution to streams, wetlands, rivers, lakes, and oceans. During precipitation events, some portion of the precipitation is intercepted by vegetation (trees and shrubs) while the other portion reaches the ground. The portion of the precipitation that reaches the ground and does not infiltrate into the soil becomes surface runoff (Hirabayashi 2012). In urban areas, the large extent of impervious surfaces increases the amount of surface runoff.

Urban trees and shrubs, however, are beneficial in reducing surface runoff. Trees and shrubs intercept precipitation, while their root systems promote infiltration and storage in the soil. The trees and shrubs of Parco Cascina Vigna help to reduce runoff by an estimated 174 cubic meters a year with an associated value of €330 (see Appendix I for more details). Avoided runoff is estimated based on local weather from the user-designated weather station. In Parco Cascina Vigna, the total annual precipitation in 2013 was 50.6 centimeters.

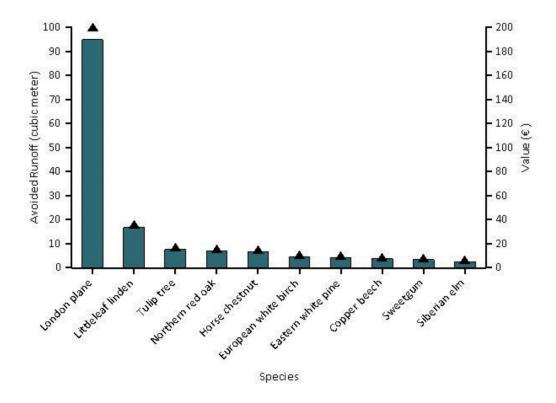


Figure 10. Avoided runoff (points) and value (bars) for species with greatest overall impact on runoff,

Parco Cascina Vigna

VII. Trees and Building Energy Use

Trees affect energy consumption by shading buildings, providing evaporative cooling, and blocking winter winds. Trees tend to reduce building energy consumption in the summer months and can either increase or decrease building energy use in the winter months, depending on the location of trees around the building. Estimates of tree effects on energy use are based on field measurements of tree distance and direction to space conditioned residential buildings (McPherson and Simpson 1999).

Because energy-related data were not collected, energy savings and carbon avoided cannot be calculated.

Table 3. Annual energy savings due to trees near residential buildings, Parco Cascina Vigna

	Heating	Cooling	Total
MBTU ^a	0	N/A	0
MWH ^b	0	0	0
Carbon Avoided (kilograms)	0	0	0

^aMBTU - one million British Thermal Units

Table 4. Annual savings ^a(€) in residential energy expenditure during heating and cooling seasons, Parco Cascina Vigna

	Heating	Cooling	Total
MBTU ^b	0	N/A	0
MWH ^c	0	0	0
Carbon Avoided	0	0	0

Based on the prices of €240 per MWH and €29.306995961 per MBTU (see Appendix I for more details)

MBTU - one million British Thermal Units

_

^bMWH - megawatt-hour

^cMWH - megawatt-hour

⁵ Trees modify climate, produce shade, and reduce wind speeds. Increased energy use or costs are likely due to these tree-building interactions creating a cooling effect during the winter season. For example, a tree (particularly evergreen species) located on the southern side of a residential building may produce a shading effect that causes increases in heating requirements.

VIII. Structural and Functional Values

Urban forests have a structural value based on the trees themselves (e.g., the cost of having to replace a tree with a similar tree); they also have functional values (either positive or negative) based on the functions the trees perform.

The structural value of an urban forest tends to increase with a rise in the number and size of healthy trees (Nowak et al 2002a). Annual functional values also tend to increase with increased number and size of healthy trees. Through proper management, urban forest values can be increased; however, the values and benefits also can decrease as the amount of healthy tree cover declines.

Urban trees in Parco Cascina Vigna have the following structural values:

Structural value: €585 thousand
Carbon storage: €6.69 thousand

<u>Urban trees in Parco Cascina Vigna have the following annual functional values:</u>

Carbon sequestration: €259Avoided runoff: €332

• Pollution removal: €9.88 thousand

Energy costs and carbon emission values: €0

(Note: negative value indicates increased energy cost and carbon emission value)

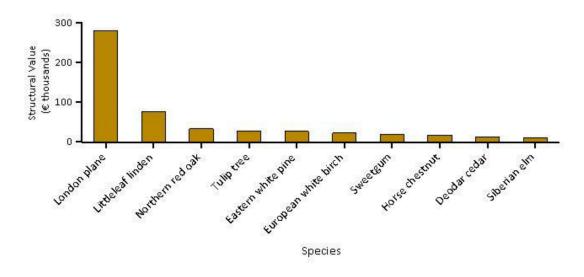


Figure 11. Tree species with the greatest structural value, Parco Cascina Vigna

IX. Potential Pest Impacts

Various insects and diseases can infest urban forests, potentially killing trees and reducing the health, structural value and sustainability of the urban forest. As pests tend to have differing tree hosts, the potential damage or risk of each pest will differ among cities. Thirty-six pests were analyzed for their potential impact.

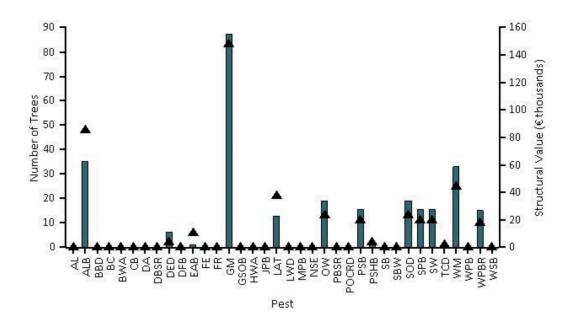


Figure 12. Number of trees at risk (points) and associated compensatory value (bars) by potential pests,
Parco Cascina Vigna

Aspen leafminer (AL) (Kruse et al 2007) is an insect that causes damage primarily to trembling or small tooth aspen by larval feeding of leaf tissue. AL has the potential to affect 0.0 percent of the population (€0 in structural value).

Asian longhorned beetle (ALB) (Animal and Plant Health Inspection Service 2010) is an insect that bores into and kills a wide range of hardwood species. ALB poses a threat to 17.3 percent of the Parco Cascina Vigna urban forest, which represents a potential loss of €62.6 thousand in structural value.

Beech bark disease (BBD) (Houston and O'Brien 1983) is an insect-disease complex that primarily impacts American beech. This disease threatens 0.0 percent of the population, which represents a potential loss of €0 in structural value.

Butternut canker (BC) (Ostry et al 1996) is caused by a fungus that infects butternut trees. The disease has since caused significant declines in butternut populations in the United States. Potential loss of trees from BC is 0.0 percent (€0 in structural value).

Balsam woolly adelgid (BWA) (Ragenovich and Mitchell 2006) is an insect that has caused significant damage to the true firs of North America. Parco Cascina Vigna could possibly lose 0.0 percent of its trees to this pest (€0 in structural value).

The most common hosts of the fungus that cause chestnut blight (CB) (Diller 1965) are American and European chestnut. CB has the potential to affect 0.0 percent of the population (€0 in structural value).

Dogwood anthracnose (DA) (Mielke and Daughtrey) is a disease that affects dogwood species, specifically flowering and Pacific dogwood. This disease threatens 0.0 percent of the population, which represents a potential loss of €0 in structural value.

Douglas-fir black stain root disease (DBSR) (Hessburg et al 1995) is a variety of the black stain fungus that attacks Douglas-firs. Parco Cascina Vigna could possibly lose 0.0 percent of its trees to this pest (€0 in structural value).

American elm, one of the most important street trees in the twentieth century, has been devastated by the Dutch elm disease (DED) (Northeastern Area State and Private Forestry 1998). Since first reported in the 1930s, it has killed over 50 percent of the native elm population in the United States. Although some elm species have shown varying degrees of resistance, Parco Cascina Vigna could possibly lose 0.7 percent of its trees to this pest (€11.2 thousand in structural value).

Douglas-fir beetle (DFB) (Schmitz and Gibson 1996) is a bark beetle that infests Douglas-fir trees throughout the western United States, British Columbia, and Mexico. Potential loss of trees from DFB is 0.0 percent (€0 in structural value).

Emerald ash borer (EAB) (Michigan State University 2010) has killed thousands of ash trees in parts of the United States. EAB has the potential to affect 2.2 percent of the population (€2.04 thousand in structural value).

One common pest of white fir, grand fir, and red fir trees is the fir engraver (FE) (Ferrell 1986). FE poses a threat to 0.0 percent of the Parco Cascina Vigna urban forest, which represents a potential loss of €0 in structural value.

Fusiform rust (FR) (Phelps and Czabator 1978) is a fungal disease that is distributed in the southern United States. It is particularly damaging to slash pine and loblolly pine. FR has the potential to affect 0.0 percent of the population (€0 in structural value).

The gypsy moth (GM) (Northeastern Area State and Private Forestry 2005) is a defoliator that feeds on many species causing widespread defoliation and tree death if outbreak conditions last several years. This pest threatens 29.9 percent of the population, which represents a potential loss of €155 thousand in structural value.

Infestations of the goldspotted oak borer (GSOB) (Society of American Foresters 2011) have been a growing problem in southern California. Potential loss of trees from GSOB is 0.0 percent (€0 in structural value).

As one of the most damaging pests to eastern hemlock and Carolina hemlock, hemlock woolly adelgid (HWA) (U.S. Forest Service 2005) has played a large role in hemlock mortality in the United States. HWA has the potential to affect 0.0 percent of the population (€0 in structural value).

The Jeffrey pine beetle (JPB) (Smith et al 2009) is native to North America and is distributed across California, Nevada, and Oregon where its only host, Jeffrey pine, also occurs. This pest threatens 0.0 percent of the population, which represents a potential loss of €0 in structural value.

Quaking aspen is a principal host for the defoliator, large aspen tortrix (LAT) (Ciesla and Kruse 2009). LAT poses a threat to 7.6 percent of the Parco Cascina Vigna urban forest, which represents a potential loss of €22.8 thousand in structural value.

Laurel wilt (LWD) (U.S. Forest Service 2011) is a fungal disease that is introduced to host trees by the redbay ambrosia beetle. This pest threatens 0.0 percent of the population, which represents a potential loss of €0 in structural value.

Mountain pine beetle (MPB) (Gibson et al 2009) is a bark beetle that primarily attacks pine species in the western

Allegato 1 - Pagina 19

United States. MPB has the potential to affect 0.0 percent of the population (€0 in structural value).

The northern spruce engraver (NSE) (Burnside et al 2011) has had a significant impact on the boreal and sub-boreal forests of North America where the pest's distribution overlaps with the range of its major hosts. Potential loss of trees from NSE is 0.0 percent (€0 in structural value).

Oak wilt (OW) (Rexrode and Brown 1983), which is caused by a fungus, is a prominent disease among oak trees. OW poses a threat to 4.7 percent of the Parco Cascina Vigna urban forest, which represents a potential loss of €33.7 thousand in structural value.

Pine black stain root disease (PBSR) (Hessburg et al 1995) is a variety of the black stain fungus that attacks hard pines, including lodgepole pine, Jeffrey pine, and ponderosa pine. Parco Cascina Vigna could possibly lose 0.0 percent of its trees to this pest (€0 in structural value).

Port-Orford-cedar root disease (POCRD) (Liebhold 2010) is a root disease that is caused by a fungus. POCRD threatens 0.0 percent of the population, which represents a potential loss of €0 in structural value.

The pine shoot beetle (PSB) (Ciesla 2001) is a wood borer that attacks various pine species, though Scotch pine is the preferred host in North America. PSB has the potential to affect 4.0 percent of the population (€27.7 thousand in structural value).

Polyphagous shot hole borer (PSHB) (University of California 2014) is a boring beetle that was first detected in California. Parco Cascina Vigna could possibly lose 0.7 percent of its trees to this pest (€3.45 thousand in structural value).

Spruce beetle (SB) (Holsten et al 1999) is a bark beetle that causes significant mortality to spruce species within its range. Potential loss of trees from SB is 0.0 percent (€0 in structural value).

Spruce budworm (SBW) (Kucera and Orr 1981) is an insect that causes severe damage to balsam fir. SBW poses a threat to 0.0 percent of the Parco Cascina Vigna urban forest, which represents a potential loss of €0 in structural value.

Sudden oak death (SOD) (Kliejunas 2005) is a disease that is caused by a fungus. Potential loss of trees from SOD is 4.7 percent (€33.7 thousand in structural value).

Although the southern pine beetle (SPB) (Clarke and Nowak 2009) will attack most pine species, its preferred hosts are loblolly, Virginia, pond, spruce, shortleaf, and sand pines. This pest threatens 4.0 percent of the population, which represents a potential loss of €27.7 thousand in structural value.

The sirex woodwasp (SW) (Haugen and Hoebeke 2005) is a wood borer that primarily attacks pine species. SW poses a threat to 4.0 percent of the Parco Cascina Vigna urban forest, which represents a potential loss of €27.7 thousand in structural value.

Thousand canker disease (TCD) (Cranshaw and Tisserat 2009; Seybold et al 2010) is an insect-disease complex that kills several species of walnuts, including black walnut. Potential loss of trees from TCD is 0.4 percent (€1.74 thousand in structural value).

Winter moth (WM) (Childs 2011) is a pest with a wide range of host species. WM causes the highest levels of injury to its hosts when it is in its caterpillar stage. Parco Cascina Vigna could possibly lose 9.0 percent of its trees to this pest (€58.6 thousand in structural value).

The western pine beetle (WPB) (DeMars and Roettgering 1982) is a bark beetle and aggressive attacker of ponderosa and Coulter pines. This pest threatens 0.0 percent of the population, which represents a potential loss of €0 in structural value.

Allegato 1 - Pagina 20

Since its introduction to the United States in 1900, white pine blister rust (Eastern U.S.) (WPBR) (Nicholls and Anderson 1977) has had a detrimental effect on white pines, particularly in the Lake States. WPBR has the potential to affect 3.6 percent of the population (€26.7 thousand in structural value).

Western spruce budworm (WSB) (Fellin and Dewey 1986) is an insect that causes defoliation in western conifers. This pest threatens 0.0 percent of the population, which represents a potential loss of €0 in structural value.

Appendix I. i-Tree Eco Model and Field Measurements

i-Tree Eco is designed to use standardized field data and local hourly air pollution and meteorological data to quantify urban forest structure and its numerous effects (Nowak and Crane 2000), including:

- Urban forest structure (e.g., species composition, tree health, leaf area, etc.).
- Amount of pollution removed hourly by the urban forest, and its associated percent air quality improvement throughout a year.
- Total carbon stored and net carbon annually sequestered by the urban forest.
- Effects of trees on building energy use and consequent effects on carbon dioxide emissions from power sources.
- Structural value of the forest, as well as the value for air pollution removal and carbon storage and sequestration.
- Potential impact of infestations by pests, such as Asian longhorned beetle, emerald ash borer, gypsy moth, and Dutch elm disease.

Typically, all field data are collected during the leaf-on season to properly assess tree canopies. Typical data collection (actual data collection may vary depending upon the user) includes land use, ground and tree cover, individual tree attributes of species, stem diameter, height, crown width, crown canopy missing and dieback, and distance and direction to residential buildings (Nowak et al 2005; Nowak et al 2008).

During data collection, trees are identified to the most specific taxonomic classification possible. Trees that are not classified to the species level may be classified by genus (e.g., ash) or species groups (e.g., hardwood). In this report, tree species, genera, or species groups are collectively referred to as tree species.

Tree Characteristics:

Leaf area of trees was assessed using measurements of crown dimensions and percentage of crown canopy missing. In the event that these data variables were not collected, they are estimated by the model.

An analysis of invasive species is not available for studies outside of the United States. For the U.S., invasive species are identified using an invasive species list for the state in which the urban forest is located. These lists are not exhaustive and they cover invasive species of varying degrees of invasiveness and distribution. In instances where a state did not have an invasive species list, a list was created based on the lists of the adjacent states. Tree species that are identified as invasive by the state invasive species list are cross-referenced with native range data. This helps eliminate species that are on the state invasive species list, but are native to the study area.

<u>Air Pollution Removal:</u>

Pollution removal is calculated for ozone, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon monoxide and particulate matter less than 2.5 microns. Particulate matter less than 10 microns (PM10) is another significant air pollutant. Given that i-Tree Eco analyzes particulate matter less than 2.5 microns (PM2.5) which is a subset of PM10, PM10 has not been included in this analysis. PM2.5 is generally more relevant in discussions concerning air pollution effects on human health.

Air pollution removal estimates are derived from calculated hourly tree-canopy resistances for ozone, and sulfur and nitrogen dioxides based on a hybrid of big-leaf and multi-layer canopy deposition models (Baldocchi 1988; Baldocchi et al 1987). As the removal of carbon monoxide and particulate matter by vegetation is not directly related to transpiration, removal rates (deposition velocities) for these pollutants were based on average measured values from the literature (Bidwell and Fraser 1972; Lovett 1994) that were adjusted depending on leaf phenology and leaf area. Particulate removal incorporated a 50 percent resuspension rate of particles back to the atmosphere (Zinke 1967). Recent updates (2011) to air quality modeling are based on improved leaf area index simulations, weather and pollution processing and interpolation, and updated pollutant monetary values (Hirabayashi et al 2011; Hirabayashi et al 2012; Hirabayashi 2011).

Trees remove PM2.5 when particulate matter is deposited on leaf surfaces (Nowak et al 2013). This deposited PM2.5 can be resuspended to the atmosphere or removed during rain events and dissolved or transferred to the soil. This combination of events can lead to positive or negative pollution removal and value depending on various atmospheric factors. Generally, PM2.5 removal is positive with positive benefits. However, there are some cases when net removal is negative or resuspended particles lead to increased pollution concentrations and negative values. During some months (e.g., with no rain), trees resuspend more particles than they remove. Resuspension can also lead to increased overall PM2.5 concentrations if the boundary layer conditions are lower during net resuspension periods than during net removal periods. Since the pollution removal value is based on the change in pollution concentration, it is possible to have situations when trees remove PM2.5 but increase concentrations and thus have negative values during periods of positive overall removal. These events are not common, but can happen.

For reports in the United States, default air pollution removal value is calculated based on local incidence of adverse health effects and national median externality costs. The number of adverse health effects and associated economic value is calculated for ozone, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and particulate matter less than 2.5 microns using data from the U.S. Environmental Protection Agency's Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMAP) (Nowak et al 2014). The model uses a damage-function approach that is based on the local change in pollution concentration and population. National median externality costs were used to calculate the value of carbon monoxide removal (Murray et al 1994).

For international reports, user-defined local pollution values are used. For international reports that do not have local values, estimates are based on either European median externality values (van Essen et al 2011) or BenMAP regression equations (Nowak et al 2014) that incorporate user-defined population estimates. Values are then converted to local currency with user-defined exchange rates.

For this analysis, pollution removal value is calculated based on the prices of €1,127 per metric ton (carbon monoxide), €39,661 per metric ton (ozone), €5,924 per metric ton (nitrogen dioxide), €2,159 per metric ton (sulfur dioxide), €1,376,651 per metric ton (particulate matter less than 2.5 microns).

<u>Carbon Storage and Sequestration:</u>

Carbon storage is the amount of carbon bound up in the above-ground and below-ground parts of woody vegetation. To calculate current carbon storage, biomass for each tree was calculated using equations from the literature and measured tree data. Open-grown, maintained trees tend to have less biomass than predicted by forest-derived biomass equations (Nowak 1994). To adjust for this difference, biomass results for open-grown urban trees were multiplied by 0.8. No adjustment was made for trees found in natural stand conditions. Tree dry-weight biomass was converted to stored carbon by multiplying by 0.5.

Carbon sequestration is the removal of carbon dioxide from the air by plants. To estimate the gross amount of carbon sequestered annually, average diameter growth from the appropriate genera and diameter class and tree condition was added to the existing tree diameter (year x) to estimate tree diameter and carbon storage in year x +1.

Carbon storage and carbon sequestration values are based on estimated or customized local carbon values. For international reports that do not have local values, estimates are based on the carbon value for the United States (U.S. Environmental Protection Agency 2015, Interagency Working Group on Social Cost of Carbon 2015) and converted to local currency with user-defined exchange rates.

For this analysis, carbon storage and carbon sequestration values are calculated based on €82 per metric ton.

Oxygen Production:

The amount of oxygen produced is estimated from carbon sequestration based on atomic weights: net O2 release (kg/yr) = net C sequestration $(kg/yr) \times 32/12$. To estimate the net carbon sequestration rate, the amount of

carbon sequestered as a result of tree growth is reduced by the amount lost resulting from tree mortality. Thus, net carbon sequestration and net annual oxygen production of the urban forest account for decomposition (Nowak et al 2007). For complete inventory projects, oxygen production is estimated from gross carbon sequestration and does not account for decomposition.

Avoided Runoff:

Annual avoided surface runoff is calculated based on rainfall interception by vegetation, specifically the difference between annual runoff with and without vegetation. Although tree leaves, branches, and bark may intercept precipitation and thus mitigate surface runoff, only the precipitation intercepted by leaves is accounted for in this analysis.

The value of avoided runoff is based on estimated or user-defined local values. For international reports that do not have local values, the national average value for the United States is utilized and converted to local currency with user-defined exchange rates. The U.S. value of avoided runoff is based on the U.S. Forest Service's Community Tree Guide Series (McPherson et al 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2010; Peper et al 2009; 2010; Vargas et al 2007a; 2007b; 2008).

For this analysis, avoided runoff value is calculated based on the price of €1.90 per m³.

Building Energy Use:

If appropriate field data were collected, seasonal effects of trees on residential building energy use were calculated based on procedures described in the literature (McPherson and Simpson 1999) using distance and direction of trees from residential structures, tree height and tree condition data. To calculate the monetary value of energy savings, local or custom prices per MWH or MBTU are utilized.

For this analysis, energy saving value is calculated based on the prices of €240.00 per MWH and €29.31 per MBTU.

Structural Values:

Structural value is the value of a tree based on the physical resource itself (e.g., the cost of having to replace a tree with a similar tree). Structural values were based on valuation procedures of the Council of Tree and Landscape Appraisers, which uses tree species, diameter, condition, and location information (Nowak et al 2002a; 2002b). Structural value may not be included for international projects if there is insufficient local data to complete the valuation procedures.

Potential Pest Impacts:

The complete potential pest risk analysis is not available for studies outside of the United States. The number of trees at risk to the pests analyzed is reported, though the list of pests is based on known insects and disease in the United States.

For the U.S., potential pest risk is based on pest range maps and the known pest host species that are likely to experience mortality. Pest range maps for 2012 from the Forest Health Technology Enterprise Team (FHTET) (Forest Health Technology Enterprise Team 2014) were used to determine the proximity of each pest to the county in which the urban forest is located. For the county, it was established whether the insect/disease occurs within the county, is within 400 kilometers of the county edge, is between 400 and 1210 kilometers away, or is greater than 1210 kilometers away. FHTET did not have pest range maps for Dutch elm disease and chestnut blight. The range of these pests was based on known occurrence and the host range, respectively (Eastern Forest Environmental Threat Assessment Center; Worrall 2007).

Relative Tree Effects:

The relative value of tree benefits reported in Appendix II is calculated to show what carbon storage and sequestration, and air pollutant removal equate to in amounts of municipal carbon emissions, passenger automobile emissions, and house emissions.

Municipal carbon emissions are based on 2010 U.S. per capita carbon emissions (Carbon Dioxide Information Analysis Center 2010). Per capita emissions were multiplied by city population to estimate total city carbon emissions.

Light duty vehicle emission rates (g/mi) for CO, NOx, VOCs, PM10, SO2 for 2010 (Bureau of Transportation Statistics 2010; Heirigs et al 2004), PM2.5 for 2011-2015 (California Air Resources Board 2013), and CO2 for 2011 (U.S. Environmental Protection Agency 2010) were multiplied by average miles driven per vehicle in 2011 (Federal Highway Administration 2013) to determine average emissions per vehicle.

Household emissions are based on average electricity kWh usage, natural gas Btu usage, fuel oil Btu usage, kerosene Btu usage, LPG Btu usage, and wood Btu usage per household in 2009 (Energy Information Administration 2013; Energy Information Administration 2014)

- CO2, SO2, and NOx power plant emission per KWh are from Leonardo Academy 2011. CO emission per kWh assumes 1/3 of one percent of C emissions is CO based on Energy Information Administration 1994. PM10 emission per kWh from Layton 2004.
- CO2, NOx, SO2, and CO emission per Btu for natural gas, propane and butane (average used to represent LPG), Fuel #4 and #6 (average used to represent fuel oil and kerosene) from Leonardo Academy 2011.
- CO2 emissions per Btu of wood from Energy Information Administration 2014.
- CO, NOx and SOx emission per Btu based on total emissions and wood burning (tons) from (British Columbia Ministry 2005; Georgia Forestry Commission 2009).

Appendix II. Relative Tree Effects

The urban forest in Parco Cascina Vigna provides benefits that include carbon storage and sequestration, and air pollutant removal. To estimate the relative value of these benefits, tree benefits were compared to estimates of average municipal carbon emissions, average passenger automobile emissions, and average household emissions. See Appendix I for methodology.

Carbon storage is equivalent to:

- Amount of carbon emitted in Parco Cascina Vigna in 0 days
- Annual carbon (C) emissions from 64 automobiles
- Annual C emissions from 26 single-family houses

Carbon monoxide removal is equivalent to:

- Annual carbon monoxide emissions from 0 automobiles
- Annual carbon monoxide emissions from 0 single-family houses

Nitrogen dioxide removal is equivalent to:

- Annual nitrogen dioxide emissions from 3 automobiles
- Annual nitrogen dioxide emissions from 1 single-family houses

Sulfur dioxide removal is equivalent to:

- Annual sulfur dioxide emissions from 77 automobiles
- Annual sulfur dioxide emissions from 0 single-family houses

Annual carbon sequestration is equivalent to:

- Amount of carbon emitted in Parco Cascina Vigna in 0.0 days
- Annual C emissions from 0 automobiles
- Annual C emissions from 0 single-family houses

Appendix III. Comparison of Urban Forests

A common question asked is, "How does this city compare to other cities?" Although comparison among cities should be made with caution as there are many attributes of a city that affect urban forest structure and functions, summary data are provided from other cities analyzed using the i-Tree Eco model.

I. City totals for trees

				Carbon	
City	% Tree Cover	Number of Trees	Carbon Storage	Sequestration	Pollution Removal
			(metric tons)	(metric tons/yr)	(metric tons/yr)
Toronto, ON, Canada	26.6	10,220,000	1,108,000	46,700	1,905
Atlanta, GA	36.7	9,415,000	1,220,000	42,100	1,509
Los Angeles, CA	11.1	5,993,000	1,151,000	69,800	1,792
New York, NY	20.9	5,212,000	1,225,000	38,400	1,521
London, ON, Canada	24.7	4,376,000	360,000	12,500	370
Chicago, IL	17.2	3,585,000	649,000	22,800	806
Baltimore, MD	21.0	2,479,000	517,000	16,700	390
Philadelphia, PA	15.7	2,113,000	481,000	14,600	522
Washington, DC	28.6	1,928,000	477,000	14,700	379
Oakville, ON , Canada	29.1	1,908,000	133,000	6,000	172
Boston, MA	22.3	1,183,000	290,000	9,500	257
Syracuse, NY	26.9	1,088,000	166,000	5,300	99
Woodbridge, NJ	29.5	986,000	145,000	5,000	191
Minneapolis, MN	26.4	979,000	227,000	8,100	277
San Francisco, CA	11.9	668,000	176,000	4,600	128
Morgantown, WV	35.5	658,000	84,000	2,600	65
Moorestown, NJ	28.0	583,000	106,000	3,400	107
Hartford, CT	25.9	568,000	130,000	3,900	52
Jersey City, NJ	11.5	136,000	19,000	800	37
Casper, WY	8.9	123,000	34,000	1,100	34
Freehold, NJ	34.4	48,000	18,000	500	20

II. Totals per hectare of land area

City	Number of Trees/ha	Carbon Storage	Carbon Sequestration	Pollution Remova
		(metric tons/ha)	(metric tons/ha/yr)	(kg/ha/yr,
Toronto, ON, Canada	160.4	17.4	0.73	29.9
Atlanta, GA	275.8	35.7	1.23	44.2
Los Angeles, CA	48.4	9.4	0.36	14.7
New York, NY	65.2	15.3	0.48	19.0
London, ON, Canada	185.5	15.3	0.53	15.7
Chicago, IL	59.9	10.9	0.38	13.5
Baltimore, MD	118.5	25.0	0.80	18.6
Philadelphia, PA	61.9	14.1	0.43	15.3
Washington, DC	121.1	29.8	0.92	23.8
Oakville, ON , Canada	192.9	13.4	0.61	12.4
Boston, MA	82.9	20.3	0.67	18.0
Syracuse, NY	167.4	23.1	0.77	15.2
Woodbridge, NJ	164.4	24.2	0.84	31.9
Minneapolis, MN	64.8	15.0	0.53	18.3
San Francisco, CA	55.7	14.7	0.39	10.7
Morgantown, WV	294.5	37.7	1.17	29.2
Moorestown, NJ	153.4	27.9	0.90	28.1
Hartford, CT	124.6	28.5	0.86	11.5
Jersey City, NJ	35.5	5.0	0.21	9.6
Casper, WY	22.5	6.2	0.20	6.2
Freehold, NJ	94.6	35.9	0.98	39.6

Appendix IV. General Recommendations for Air Quality Improvement

Urban vegetation can directly and indirectly affect local and regional air quality by altering the urban atmosphere environment. Four main ways that urban trees affect air quality are (Nowak 1995):

- Temperature reduction and other microclimate effects
- Removal of air pollutants
- Emission of volatile organic compounds (VOC) and tree maintenance emissions
- Energy effects on buildings

The cumulative and interactive effects of trees on climate, pollution removal, and VOC and power plant emissions determine the impact of trees on air pollution. Cumulative studies involving urban tree impacts on ozone have revealed that increased urban canopy cover, particularly with low VOC emitting species, leads to reduced ozone concentrations in cities (Nowak 2000). Local urban management decisions also can help improve air quality.

Urban forest management strategies to help improve air quality include (Nowak 2000):

Strategy	Result
Increase the number of healthy trees	Increase pollution removal
Sustain existing tree cover	Maintain pollution removal levels
Maximize use of low VOC-emitting trees	Reduces ozone and carbon monoxide formation
Sustain large, healthy trees	Large trees have greatest per-tree effects
Use long-lived trees	Reduce long-term pollutant emissions from planting and removal
Use low maintenance trees	Reduce pollutants emissions from maintenance activities
Reduce fossil fuel use in maintaining vegetation	Reduce pollutant emissions
Plant trees in energy conserving locations	Reduce pollutant emissions from power plants
Plant trees to shade parked cars	Reduce vehicular VOC emissions
Supply ample water to vegetation	Enhance pollution removal and temperature reduction
Plant trees in polluted or heavily populated areas	Maximizes tree air quality benefits
Avoid pollutant-sensitive species	Improve tree health
Utilize evergreen trees for particulate matter	Year-round removal of particles

Appendix V. Invasive Species of the Urban Forest

Invasive species data is only available for the United States. This analysis cannot be completed for international studies because of a lack of necessary data.

Appendix VI. Potential Risk of Pests

Pest range data is only available for the United States. This analysis cannot be completed for international studies because of a lack of necessary data.

References

Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. 2000. Global climate change and the urban forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press. 77 p.

Animal and Plant Health Inspection Service. 2010. Plant Health – Asian longhorned beetle. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service.

Baldocchi, D. 1988. A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. Atmospheric Environment. 22: 869-884.

Baldocchi, D.D.; Hicks, B.B.; Camara, P. 1987. A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. Atmospheric Environment. 21: 91-101.

Bidwell, R.G.S.; Fraser, D.E. 1972. Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. Canadian Journal of Botany. 50: 1435-1439.

British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. 2005. Residential wood burning emissions in British Columbia. British Columbia.

Broecker, W.S. 1970. Man's oxygen reserve. Science 168(3939): 1537-1538.

Bureau of Transportation Statistics. 2010. Estimated National Average Vehicle Emissions Rates per Vehicle by Vehicle Type using Gasoline and Diesel. Washington, DC: Burea of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation. Table 4-43.

Burnside, R.E.; Holsten, E. H.; Fettig, C.J.; Kruse, J. J.; Schultz, M.E.; Hayes, C.J.; Graves, A.D.; Seybold, S.J. 2011. Northern Spruce Engraver. Forest Insect & Disease Leaflet 180. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.

California Air Resources Board. 2013. Methods to Find the Cost-Effectiveness of Funding Air Quality Projects. Table 3 Average Auto Emission Factors. CA: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board.

Carbon Dioxide Information Analysis Center. 2010. CO2 Emissions (metric tons per capita). Washington, DC: The World Bank.

Cardelino, C.A.; Chameides, W.L. 1990. Natural hydrocarbons, urbanization, and urban ozone. Journal of Geophysical Research. 95(D9): 13,971-13,979.

Childs, R. 2011. Winter Moth Identification and Management. Amherst, MA: University of Massachusetts Amherst, Landscape, Nursery & Urban Forestry Program.

Ciesla, W. M. 2001. Tomicus piniperda. North American Forest Commission. Exotic Forest Pest Information System for North America (EXFOR).

Ciesla, W. M.; Kruse, J. J. 2009. Large Aspen Tortrix. Forest Insect & Disease Leaflet 139. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Clarke, S. R.; Nowak, J.T. 2009. Southern Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 49. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Cranshaw, W.; Tisserat, N. 2009. Walnut twig beetle and the thousand cankers disease of black walnut. Pest Alert.

Allegato 1 - Pagina 31

Ft. Collins, CO: Colorado State University.

Seybold, S.; Haugen, D.; Graves, A. 2010. Thousand Cankers Disease. Pest Alert. NA-PR-02-10. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.

DeMars, C. J., Jr.; Roettgering, B. H. 1982. Western Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 1. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Diller, J. D. 1965. Chestnut Blight. Forest Pest Leaflet 94. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 7 p.

Eastern Forest Environmental Threat Assessment Center. Dutch Elm Disease. http://threatsummary.forestthreats.org/threats/threatSummaryViewer.cfm?threatID=43

Energy Information Administration. 1994. Energy Use and Carbon Emissions: Non-OECD Countries. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.

Energy Information Administration. 2013. CE2.1 Fuel consumption totals and averages, U.S. homes. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.

Energy Information Administration. 2014. CE5.2 Household wood consumption. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.

Federal Highway Administration. 2013. Highway Statistics 2011. Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Table VM-1.

Fellin, D. G.; Dewey, J. E. 1986. Western Spruce Budworm. Forest Insect & Disease Leaflet 53. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 10 p.

Ferrell, G. T. 1986. Fir Engraver. Forest Insect & Disease Leaflet 13. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Georgia Forestry Commission. 2009. Biomass Energy Conversion for Electricity and Pellets Worksheet. Dry Branch, GA: Georgia Forestry Commission.

Gibson, K.; Kegley, S.; Bentz, B. 2009. Mountain Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 2. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.

Haugen, D. A.; Hoebeke, R. E. 2005. Sirex woodwasp - Sirex noctilio F. (Hymenoptera: Siricidae). Pest Alert. NA-PR-07-05. Newtown Square, PA: Department of Agriculture, Forest Service, Northern Area State and Private Forestry.

Heirigs, P.L.; Delaney, S.S.; Dulla, R.G. 2004. Evaluation of MOBILE Models: MOBILE6.1 (PM), MOBILE6.2 (Toxics), and MOBILE6/CNG. Sacramento, CA: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.

Hessburg, P. F.; Goheen, D. J.; Bega, R.V. 1995. Black Stain Root Disease of Conifers. Forest Insect & Disease Leaflet 145. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Hessburg, P. F.; Goheen, D. J.; Bega, R.V. 1995. Black Stain Root Disease of Conifers. Forest Insect & Disease Leaflet 145. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Hirabayashi, S. 2011. Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE-D) Model Enhancements, http://www.itreetools.org/eco/resources/UFORE-D enhancements.pdf

Hirabayashi, S. 2012. i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions, http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf

Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2011. Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. Environmental Modeling and Software. 26(6): 804-816.

Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2012. i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions V 1.0

Holsten, E.H.; Thier, R.W.; Munson, A.S.; Gibson, K.E. 1999. The Spruce Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 127. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.

Houston, D. R.; O'Brien, J. T. 1983. Beech Bark Disease. Forest Insect & Disease Leaflet 75. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government. 2015. Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/scc-tsd-final-july-2015.pdf

Kliejunas, J. 2005. Phytophthora ramorum. North American Forest Commission. Exotic Forest Pest Information System for North America (EXFOR).

Kruse, J.; Ambourn, A.; Zogas, K. 2007. Aspen Leaf Miner. Forest Health Protection leaflet. R10-PR-14. Juneau, AK: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Alaska Region.

Kucera, D. R.; Orr, P. W. 1981. Spruce Budworm in the Eastern United States. Forest Pest Leaflet 160. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Layton, M. 2004. 2005 Electricity Environmental Performance Report: Electricity Generation and Air Emissions. CA: California Energy Commission.

Leonardo Academy. 2011. Leonardo Academy's Guide to Calculating Emissions Including Emission Factors and Energy Prices. Madison, WI: Leonardo Academy Inc.

Liebhold, A. 2010 draft. Personal communication on the geographic distribution of forest pest species.

Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. Ecological Applications. 4: 629-650.

McPherson, E.G.; Maco, S.E.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; VanDerZanden, A.M.; Bell, N. 2002. Western Washington and Oregon Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting. International Society of Arboriculture, Pacific Northwest, Silverton, OR.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R. 1999. Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters. Gen. Tech. Rep. PSW-171. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 237 p.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Crowell, A.M.N.; Xiao, Q. 2010. Northern California coast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-228. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-228. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Maco, S.E.; Xiao, Q. 2006a. Coastal Plain Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting PSW-GTR-201. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Xiao, Q. 2007. Northeast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Gardner, S.L.; Cozad, S.K.; Xiao, Q. 2006b. Midwest Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting PSW-GTR-199. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Xiao, Q. 2006c. Piedmont Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting PSW-GTR 200. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Xiao Q.; Mulrean, E. 2004. Desert Southwest Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting. Phoenix, AZ: Arizona Community Tree Council, Inc. 81:81.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Scott, K.I.; Xiao, Q. 2000. Tree Guidelines for Coastal Southern California Communities. Local Government Commission, Sacramento, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q. 1999. Tree Guidelines for San Joaquin Valley Communities. Local Government Commission, Sacramento, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; Maco, S.E.; Hoefer, P.J. 2003. Northern Mountain and Prairie Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting. Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; Pittenger, D.R.; Hodel, D.R. 2001. Tree Guidelines for Inland Empire Communities. Local Government Commission, Sacramento, CA.

Michigan State University. 2010. Emerald ash borer. East Lansing, MI: Michigan State University [and others].

Mielke, M. E.; Daughtrey, M. L. How to Identify and Control Dogwood Anthracnose. NA-GR-18. Broomall, PA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area and Private Forestry.

Murray, F.J.; Marsh L.; Bradford, P.A. 1994. New York State Energy Plan, vol. II: issue reports. Albany, NY: New York State Energy Office.

Nicholls, T. H.; Anderson, R. L. 1977. How to Identify White Pine Blister Rust and Remove Cankers. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry

Northeastern Area State and Private Forestry. 1998. How to identify and manage Dutch Elm Disease. NA-PR-07-98. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.

Northeastern Area State and Private Forestry. 2005. Gypsy moth digest. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.

Nowak, D.J. 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G.; Nowak, D.J.; Rowntree, R.A., eds. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 83-94.

Nowak, D.J. 1995. Trees pollute? A "TREE" explains it all. In: Proceedings of the 7th National Urban Forestry Conference. Washington, DC: American Forests: 28-30.

Allegato 1 - Pagina 34

Nowak, D.J. 2000. The interactions between urban forests and global climate change. In: Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. Global Climate Change and the Urban Forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press: 31-44.

Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. Environmental Pollution. 193:119-129.

Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. 2013. Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. Environmental Pollution. 178: 395-402.

Nowak, D.J.; Civerolo, K.L.; Rao, S.T.; Sistla, S.; Luley, C.J.; Crane, D.E. 2000. A modeling study of the impact of urban trees on ozone. Atmospheric Environment. 34: 1601-1613.

Nowak, D.J.; Crane, D.E. 2000. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen, M.; Burk, T., eds. Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Proceedings of IUFRO conference. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 714-720.

Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Dwyer, J.F. 2002a. Compensatory value of urban trees in the United States. Journal of Arboriculture. 28(4): 194 - 199.

Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Hoehn, R.E. 2005. The urban forest effects (UFORE) model: field data collection manual. V1b. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 34 p. http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE_Manual.pdf

Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Ibarra, M. 2002b. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 107 p.

Nowak, D.J.; Dwyer, J.F. 2000. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: Kuser, John, ed. Handbook of urban and community forestry in the northeast. New York, NY: Kluwer Academics/Plenum: 11-22.

Nowak, D.J.; Hoehn, R.; Crane, D. 2007. Oxygen production by urban trees in the United States. Arboriculture & Urban Forestry. 33(3):220-226.

Nowak, D.J.; Hoehn, R.E.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Walton, J.T; Bond, J. 2008. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. Arboriculture and Urban Forestry. 34(6): 347-358.

Nowak, D.J.; Stevens, J.C.; Sisinni, S.M.; Luley, C.J. 2002c. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. Journal of Arboriculture. 28(3): 113-122.

Ostry, M.E.; Mielke, M.E.; Anderson, R.L. 1996. How to Identify Butternut Canker and Manage Butternut Trees. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.

Peper, P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Albers, S.N.; Xiao, Q. 2010. Central Florida community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-230. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

Peper, P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Vargas, K.E.; Xiao Q. 2009. Lower Midwest community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-219. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-219. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

Phelps, W.R.; Czabator, F.L. 1978. Fusiform Rust of Southern Pines. Forest Insect & Disease Leaflet 26. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 7 p.

Rexrode, C. O.; Brown, H. D. 1983. Oak Wilt. Forest Insect & Disease Leaflet 29. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 6 p.

Schmitz, R. F.; Gibson, K. E. 1996. Douglas-fir Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 5. R1-96-87. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Smith, S. L.; Borys, R. R.; Shea, P. J. 2009. Jeffrey Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 11. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Society of American Foresters. 2011. Gold Spotted Oak Borer Hitches Ride in Firewood, Kills California Oaks. Forestry Source 16(10): 20.

U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. EPA-420-R-10-012a

U.S. Environmental Protection Agency. 2015. The social cost of carbon. http://www.epa.gov/climatechange/EPAactivities/economics/scc.html

U.S. Forest Service. 2005. Hemlock Woolly Adelgid. Pest Alert. NA-PR-09-05. Newtown Square, PA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Area State and Private Forestry.

U.S. Forest Service. 2011. Laurel Wilt. Atlanta, GA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Protection, Southern Region.

University of California. 2014. Polphagous Shot Hole Borer. Sacramento, CA: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.

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

Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007a. Interior West Tree Guide.

Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007b. Temperate Interior West Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting.

Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2008. Tropical community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-216. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-216. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

Worrall, J.J. 2007. Chestnut Blight. Forest and Shade Tree Pathology. http://www.forestpathology.org/dis_chestnut.html

Zinke, P.J. 1967. Forest interception studies in the United States. In: Sopper, W.E.; Lull, H.W., eds. Forest Hydrology. Oxford, UK: Pergamon Press: 137-161.

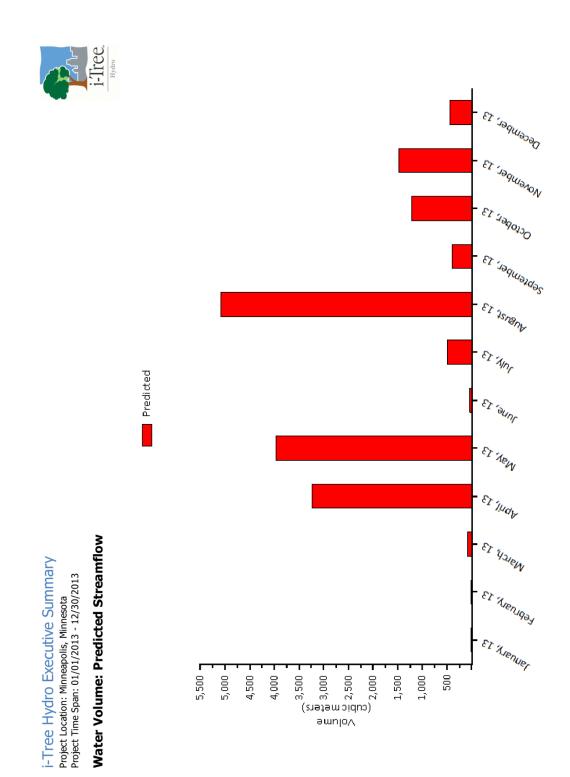
Allegato 2 – Report dell'applicazione di Hydro al Parco Cascina Vigna.

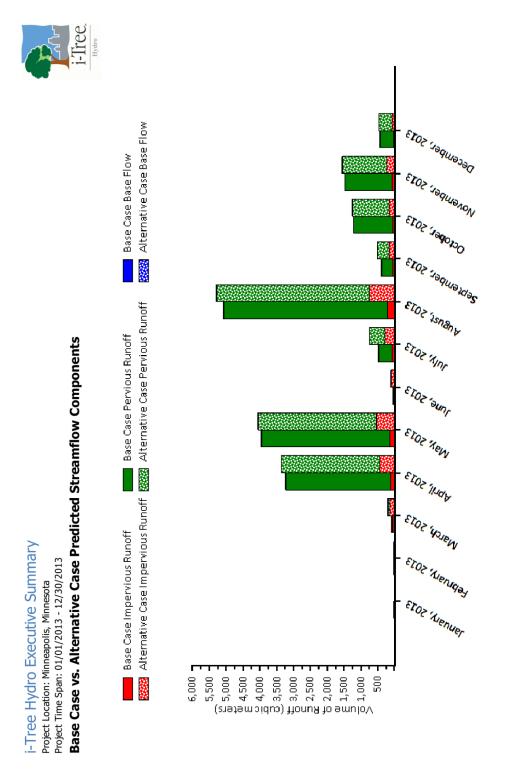
Caso alternativo 1: aumento della superficie impermeabile



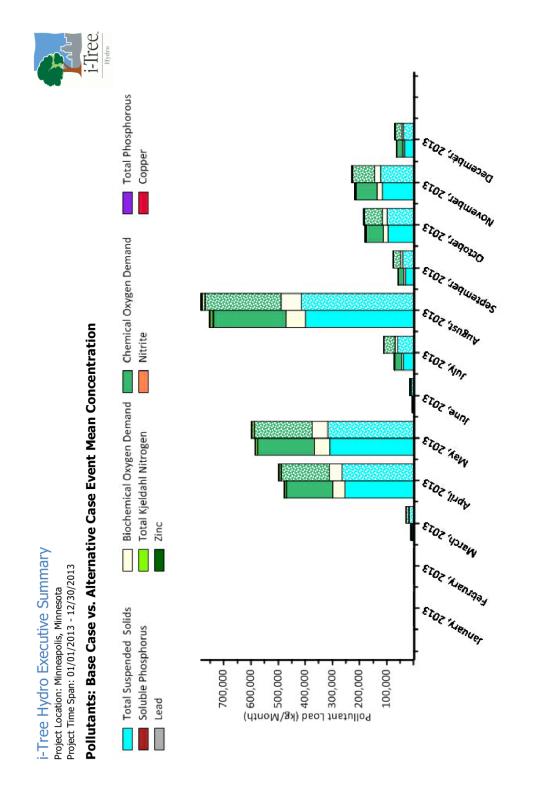
Z.	
Paramete	
Model	

Watershed Area	Rai	Rainfall	Total Flow	wo	Stream Gage	>	Weather Station		Hydro
square kilometers	millin	millimeters	cubic meters	sters					
90.0		500.38		16,477.86		N/A	Z	N/A	
Land Cover Base	Alte	Alternative		Base	Alternative	LC benea	LC beneath Tree Cover	Base	Alternative
Tree Cover % 3	34.6	34.6	Tre	Tree LAI 4.7	7 4.7		Soil Cover %	33.1	33.1
Shrub Cover %	5.8	5.8	Shru	Shrub LAI 2.2	2 2.2		Impervious Cover %	1.5	1.5
Herbaceous Cover % 3	34.7	24.7	Herbaceous LAI	s LAI 1.6	5 1.6	Percent Evergreen	vergreen		
Water Cover %	0.2	0.2		7.7			Troo Capony 0/	0	000
Impervious Cover %	0.6	22.3	Directly Connected Impervious Cover (%)	ected 30.0	0 47.2		Shriib Canopy %	10.0	10.0
	15.7	12.4				ח	inde Carlopy 70	0.01	0.01
Streamflow Predictions		Total Flow	ow	Base Flow	wo	Pervious Runoff	Runoff	Impervious Runoff	s Runoff
	1	Base /	Alternative	Base	Alternative	Base	Alternative	Base	Alternative
Total Flow (cubic meters)	rs)	16,477.9	17,622.3	197.2	167.7	15,476.9	14,597.9	802.8	2,855.7
Highest Flow (cubic meters / hour)	ur)	140.1	141.3	0.0	0.0	135.3	124.4	5.1	17.9
Lowest Flow (cubic meters / hour)	ur)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Highest Flow Date	ate	08/26/13	08/26/13	03/25/13	03/25/13	08/26/13	08/26/13	08/08/13	08/08/13
Lowest Flow Date	ate	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13
Median Flow (cubic meters / hour)	ur)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Number of flow events ABOVE median flow	W	13.0	13.0	1.0	1.0	14.0	14.0	12.0	12.0
Average length of flow events with flow ABOVE median (hours)	ow rs)	336.0	336.0	4,368.0	4,368.0	326.1	326.1	385.7	385.7
High Flow: Number of flow events ABOVE 1 standard deviation	ion	8.0	9.0	0.0	0.0	7.0	7.0	12.0	12.0
Average length of flow events ABOVE 1 standard deviation (hours)	E 1 Irs)	502.9	450.8	0.0	0.0	532.7	532.3	385.7	385.7
Number of flow events BELOW median flow	W	13.0	13.0	2.0	2.0	14.0	14.0	12.0	12.0
Average length of events BELOW median (hours)	ian rs)	362.4	362.7	721.0	721.0	312.0	312.0	364.0	364.0





Note: Solid colors represent Base Case values while the hatched pattern indicates Alternative Case values



Note: Solid colors represent Base Case values while the hatched pattern indicates Alternative Case values

-Tree Hydro Executive Summary

Project Location: Minneapolis, Minnesota Project Time Span: 01/01/2013 - 12/30/2013



Base Case – The original modeled scenario defined by the initial land cover values (e.g. tree cover, herbaceous cover, impervious cover, etc.)

development (e.g. increase in impervious cover or decrease in vegetative cover) or an increase in vegetative cover (e.g. increase in tree cover or herbaceous Alternative Case – The modeled scenario contrasted with the base case. It is defined by changes in the initial land cover values representing an increase in

Base Flow – The stream flow from groundwater and no recent storm runoff. Base flow is generated from the saturated soil zone within i-Tree Hydro.

canopies. The model first checks that impervious cover specific depression storage is filled and evaporation from this storage is accounted for, before generating impervious flow. Impervious flow either passes directly to the outlet through directly connected impervious cover area (DCIA) or runs on to neighboring pervious Impervious Runoff – The predicted overland surface runoff generated from impervious cover areas, which may be impervious cover with or without vegetative cover areas where infiltration may occur

uses saturation excess and infiltration excess routines to calculate the total amount of pervious flow. Pervious cover surface runoff generates run-on to neighboring Pervious Runoff – The predicted overland surface runoff generated from pervious cover areas, which include bare soil and soil areas under herbaceous cover and vegetative canopies. The model uses first checks that pervious cover specific depression storage is filled and evaporation from this storage is accounted for, then impervious areas, where DCIA transports a portion of the runoff to the outlet, or onto neighboring pervious cover areas where infiltration may occur. Total Flow volume (cubic meters) – This is the total amount of streamflow (base flow plus pervious and impervious surface runoff) for the modeled time period. To arrive at this number, the predicted total streamflow rate for each timestep (typically m/hr) is multiplied by the watershed area represented by each landcover type and the total number of modeled timesteps (typically hr).

Highest Flow rate (cubic meters / hour) – The largest predicted peak streamflow rate during the modeled period.

Lowest Flow rate (cubic meters / hour) - The lowest predicted peak streamflow rate during the modeled period.

Highest Flow Date - The date of the largest predicted peak streamflow rate.

Lowest Flow Date - The date of the lowest predicted peak streamflow rate.

Average Flow rate (cubic meters/hour) – The average predicted streamflow rate during the modeled period.

Number of flow events ABOVE average flow – The number of continuous periods (timesteps) where the predicted streamflow rate is above the average streamflow

Average length of flow events ABOVE average (hours) - The average length in hours of the continuous periods (timesteps) where the predicted streamflow rate is above the average streamflow rate.



Allegato 3 – Report dell'applicazione di Hydro al Parco Cascina Vigna.

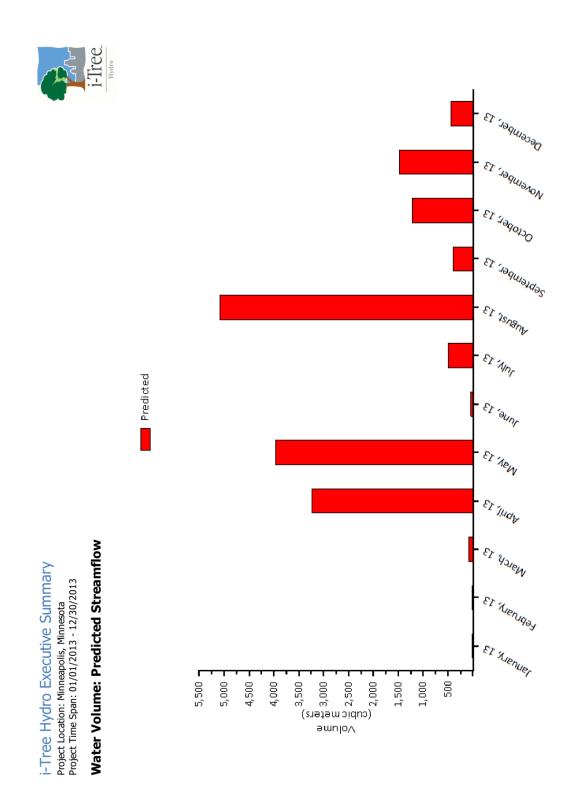
Caso alternativo 2: piantumazione degli alberi

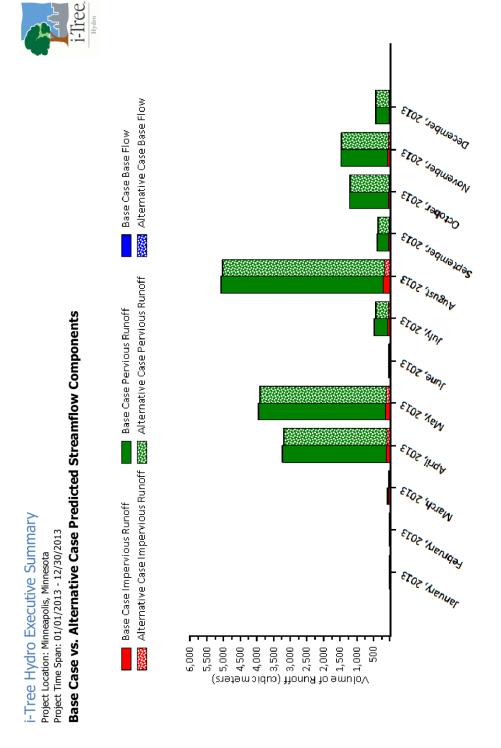


Model Parameters

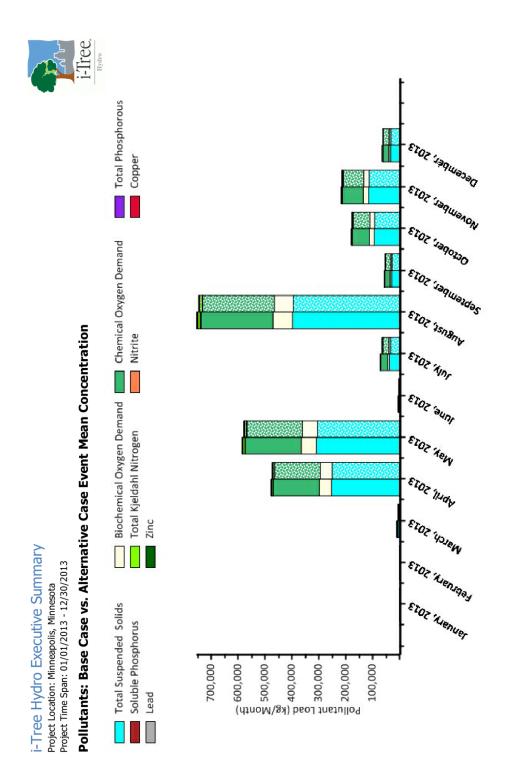
Watershed Area	Rainfall	Total Flow		Stream Gage	Weat	Weather Station		Hydro
square kilometers	millimeters	cubic meters	ers					
90.0	500.38		16,477.86		N/A	N	N/A	
Land Cover Base	Alternative		Base	Alternative	LC beneath Tree Cover	ree Cover	Base	Alternative
Tree Cover % 34	34.6 51.3	Tree LAI	LAI 4.7	4.7	S	Soil Cover %	33.1	49.8
Shrub Cover % 5	5.8 5.8	Shrub LAI	LAI 2.2	2.2	Impervio	Impervious Cover %	1.5	1.5
Herbaceous Cover % 34	34.7 21.4	Herbaceous LAI	LAI 1.6	1.6	Percent Evergreen	qreen		
Water Cover % 0	0.2 0.2		7		Dor'T	Troo Capony 0%	0 01	10.0
Impervious Cover %	9.0 7.3	Ulrectify Connected Impervious Cover (%)	30.0 (%)	27.1	AiridS	Shriih Canony %	10.0	10.0
Soil Cover % 15	15.7 14.0					o danopy vo	0.01	0.01
Streamflow Predictions	Total	Total Flow	Base Flow	>	Pervions Runoff	noff	Impervious Runoff	Runoff
	Base	Alternative	Base A	Alternative	Base	Alternative	Base	Alternative
Total Flow (cubic meters)	5) 16,477.9	16,202.9	197.2	200.9	15,476.9	15,391.1	802.8	610.0
Highest Flow (cubic meters / hour)	r) 140.1	139.9	0.0	0.0	135.3	136.2	5.1	3.8
Lowest Flow (cubic meters / hour)	ر) 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Highest Flow Date	e 08/26/13	08/26/13	03/25/13	03/25/13	08/26/13	08/26/13	08/08/13	08/08/13
Lowest Flow Date	e 01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13	01/01/13
Median Flow (cubic meters / hour)	r) 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0:0	0.0	0.0
Number of flow events ABOVE median flow	۷ 13.0	13.0	1.0	1.0	14.0	15.0	12.0	13.0
Average length of flow events with flow ABOVE median (hours)	336.0	336.0	4,368.0	4,368.0	326.1	302.8	385.7	353.6
High Flow: Number of flow events ABOVE 1 standard deviation	1 on 8.0	8.0	0.0	0.0	7.0	7.0	12.0	13.0
Average length of flow events ABOVE 1 standard deviation (hours)	1 s) 502.9	504.4	0.0	0.0	532.7	514.2	385.7	353.6
Number of flow events BELOW median flow	۷ 13.0	13.0	2.0	2.0	14.0	15.0	12.0	13.0
Average length of events BELOW median (hours)	n 362.4	362.4	721.0	721.0	312.0	291.2	364.0	336.0

Allegato 3 – Pagina 2





Note: Solid colors represent Base Case values while the hatched pattern indicates Alternative Case values



Note: Solid colors represent Base Case values while the hatched pattern indicates Alternative Case values

-Tree Hydro Executive Summary

Project Location: Minneapolis, Minnesota Project Time Span: 01/01/2013 - 12/30/2013

Glossary of Key Terms

Base Case – The original modeled scenario defined by the initial land cover values (e.g. tree cover, herbaceous cover, impervious cover, etc.)

development (e.g. increase in impervious cover or decrease in vegetative cover) or an increase in vegetative cover (e.g. increase in tree cover or herbaceous Alternative Case – The modeled scenario contrasted with the base case. It is defined by changes in the initial land cover values representing an increase in

Base Flow – The stream flow from groundwater and no recent storm runoff. Base flow is generated from the saturated soil zone within i-Tree Hydro.

canopies. The model first checks that impervious cover specific depression storage is filled and evaporation from this storage is accounted for, before generating impervious flow. Impervious flow either passes directly to the outlet through directly connected impervious cover area (DCIA) or runs on to neighboring pervious Impervious Runoff - The predicted overland surface runoff generated from impervious cover areas, which may be impervious cover with or without vegetative cover areas where infiltration may occur.

uses saturation excess and infiltration excess routines to calculate the total amount of pervious flow. Pervious cover surface runoff generates run-on to neighboring Pervious Runoff – The predicted overland surface runoff generated from pervious cover areas, which include bare soil and soil areas under herbaceous cover and vegetative canopies. The model uses first checks that pervious cover specific depression storage is filled and evaporation from this storage is accounted for, then mpervious areas, where DCIA transports a portion of the runoff to the outlet, or onto neighboring pervious cover areas where infiltration may occur.

and the total number of modeled timesteps (typically hr).

arrive at this number, the predicted total streamflow rate for each timestep (typically m/hr) is multiplied by the watershed area represented by each landcover type

Total Flow volume (cubic meters) – This is the total amount of streamflow (base flow plus pervious and impervious surface runoff) for the modeled time period.

Highest Flow rate (cubic meters / hour) – The largest predicted peak streamflow rate during the modeled period.

Lowest Flow rate (cubic meters / hour) - The lowest predicted peak streamflow rate during the modeled period.

Highest Flow Date - The date of the largest predicted peak streamflow rate.

Lowest Flow Date – The date of the lowest predicted peak streamflow rate.

Average Flow rate (cubic meters/hour) - The average predicted streamflow rate during the modeled period.

Number of flow events ABOVE average flow – The number of continuous periods (timesteps) where the predicted streamflow rate is above the average streamflow

Average length of flow events ABOVE average (hours) - The average length in hours of the continuous periods (timesteps) where the predicted streamflow rate is above the average streamflow rate.



5. REFERENZE

- 1. Organizzazione delle Nazioni Unite, "World Population Prospects", 2017
- 2. Alfani G., Amatori F., Colli A., Conca Messina S. A., Podestà G., Romani M, Segreto L., *Il mondo globale: Una storia economica*, Giappinelli Editore, 2017
- 3. Livi Bacci M., "Guardando al futuro. La questione dei 4 miliardi" in *Papeles de Poblaciòn*, v. 24, n. 96, agosto 2018
- 4. Enciclopedia Treccani, disponibile online: www.treccani.it (ultima data di consultazione: 7 novembre 2018)
- 5. Organizzazione delle Nazioni Unite, "World Urbanization Prospects", 2018
- 6. Gibelli G., Gelmini A., Pagnoni E., Natalucci F., "Gestione sostenibile delle acque urbane. Manuale di drenaggio 'urbano'. Perché, Cosa, Come", Regione Lombardia, Ersaf, 2015
- 7. Levi F., Maida B., *La città e lo sviluppo. Crescita e disordine a Torino, 1945-1970*, Milano (MI), Franco Angeli s.r.l., 2002
- 8. Comune di Torino, Dati ISTAT elaborati da TUTTITALIA.IT
- 9. Fumagalli I., "Verso una pianificazione urbana sostenibile", disponibile online: www.linkedin.com (ultima data di consultazione: 7 novembre 2018), 5 luglio 2017
- 10. Commissione Europea, "Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse", Unione Europea, Bruxelles, 20 settembre 2011
- 11. Carrano A., "Recuperare la dimensione territoriale nei sistemi di produzione dell'era post-industriale" in *Città e conflitto sociale* a cura di Amoroso B., Rende (CS), Museodei by Hermatena, 2013
- 12. European Concrete Platform (ECP) & Architects Council of Europe (ACE), "Let's speak sustainable construction", 2010
- 13. Isola S., "Smart cities o la ricostruzione delle città in tempo di guerra" in *Città e conflitto sociale* a cura di Amoroso B., Rende (CS), Museodei by Hermatena, 2013
- 14. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, "Allegato 3 Quaderno sistema del verde e delle aree libere", Provincia di Torino, agosto 2011
- 15. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, "Definizione del metodo per la classificazione e quantificazione dei servizi ecosistemici in italia",

- Progetto MATTM WWF Italia Onlus: Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità
- 16. Ceccon P., Fagnano M., Grignani C., Monti M., Orlandini S., *Agronomia*, Napoli, EdiSES S.r.l., 2017
- 17. Masseroni D., Massara F., Gandolfi C., Baschetti G. B., *Manuale sulle buone pratiche* di utilizzo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile, Università degli studi di Milano, aprile 2018
- 18. Mun Delsalle Y-J., "Ann Demeulemeester's Store In Seoul Shows The Compatibility Of Vertical Greenery In An Urban Setting", disponibile online: www.forbes.com (ultima data di consultazione: 31 ottobre 2018), 24 febbraio 2017. Ph. Yong-Kwan Kim
- 19. L. R. 11 marzo 2005, n. 12, "Legge per il governo del territorio", art. 58 bis, Regione Lombardia
- 20. Costanza R., Daly H. E., "Natural Capital and Sustainable Development" in *Conservation Biology*, v. 6, n. 1, pp. 37-46, marzo 1992
- 21. Costanza R. et al., "Changes in the global value of ecosystem services" in Global Environmental Change, v. 26, n.1, pp. 152-158, maggio 2014
- 22. Commissione Europea, "Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services", Unione Europea, gennaio 2018
- 23. Martínez-Harms M. J., Balvanera P., "Methods for mapping ecosystem service supply: A review" in *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, v. 8, pp. 17-25, giugno 2012
- 24. Santolini R., "Servizi ecosistemici e sostenibilità" in *Ecoscienza. Sostenibilità e controllo ambientale*, n. 3, 2010
- 25. Nowak D. J., Crane D. E., "The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying Urban Forest Structure and Functions" in *Integrated tools for natural resources inventory in the 21st century: proceedings of the IUFRO conference*, pp. 714-720, gennaio 2000
- 26. McPherson E. G., "Selecting Reference Cities for i-Tree Streets", in *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 36, n. 5, pp. 230-240, settembre 2010
- 27. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), "Heating and Cooling Degree Days", Technical Documentation, agosto 2016
- 28. D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale", art. 268

- 29. Caponero A., "Agrumi. Intervenire sugli afidi" in Terra e Vita, n. 16, p. 69, 22 aprile 2016
- 30. Stroppiana D., Boschetti M., Confalonieri R., Bocchi S., Brivio P. A., "Evaluation of LAI-2000 for leaf area index monitoring in paddy rice" in *Field Crops Research*, Elsevier, v. 99, n. 2-3, pp. 167-170, 30 ottobre 2006
- 31. Nowak D. J., "Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees" in *Forest Science*, vol. 42, n. 4, pp. 504-507, novembre 1996
- 32. Consiglio Nazionale delle Ricerche, "Risposta dell'emissioni dei composti organici volatili biogenici ai cambiamenti climatici", disponibile online: www.cnr.it (ultima data di consultazione: 13 novembre 2018)
- 33. Carter W. L., "Development of Ozone Reactivity Scales for Volatile Organic Compounds" in *Journal of Air & Waste Management Association*, vol. 44, n. 7, pp. 881-899, gennaio 1994
- 34. Nowak D. J. et al., "Air pollution removal by Chicago's urban forest" in *Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, 63-81, gennaio 1994
- 35. Baldocchi D. D., Hicks B. B., Camara P., "Canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated canopies" in *Atmospheric Environment*, v. 22, pp. 869-884, gennaio 1987
- 36. McPherson E. G., Simpon J. R., "Carbon Dioxide Reduction Through Urban Forestry: Guidelines for Professional and Volunteer Tree Planters", General Technical Report 171, U.S. Forest Service, gennaio 1999
- 37. Wang J., Endreny T. A., Nowak D. J., "Mechanistic Simulation of Tree Effects in an Urban Water Balance Model" in *Journal of the American Water Resources Association*, v. 44, n. 1, pp. 75-85, febbraio 2008
- 38. Maione U., Moisello U., *Elementi di statistica per l'idrologia*, La Goliardica Pavese, 1993
- 39. Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV), Glossario ambientale
- 40. Rutter A. J., Morton A. J., Robins P. C., "A Predictive Model of Rainfall Interception in Forests. II. Generalization of the Model and Comparison with Observations in Some Coniferous and Hardwood Stands" in *Journal of Applied Ecology*, v. 12, pp. 367-380, aprile 1975

- 41. Noilhan J., Planton S. A., "A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models", in *Monthly Weather Review*, v. 117, n. 3, pp. 536-549, marzo 1989
- 42. Beven K., "Infiltration Into a Class of Vertically Non-Uniform Soils" in *Hydrological Sciences Journal*, v. 29, n. 4, pp. 425-434, dicembre 1984
- 43. Wang J. et al., "Power Function Decay of Hydraulic Conductivity for a TOPMODEL-Based Infiltration Routine" in *Hydrological Processes*, v.20, n. 18, pp. 3825-2824, novembre 2006
- 44. Wang J. et al., "Flexible Modeling Package for Topographically Based Watershed *Hydrology*" in *Journal of Hydrology*, v. 314, n. 1-4, pp. 78-91, novembre 2005
- 45. Hirabayashi S., Endreny T. A., "Surface and Upper Weather Pre-processor for i-Tree Eco and Hydro", i-Tree Resources, 19 aprile 2016
- 46. Acta Plantarum, "IPFI: Index Plantarum", 2007 in avanti. Disponibile online: www.actaplantarum.org (ultima data di consultazione: 26/10/2018)
- 47. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), "Estimating Change in Impervious Area (IA) and Directly Connected Impervious Area (DCIA) for Massachusetts Small MS4 Permit", USEPA Small MS4 Permit Technical Support Document, aprile 2011
- 48. Sutherland R. C., "Methods for Estimating Effective Impervious Cover" in *The Practice of Watershed Protection*, n. 58, pp. 193-195, 2000
- 49. Coville R. C., "How do avoided runoff estimates differ in Eco and Hydro?" in *i-Tree Support Forums*, 14 gennaio 2016

6. SITOGRAFIA

- S1. www.torinosmartcity.it (ultima data di consultazione: 8 novembre 2018)
- S2. www.i-Treetools.org (ultima data di consultazione: 12 novembre 2018)
- S3. www.fs.fed.us (ultima data di consultazione: 12 novembre 2018)
- S4. www.data.gov (ultima data di consultazione: 16 ottobre 2018)
- S5. www.nasa.gov (ultima data di consultazione: 14 novembre 2018)
- S6. www.ncei.noaa.gov (ultima data di consultazione: 25 ottobre 2018)
- S7. www.arpa.piemonte.it (ultima data di consultazione: 16 ottobre 2018)

- S7. www.epa.gov (ultima data di consultazione: 23 ottobre 2018)
- S8. www.comune.carmagnola.to.it (ultima data di consultazione: 25 ottobre 2018)
- S9. www.meteoam.it (ultima data di consultazione: 26 ottobre 2018)
- S10. www.ilsole24ore.com (ultima data di consultazione: 26 ottobre 2018)
- S11. www.gddenergy.it (ultima data di consultazione: 26 ottobre 2018)
- S12. www.irenlucegas.it (ultima data di consultazione: 26 ottobre 2018)
- S13. www.geoportale.piemonte.it (ultima data di consultazione: 19 ottobre 2018)