

## 05 | SERVIZI ECOSISTEMICI

- 163\_ **Stima della copertura arborea.**
  - \_ Premessa e metodi
- 165\_ **Risultati della stima della copertura arborea.**
- 166\_ **La stima dei servizi ecosistemici.**
  - \_ Premessa, materiali e metodi
  - \_ Stima dei servizi ecosistemici del popolamento arboreo comunale
  - \_ Stima dei servizi ecosistemici del popolamento arboreo complessivo
  - \_ Stima dei servizi ecosistemici delle nuove piantagioni programmate
  - \_ Stima dei servizi ecosistemici del popolamento arboreo con copertura del 30%
- 168\_ **Risultati della stima dei servizi ecosistemici: popolamento arboreo comunale.**
- 170\_ **Risultati della stima dei servizi ecosistemici: popolamento arboreo complessivo.**
- 172\_ **Risultati della stima dei servizi ecosistemici: popolamento arboreo normalizzato con copertura del 30%.**
- 174\_ **Risultati della stima dei servizi ecosistemici: nuove piantagioni pubbliche programmate.**
- 175\_ **Conclusioni.**

gli alberi di Padova di proprietà del Comune



0 1 2 km

## STIMA DELLA COPERTURA ARBOREA



Presupposto fondamentale per l'efficacia di un Piano del Verde è la definizione di chiari obiettivi strategici di lungo periodo e di obiettivi specifici da perseguire entro il periodo di validità del piano. Alla definizione degli obiettivi deve essere affiancato lo sviluppo di indicatori che permettano di verificare l'efficacia delle azioni intraprese.

Per quanto riguarda la componente arborea, è frequente che i piani del verde propongano degli obiettivi di "copertura" (*canopy cover*). I servizi ecosistemici forniti dalla vegetazione urbana, in particolare quelli di carattere ambientale, sono infatti strettamente legati alla biomassa delle chiome arboree e all'area fogliare presente, di cui la *canopy cover* è un valido parametro di stima.

Gli effetti sul clima (riduzione dell'isola di calore), sulla qualità dell'aria, sulla riduzione dei deflussi superficiali, sono una funzione alla *canopy cover*, e attraverso la stima/misura di questo parametro è possibile quantificare alcuni di tali servizi ambientali e valutare l'effetto che diversi scenari gestionali potrebbero determinare.

Ma su quali basi possono essere definiti degli obiettivi di *canopy cover*? Quale può essere il valore ottimale di copertura percentuale per un'area urbana? Questo rimane un problema aperto, troppo spesso risolto con l'utilizzo di valori standard, in genere ricavati da un dato medio riferito a specifiche aree geografiche, che difficilmente risulta applicabile a realtà locali diverse, dove le caratteristiche urbanistiche, climatiche e socioeconomiche e paesaggistiche possono permettere/richiedere obiettivi di copertura assai variabili.

Gli obiettivi di copertura arborea devono tenere conto in primo luogo dello spazio realmente disponibile per la piantagione di alberi, sia si tratti di interventi di forestazione urbana, che di piantagione di singoli esemplari lungo strade o in parchi e giardini. Inoltre vanno fatte opportune valutazioni sulla densità di copertura effettivamente desiderabile in diversi ambiti urbanistici e funzionali (Raciti et al., 2006, O'Neil-Dunne, 2009; Ramsey, 2019).

Se per alcuni dei servizi ambientali la saturazione di tutti gli spazi disponibili può essere un obiettivo strategico corretto, non vanno trascurati gli altri servizi ecosistemici della vegetazione arborea, soprattutto quelli di carattere paesaggistico e sociale, che possono richiedere livelli

diversi, e in genere inferiori. Basti pensare, per esempio, ad un parco urbano dove l'alternanza di spazi alberati e di spazi aperti è un elemento importante per l'uso ricreativo e per gli effetti sul paesaggio.

Lo scopo dell'analisi qui proposta è quindi quello di fornire dei parametri utili alla definizione di realistici obiettivi di copertura arborea per la città di Padova su cui basare le azioni del Piano del Verde.

### Metodi

La copertura arborea urbana può essere misurata o stimata con diversi metodi. Da quelli basati sulla fotointerpretazione di punti casuali, che permette di ottenere una stima statistica della copertura, a quelli basati sul rilievo aero-fotogrammetrico o satellitare con diversi sensori (multispettrali, lidar), che permettono di restituire una mappatura dettagliata della copertura arborea urbana (King et al. 2013, Parmehr, 2016a, 2016b; Kaspar et al., 2017). Nello studio preliminare per l'impostazione di questo Piano del Verde, si è proceduto utilizzando un metodo statistico, non disponendo ancora di dati aggiornati per poter procedere ad una georeferenziazione della copertura arborea urbana. Per la stima della copertura derivante dai **solli alberi comunali**, è stato invece utilizzato l'inventario predisposto dall'amministrazione comunale. Pur non disponendo di dati sull'estensione delle chiome, la stima è stata effettuata facendo riferimento alle relazioni allometriche esistenti, per le diverse specie, tra diametro delle chiome e diametro del tronco.

Per la stima statistica stato utilizzato il software iTree Canopy (<https://canopy.itreetools.org>) che facilita la fotointerpretazione di punti casuali su ortofoto di dominio pubblico (google earth). Le ortofoto utilizzate sono del 2019, quindi ci offrono un'immagine abbastanza recente del popolamento arboreo della città.

La stima della copertura arborea è stata riferita alla medesima suddivisione territoriale in ambiti territoriali omogenei (ATO) utilizzata nel Piano Ambientale Territoriale del comune di Padova. Per ciascun ATO sono stati fotointerpretati 1.000 punti (Figura 05.01.), consentendo di

mantenere l'errore statistico nella stima sotto al 2%.

Si è proceduto alla stima, mediante fotointerpretazione, operando in due fasi. La prima fase volta ad individuare la sola copertura arborea esistente, la seconda a stimare la copertura potenziale, su cui definire dei realistici obiettivi di incremento mediante le azioni del piano.

Il primo livello della fotointerpretazione ha previsto dunque la distinzione di due sole categorie Albero/Non Albero, in funzione del fatto che il punto da interpretare cadesse all'interno o al di fuori di una chioma arborea.

Un secondo livello di analisi ha previsto invece un'ulteriore distinzione, nell'ambito dei punti della categoria "non albero", tra punti in cui potrebbe potenzialmente essere presente una chioma e punti dove la presenza di una chioma non sarebbe possibile (Figura 05.02.).

*Per distinguere i punti dove potrebbe potenzialmente essere presente una chioma è stato adottato il seguente metodo: attorno al punto da foto-interpretare è stato tracciato un cerchio con raggio pari a 2,5 metri. Se all'interno di questo cerchio esiste la possibilità di piantare un albero, il punto viene interpretato come copertura potenziale. Nella definizione dei punti con copertura potenziale sono state adottate le seguenti regole:*

1. Sono state esclusi tutti i punti ricadenti in aree agricole;
2. Sono stati esclusi tutti i punti ricadenti in campi sportivi;
3. Sono stati esclusi tutti i punti in cui all'interno del cerchio sono presenti edifici o altre strutture.

La percentuale di copertura arborea potenziale, così individuata è stata sommata alla copertura esistente per ottenere un valore di copertura massima, definibile come la copertura che potrebbe essere raggiunta saturando tutti gli spazi disponibili, pubblici e privati, senza cambiamenti nell'uso attuale del suolo. Evidentemente altri interventi, quali, per esempio, la conversione ad uso forestale di parti del territorio agricolo, consentirebbero un ulteriore consistente incremento della copertura.

Per definire degli obiettivi realistici, da ottenersi solamente

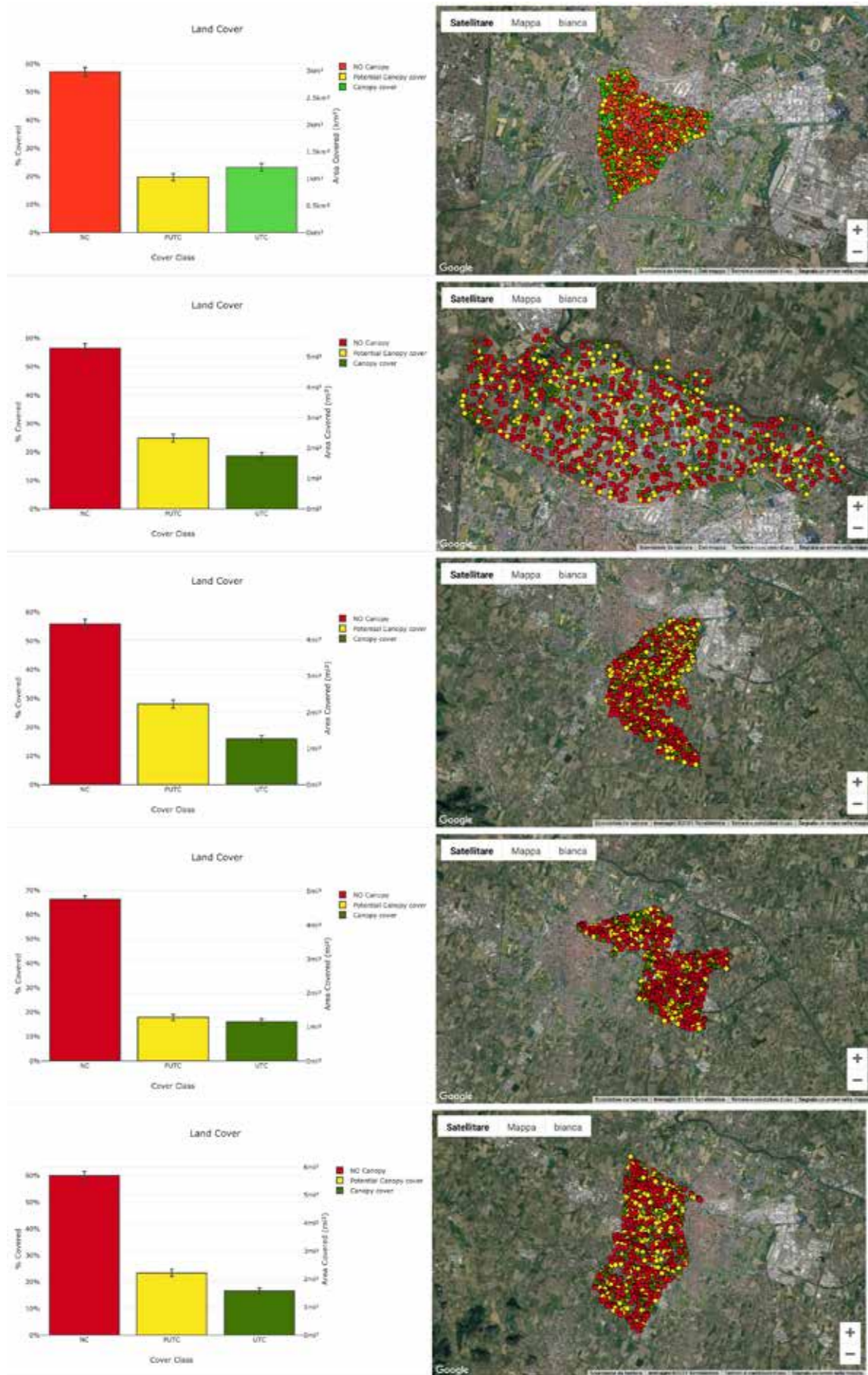


Figura 05.01. Punti casuali fotointerpretativi 5 ATO del Comune di Padova.

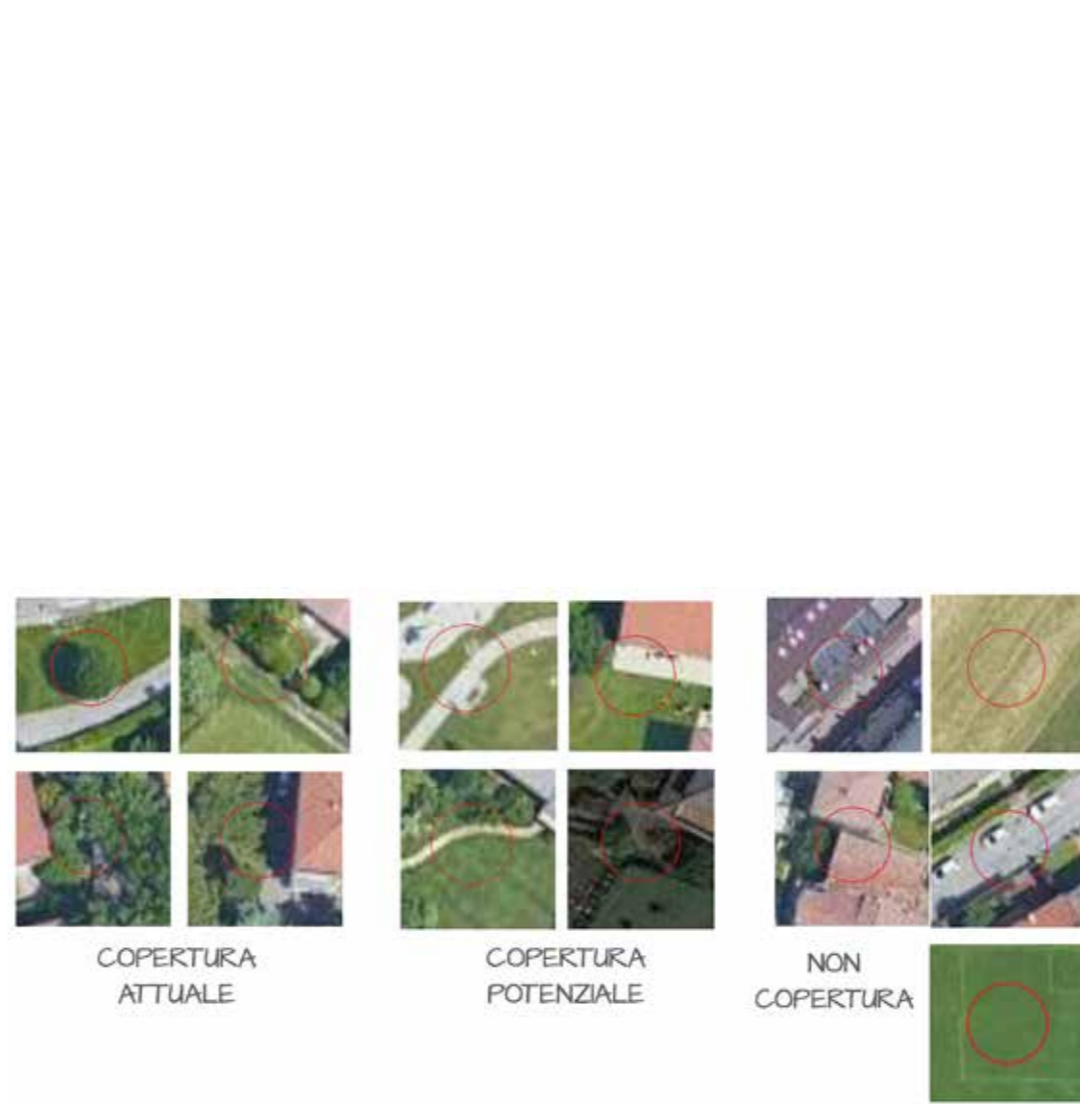


Figura 05.02. Regole per la fotointerpretazione dei punti nella definizione della copertura attuale e potenziale.

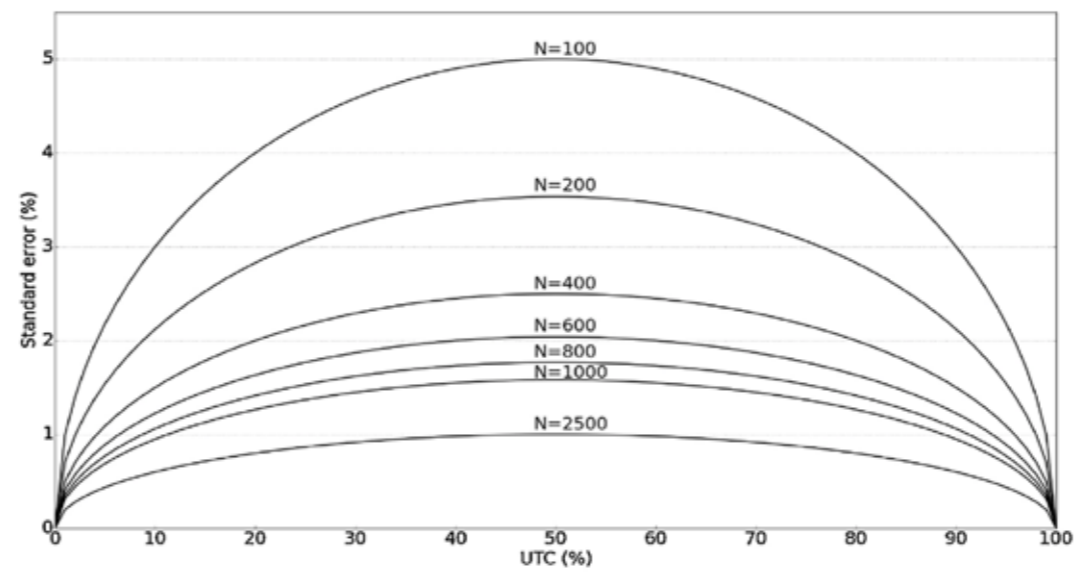


Figura 05.03. Rappresentazione dell'errore standard in funzione del numero di punti fotointerpretati e della loro distribuzione.

con impianti arborei puntuali (alberature stradali, parchi, giardini privati) e non con interventi di forestazione urbana, è stato considerato un valore intermedio tra la copertura massima e quella esistente.

Obiettivo di copertura =

$$(copertura esistente + copertura massima) / 2.$$

Pur costituendo una semplificazione, rispetto alla definizione di obiettivi di copertura più specifici, questa scelta appare adeguata a fronte del livello di dettaglio cui si mira in questa fase preliminare del lavoro. Sarà poi compito della pianificazione identificare eventuali priorità di approfondimento.

## RISULTATI DELLA STIMA DELLA COPERTURA ARBOREA

La Tabella 05.01. mostra la copertura arborea espressa in mq e in percentuale sulla superficie totale, per i soli alberi comunali e per l'intero popolamento arboreo della città. I dati sono presentati per i singoli ATO e per il Comune di Padova nel suo complesso.

Dalla tabella appare evidente come il centro storico presenti in termini percentuali la copertura arborea più consistente, sia per quello che riguarda gli alberi di proprietà comunale, per i quali con il 5% è pari tre volte quello degli altri ATO, sia per la copertura complessiva dove che si attesta ad un 23,2%. La maggiore copertura è presumibilmente dovuta alla presenza in centro storico dei filari stradali più vecchi e di parchi e giardini storici, dove è abbondante il contingente di esemplari di grandi dimensioni. Sia pure in modo meno evidente, questo vale anche per il verde privato, che, anche in questo caso, può avvalersi della presenza di soggetti di grandi dimensioni nei giardini. I valori più

bassi si riscontrano nella zona industriale ATO 3 Est con rispettivamente lo 0,9% per gli alberi comunali e il 16% per quanto riguarda la copertura complessiva, ma anche nell'ATO 5 Ovest dove prevalgono gli usi agricoli. A livello comunale la copertura arborea complessiva si attesta attualmente al 18%, con la copertura dei soli alberi pubblici pari a circa 1,7%. Il Grafico 05.01. mostra come, fatta eccezione per il centro storico, la copertura del verde comunale sia inferiore al 10% della copertura totale.

La Tabella 05.02. mostra l'analisi della copertura potenziale per i singoli ATO e l'obiettivo di copertura che potrebbe essere utilizzato nella definizione delle strategie del piano. Dall'analisi della copertura potenziale risulta che un obiettivo realistico di copertura arborea per l'intero territorio comunale potrebbe essere il 30%, e che questo valore

ATO	ALBERI COMUNALE		POPOLAMENTO COMPLESSIVO	
	copertura mq	copertura %	copertura mq	copertura %
<b>ATO 1 Centro storico</b>	265.700	5,08	1.212.382	23,20
<b>ATO 2 Nord</b>	410.100	1,69	4.501.907	18,60
<b>ATO 3 Est</b>	172.400	0,93	2.981.351	16,00
<b>ATO 4 Sud</b>	348.700	1,69	3.296.384	16,00
<b>ATO 5 Ovest</b>	366.600	1,49	4.077.641	16,60
<b>Comune di Padova</b>	1.563.500	1,68	16.069.664	18,60

Tabella 05.01. Valori di copertura degli alberi comunali e del popolamento complessivo.

ATO	COPERTURA ARBOREA ATTUALE	COPERTURA ARBOREA POTENZIALE	COPERTURA ARBOREA MASSIMA	OBIETTIVO DI COPERTURA
<b>ATO 1 Centro storico</b>	23,20	19,70	42,90	33,05
<b>ATO 2 Nord</b>	18,60	24,90	43,50	31,05
<b>ATO 3 Est</b>	16,00	17,80	33,80	24,90
<b>ATO 4 Sud</b>	16,00	28,10	44,10	30,05
<b>ATO 5 Ovest</b>	16,60	23,40	40,00	28,30
<b>Comune di Padova</b>	18,60	24,03	42,63	30,61

Tabella 05.02. Analisi della copertura arborea % potenziale.

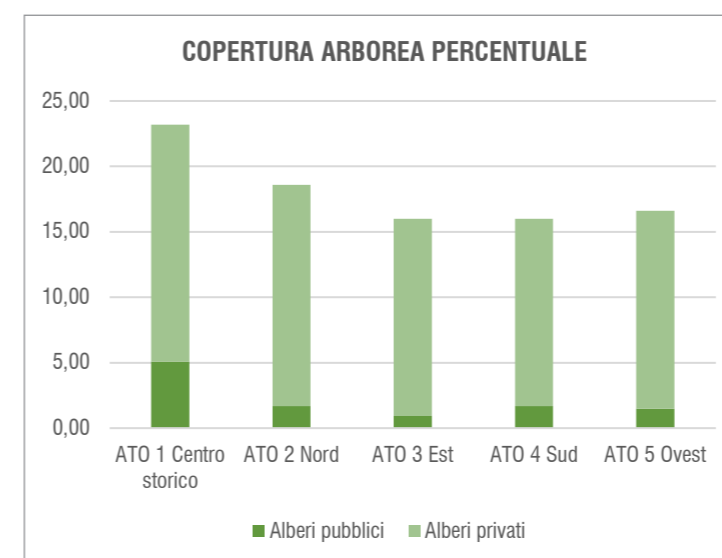


Grafico 05.01. Percentuali di copertura arborea degli alberi comunali e privati del Comune di Padova.

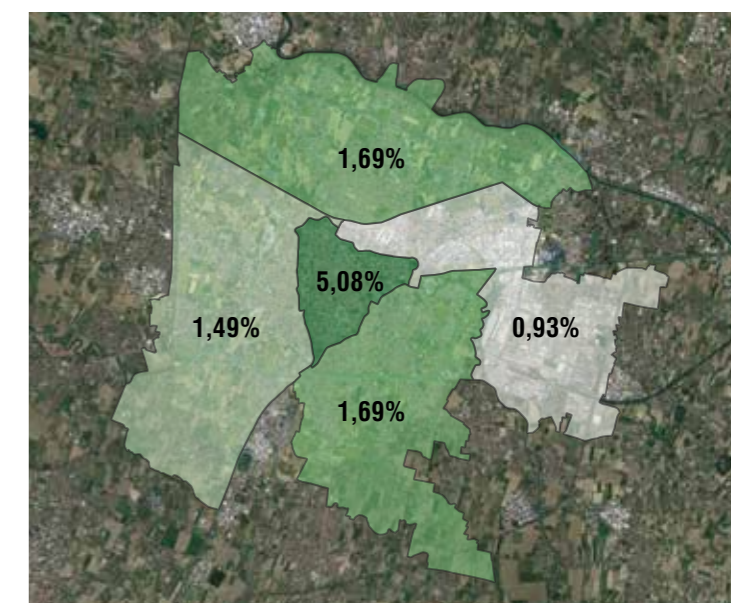


Tavola 05.01. Copertura arborea % attuale dei soli alberi di proprietà comunale dei 5 ATO

potrebbe essere raggiunto in tutti gli ATO, senza modifiche negli attuali usi del suolo. Per l'ATO 3, la formula di calcolo restituisce un valore inferiore al 30%, tuttavia date le caratteristiche dell'area, a prevalente uso industriale, si ritiene possibile ed opportuno un obiettivo del 30%, che rimane comunque inferiore alla copertura derivante dalla saturazione di tutti gli spazi disponibili.

La stima e/o la misura della copertura arborea potrà essere condotta in futuro con metodi diversi, anche in funzione delle risorse e dei dati disponibili. L'esistenza o la programmazione di un rilievo aereo con Lidar aggiornato sarebbe, associata ad immagini NDVI, una risorsa importante per consentire una maggiore precisione e dettaglio nella misura della copertura arborea e della sua puntuale georeferenziazione (Parmehr, 2016). Ciò sarà fondamentale per monitorarne gli incrementi e riduzioni nel tempo. La georeferenziazione della copertura e l'incrocio con i diversi usi del suolo, consentirà anche una più precisa stima degli effetti del popolamento arboreo sulla mitigazione dell'isola di calore.

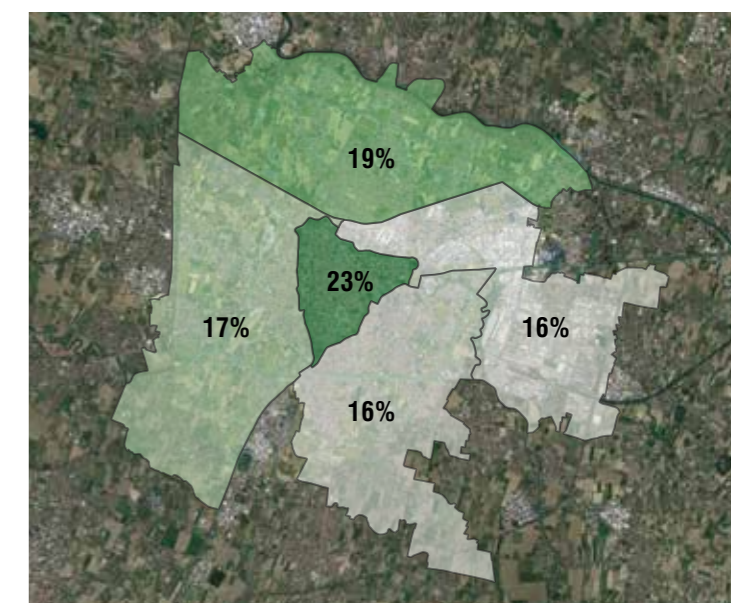


Tavola 05.02. Copertura arborea % complessiva dei 5 ATO.

## LA STIMA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI

### Premessa

Gli alberi urbani esercitano una nota azione di mitigazione e contrasto a numerosi dei problemi ambientali che caratterizzano le città. Gli effetti positivi sull'ambiente urbano sono stati riconosciuti da tempo, ed in particolare dalla rivoluzione industriale nei primi decenni del 1800. Allora, per la prima volta, gli spazi verdi si trasformarono da spazi di complemento ed arredo dei palazzi e delle dimore privati a spazi pubblici, progettati ed inseriti nel nuovo tessuto urbano, proprio al fine di migliorare il benessere dei cittadini. È tuttavia solo dagli anni 80-90 del ventesimo secolo che la ricerca scientifica ha iniziato a descrivere in termini quantitativi gli effetti della vegetazione urbana sulle principali criticità ambientali, quali l'isola di calore, l'inquinamento dell'aria, i deflussi idrici superficiali. La qualità delle acque, oltre al contributo che gli alberi urbani possono fornire per il contrasto ai cambiamenti climatici, attraverso lo stoccaggio del carbonio. Allo studio pionieristico realizzato da un gruppo di ricercatori dei Servizi Forestali statunitensi nella città di Chicago (McPherson et al., 1994), è seguito, parallelamente ad una crescita esponenziale degli studi scientifici in questo campo (Escobedo e Nowak, 2009; Donovan e Butry, 2009; Escobedo et al., 2011; Livesley et al., 2016; Pretzsch et al., 2021), lo sviluppo di modelli in grado di stimare i servizi ecosistemici degli alberi urbani (Nowak e Crane, 2000; Nowak e Dwyer, 2001; McPherson e Simpson, 2002; McPherson et al. 2005; Nowak et al. 2008; Nowak et al. 2018; Lin et al., 2019). Sviluppati in origine per le città del Nord America i modelli sono stati progressivamente adattati ed applicati anche in Europa e in Italia (Soares et al., 2011; Treeconomics London, 2015; Russo et al. 2014).

### Materiali e metodi

Per la stima dei principali servizi ecosistemici forniti dal popolamento arboreo urbano è stato utilizzato il software iTreeEco (Nowak e Crane, 2000; <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco>).

In prima analisi sono stati considerati i servizi ambientali forniti dal popolamento arboreo comunale, ossia da tutti gli alberi gestiti direttamente dal Comune e censiti nell'inventario degli alberi pubblici della città di Padova. Poiché il verde pubblico, di proprietà del Comune, costituisce una frazione minoritaria del patrimonio arboreo urbano, si è ritenuto indispensabile fornire anche una stima dei servizi prodotti dal popolamento nel suo complesso, includendo anche tutti gli alberi presenti in proprietà privata e comunque non gestiti e monitorati dal Comune.

Si sono infine prodotte delle stime dei servizi ecosistemici potenzialmente ottenibili in diversi scenari di incremento del verde comunale e privato della città. In particolare si è valutato, per il breve-medio periodo, l'apporto fornito dal verde comunale dopo l'impianto dei 10.000 nuovi soggetti arborei già previsto per il prossimo biennio. Per il lungo periodo si sono invece stimati i servizi forniti dal popolamento arboreo complessivo (comunale + privato) qualora venissero raggiunti gli obiettivi di copertura arborea del 30%.

Per poter utilizzare in modo efficace il software iTreeEco è stato necessario predisporre per ciascuno degli scenari un elenco degli alberi che compongono i diversi popolamenti corredato delle loro principali caratteristiche dendrometriche.

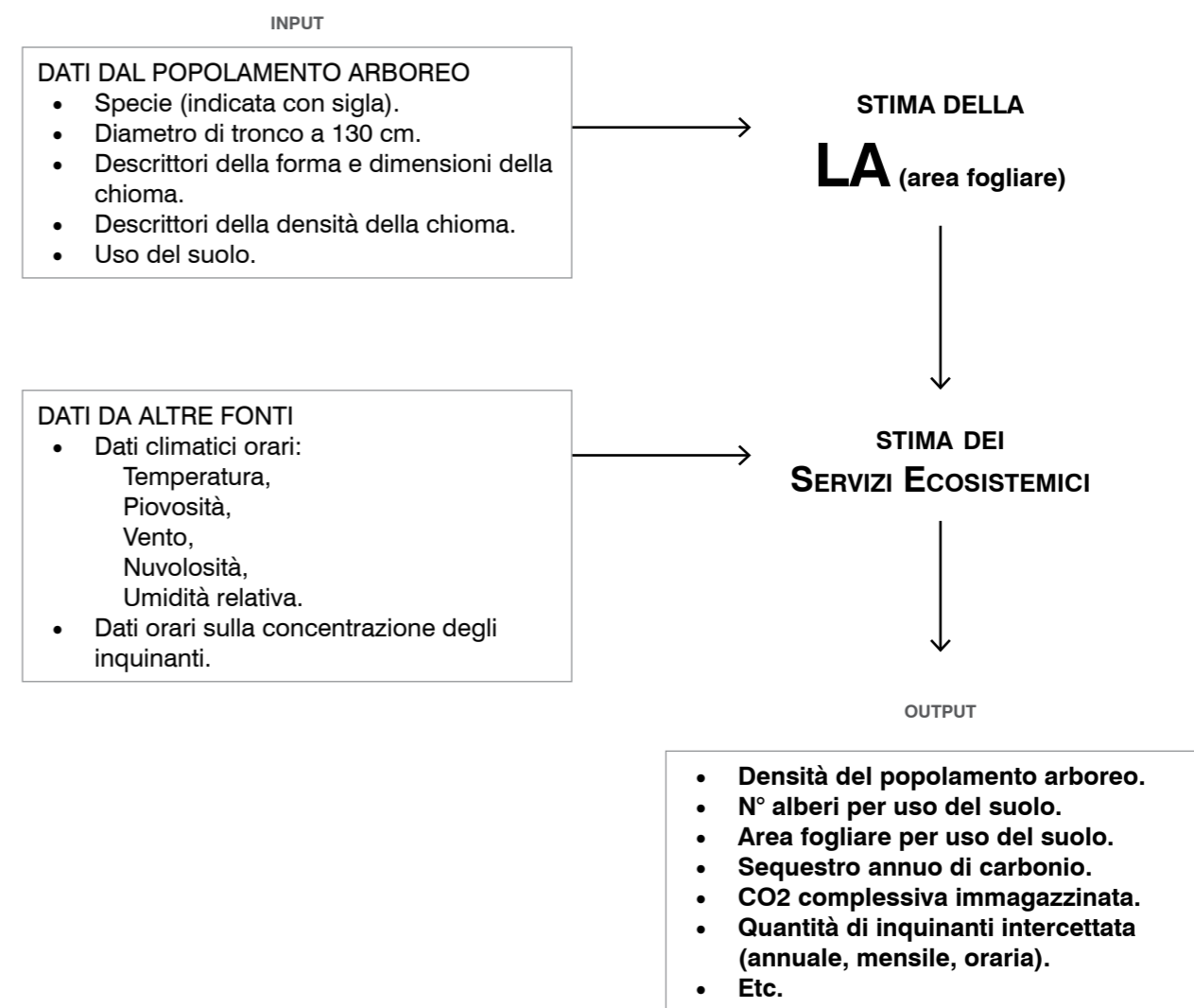


Figura 05.04. Schema degli input richiesti per l'utilizzo del modello iTree ECO e degli output ottenuti.

### Stima dei servizi ecosistemici del popolamento arboreo comunale

Per il popolamento comunale esistente i dati sono stati ricavati dal catasto del verde predisposto dal Settore Verde, Parchi e Agricoltura Urbana del Comune di Padova. Il catasto degli alberi, attualmente in fase di aggiornamento, contiene, nella sua versione disponibile più recente, dati dendrometrici registrati in classi piuttosto ampie. Questo riguarda soprattutto il diametro del tronco a 130 centimetri, che costituisce uno dei parametri più importanti su cui si basa l'analisi di iTree. Non disponendo di dati più accurati, e allo stesso tempo volendo standardizzare la procedura, si è deciso di utilizzare, per ciascun soggetto arboreo censito, un valore di diametro intermedio rispetto agli estremi della classe diametrica di appartenenza. Si dovrà tenere conto, in future analisi, compiute su dati più aggiornati e precisi, che questa scelta, in qualche modo obbligata, può avere determinato una sovrastima o una sottostima dei servizi forniti.

### Stima dei servizi ecosistemici del popolamento arboreo complessivo

Per gli alberi non comunali, non disponendo di un catasto, né essendoci le condizioni per realizzarne uno in tempi compatibili, è stato necessario costruire degli elenchi di alberi basati su stime e valutazioni statistiche.

Per stimare la consistenza e le caratteristiche del popolamento complessivo, attuale si è proceduto con il seguente metodo:

per individuare la consistenza numerica del popolamento arboreo si è fatto riferimento alla stima della copertura.

Sulle ortofoto sono state misurate le chiome di circa 200 alberi scelti casualmente per ciascun ATO. Sulla base di questo campionamento è stato definito un diametro medio e una superficie media di copertura delle singole chiome. Si è infine stimato, utilizzando tale valore, il numero di alberi presenti in ciascun ATO.

Per definire la composizione e la struttura del popolamento,

non disponendo di informazioni sugli alberi in aree private, ci si è basati sulla composizione e struttura del popolamento comunale esistente. Si è infatti considerato che in ciascun ATO lo sviluppo dei popolamenti comunale e privato sono avvenuti in buona misura in modo sincrono, risentendo in modo analogo delle mode e tendenze nella scelta delle specie, che si sono succedute nel tempo.

### Stima dei servizi ecosistemici delle nuove piantagioni programmate

L'imminente impianto di 10.000 nuovi soggetti arborei richiede un'analisi specifica per stimare l'entità dei servizi ecosistemici che queste piante potranno fornire nel tempo. Nell'analisi sono stati valutati i servizi forniti dopo 5, 10, 20 e 40 anni dell'impianto. Per poter utilizzare iTree è stato necessario costruire gli elenchi di soggetti arborei con indicata la specie e il diametro a 130 cm. Per la composizione si è fatto riferimento agli elenchi predisposti con il progetto delle nuove piantagioni.

Per stimare gli accrescimenti diametrici si è fatto riferimento a dati disponibili in letteratura (Semenzato et al., 2011, 20; Troxel et al., 2013; Peper et al., 2014; Moser et al., 2015; McPherson et al., 2016; Vaz Monteiro et al., 2016;).

Per le specie in elenco, per le quali specifici dati sugli accrescimenti medi in ambiente urbano non sono disponibili, si è proceduto ad una stima per categorie, così distinte:

- Specie di prima grandezza e/o a rapido accrescimento;
- Specie di seconda grandezza e/o a medio accrescimento;
- Specie di terza grandezza e/o a lento accrescimento.

Si sono utilizzati in questo caso gli accrescimenti medi di specie appartenenti alle medesime categorie.

Nell'analisi, in considerazione del fatto che le piantine saranno soggette a costanti cure colturali è stata ipotizzata una mortalità complessiva non superiore al 2% nei primi 10 anni.

### Stima dei servizi ecosistemici del popolamento arboreo con copertura del 30%

L'ultima stima ha preso in considerazione il popolamento teorico, comunale e privato, che potrebbe derivare dal raggiungimento dell'obiettivo di copertura del 30%. In questa analisi per il lungo periodo si è anche cercato di definire un popolamento teorico stabile, in grado di mantenere una certa costanza nel tempo nella fornitura di servizi e nei costi di gestione. Questa stima vorrebbe quindi indicare il massimo livello di servizi ecosistemici che il verde della città può fornire, senza sostanziali cambiamenti nell'uso del suolo, ma solo con la piantagione di alberi comunali e privati negli spazi attualmente disponibili e con una adeguata gestione e rinnovo nel tempo.

Nella definizione della composizione e struttura del popolamento teorico, ottenibile nel lungo periodo per raggiungere gli obiettivi di copertura del piano, si sono dunque individuate delle caratteristiche "ideali" di composizione e struttura, tenendo presente tuttavia il popolamento di partenza e la necessità di condurre una transizione graduale verso il nuovo assetto. In particolare per quanto riguarda la composizione si è data rilevanza ad un incremento della diversità, limitando a valori inferiori al 15% l'abbondanza relativa delle specie più diffuse, per accrescere la resilienza del popolamento. Il 15% rappresenta, in realtà, un valore ancora elevato, ma sarebbe irrealistico proporre valori più bassi, considerata l'attuale abbondanza relativa di alcune specie e generi, come per esempio il tiglio.

Per quanto riguarda invece la struttura si è adottato il modello proposto da Millward e Sabir (2011). Secondo questi autori, mantenere una diversità cronologica all'interno del popolamento consente una migliore allocazione delle risorse per la gestione e, soprattutto, la continuità e costanza nel tempo della copertura arborea e quindi dei servizi ad essa associati. Una distribuzione cronologica ideale in ambito urbano prevede un'alta percentuale di piante giovani per contrastare le fallanze nella fase di attecchimento e allevamento, e numeri decrescenti nelle classi diametriche superiori. La distribuzione proposta da questi autori prevede nello specifico:

- 40% degli individui nelle classi diametriche tra 0 e 15 centimetri,
- 30% nelle classi tra 15 e 60 centimetri,
- 25% tra 60 e 90 e 5% oltre i 90 centimetri.

Nella definizione degli elenchi di alberi che, in ciascun ATO, consentono di raggiungere gli obiettivi di copertura, è stata utilizzata una distribuzione in classi diametriche analoga a quella qui sopra proposta.

## RISULTATI DELLA STIMA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI: POPOLAMENTO ARBOREO COMUNALE

POPOLAMENTO ARBOREO COMUNALE ESISTENTE				
ATO	copertura mq	copertura %	n. alberi	area fogliare mq
<b>ATO 1 Centro storico</b>	265.700	5,08	5.561	1.629.450
<b>ATO 2 Nord</b>	410.100	1,69	14.320	2.302.340
<b>ATO 3 Est</b>	172.400	0,93	6.669	969.290
<b>ATO 4 Sud</b>	348.700	1,69	11.776	2.005.560
<b>ATO 5 Ovest</b>	366.600	1,49	12.517	2.037.070
<b>Comune di Padova</b>	1.563.500	1,68	50.843	8.943.710

Tabella 05.03. Caratteristiche del popolamento arboreo comunale elaborate da iTree ECO.

POPOLAMENTO ARBOREO COMUNALE ESISTENTE				
ATO	Carbonio immobilizzato - T		Carbonio sequestrato/anno - T	
	totale	/ ha	totale	/ ha
<b>ATO 1 Centro storico</b>	2.795,60	5,35	100,95	0,19
<b>ATO 2 Nord</b>	3.199,74	1,32	138,71	0,06
<b>ATO 3 Est</b>	1.286,85	0,69	59,66	0,03
<b>ATO 4 Sud</b>	3.206,36	1,56	134,98	0,07
<b>ATO 5 Ovest</b>	3.160,68	1,29	132,60	0,05
<b>Comune di Padova</b>	13.649,23	1,46	566,9	0,06

Tabella 05.04. Accumulo e sequestro annuo di carbonio nel popolamento arboreo comunale.

POPOLAMENTO ARBOREO COMUNALE ESISTENTE				
ATO	Inquinanti rimossi/anno - T		PM2.5 rimossi/anno - kg	
	totale	/ ha	totale	/ ha
<b>ATO 1 Centro storico</b>	1,91	0,0037	81,48	0,16
<b>ATO 2 Nord</b>	2,86	0,0012	118,30	0,05
<b>ATO 3 Est</b>	1,19	0,0006	49,12	0,03
<b>ATO 4 Sud</b>	2,44	0,0012	102,59	0,05
<b>ATO 5 Ovest</b>	2,54	0,0010	104,25	0,04
<b>Comune di Padova</b>	10,94	0,0012	455,73	0,05

Tabella 05.05. Azione del verde comunale sulla qualità dell'aria.

La Tabella 05.03. mostra le caratteristiche del popolamento arboreo comunale stimate dal software iTree sulla base dei dati del catasto del verde. Le caratteristiche del popolamento e le successive stime dei servizi forniti danno evidentemente una rappresentazione statica (riferita al 2019) di un popolamento dinamico in cui i valori mutano nel tempo, in funzione degli accrescimenti, degli abbattimenti, dei nuovi impianti, oltre che dell'andamento del clima e della concentrazione degli inquinanti nell'aria.

La Tabella 05.04. mostra i servizi resi dal popolamento arboreo comunale in termini di contrasto ai gas serra, evidenziando l'accumulo complessivo e il sequestro annuo di CO<sub>2</sub>.

Il popolamento comunale della città di Padova ha accumulato circa 13.600 tonnellate di carbonio, che corrispondono a poco meno di 50000 tonnellate di CO<sub>2</sub> sottratte all'atmosfera.

La Tabella 05.05. mostra i benefici in termini di cattura e filtro degli inquinanti gassosi e del particolato sottile (PM 2,5).

La Tabella 05.06., infine, mostra la capacità delle chiome del popolamento arboreo comunale di intercettare le acque meteoriche, riducendo e rallentando i deflussi superficiali.

I dati relativi ai singoli ATO sono mappati nelle Tavole 05.03., 05.04., 05.05. e 05.06.

POPOLAMENTO ARBOREO COMUNALE ESISTENTE		
ATO	Ruscellamento evitato/anno - mc	
	totale	/ ha
<b>ATO 1 Centro storico</b>	2.470,53	4,73
<b>ATO 2 Nord</b>	3.615,70	1,49
<b>ATO 3 Est</b>	1.514,64	0,81
<b>ATO 4 Sud</b>	3.133,34	1,52
<b>ATO 5 Ovest</b>	3.208,95	1,31
<b>Comune di Padova</b>	13.943,16	1,50

Tabella 05.06. Effetti del patrimonio arboreo comunale sui deflussi superficiali.



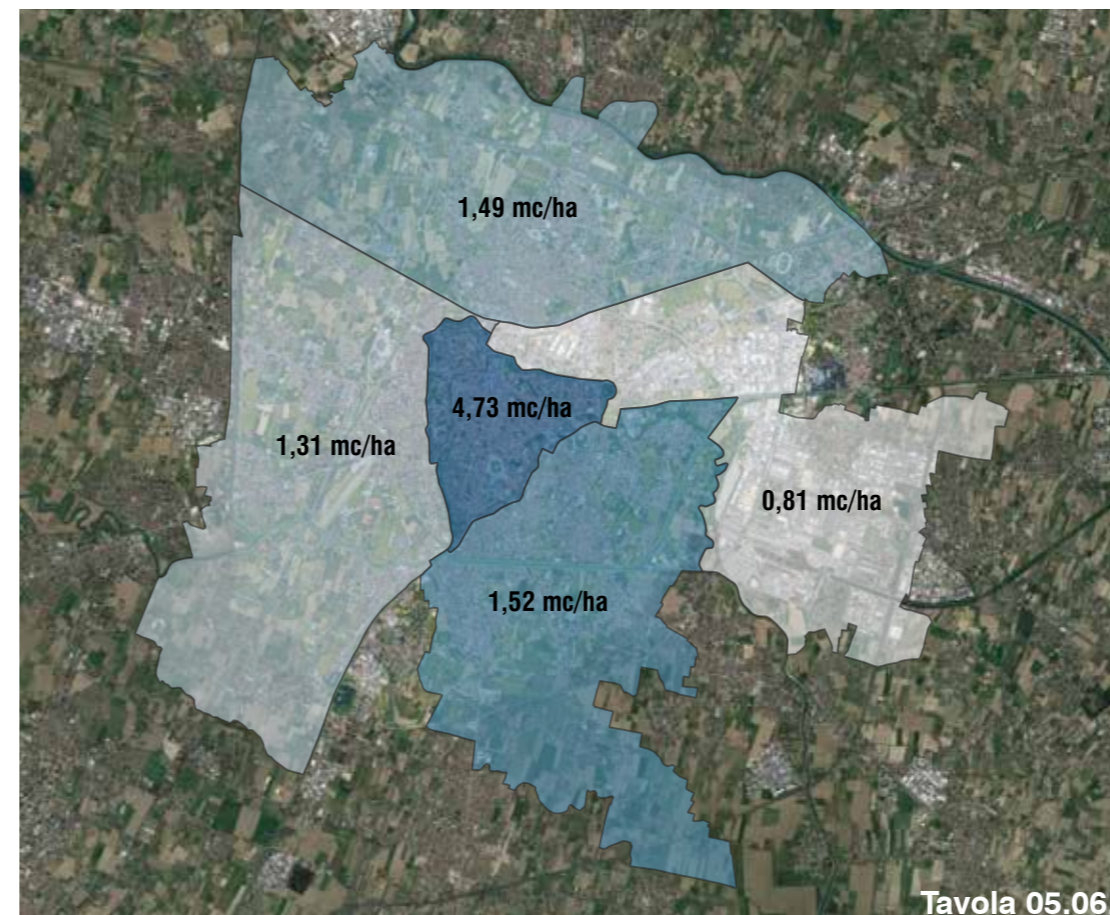
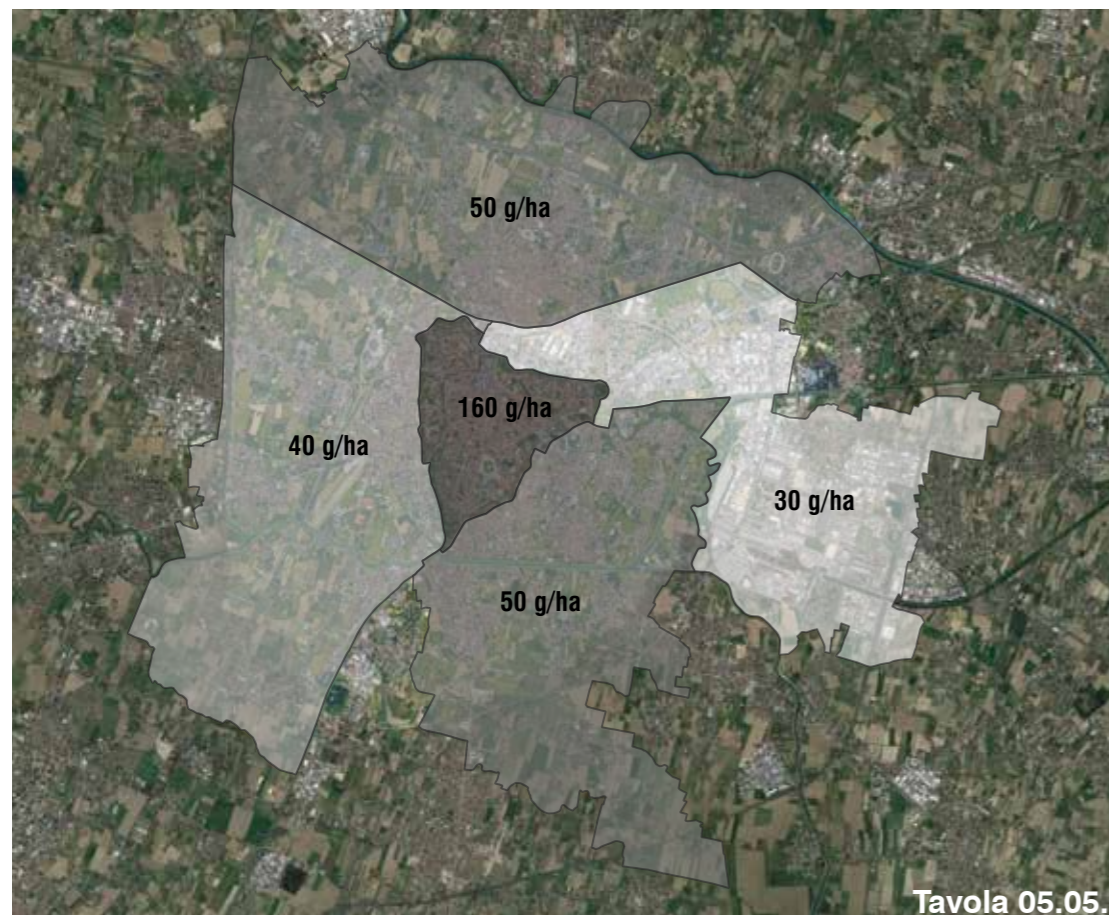
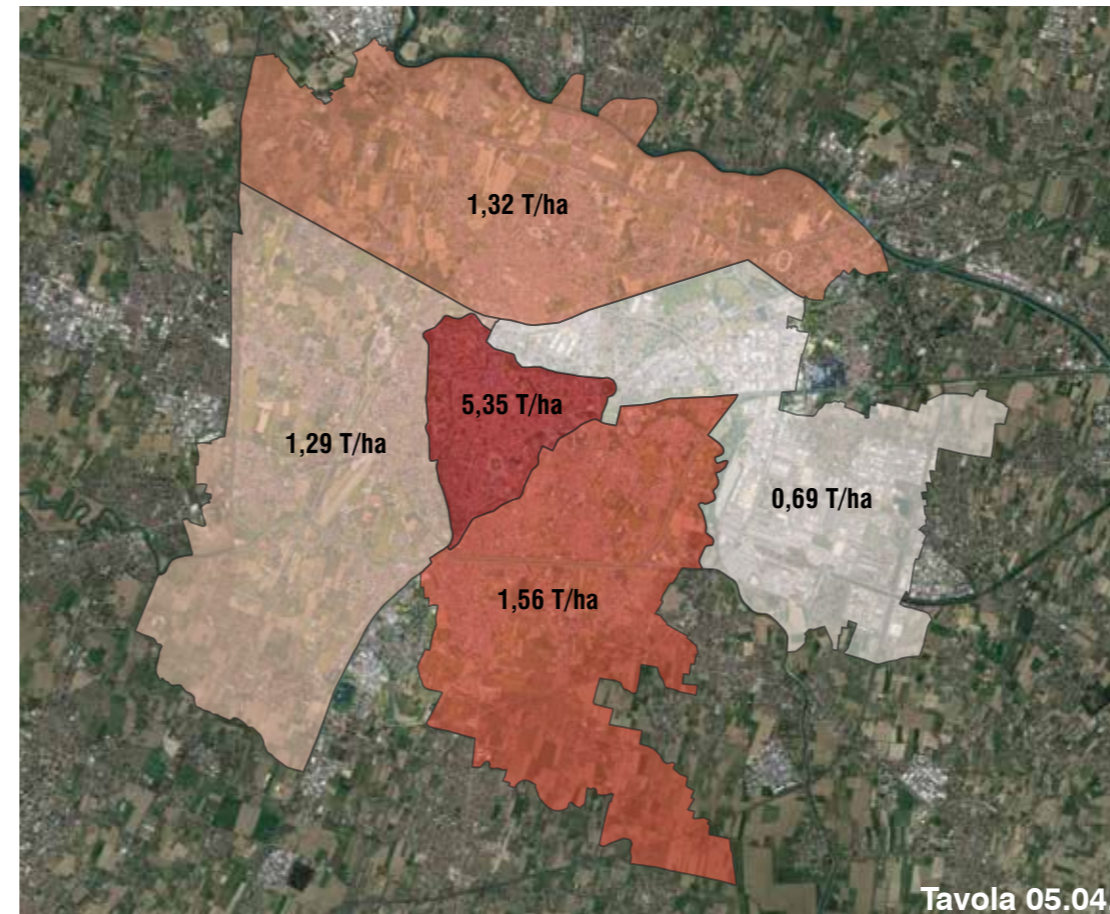
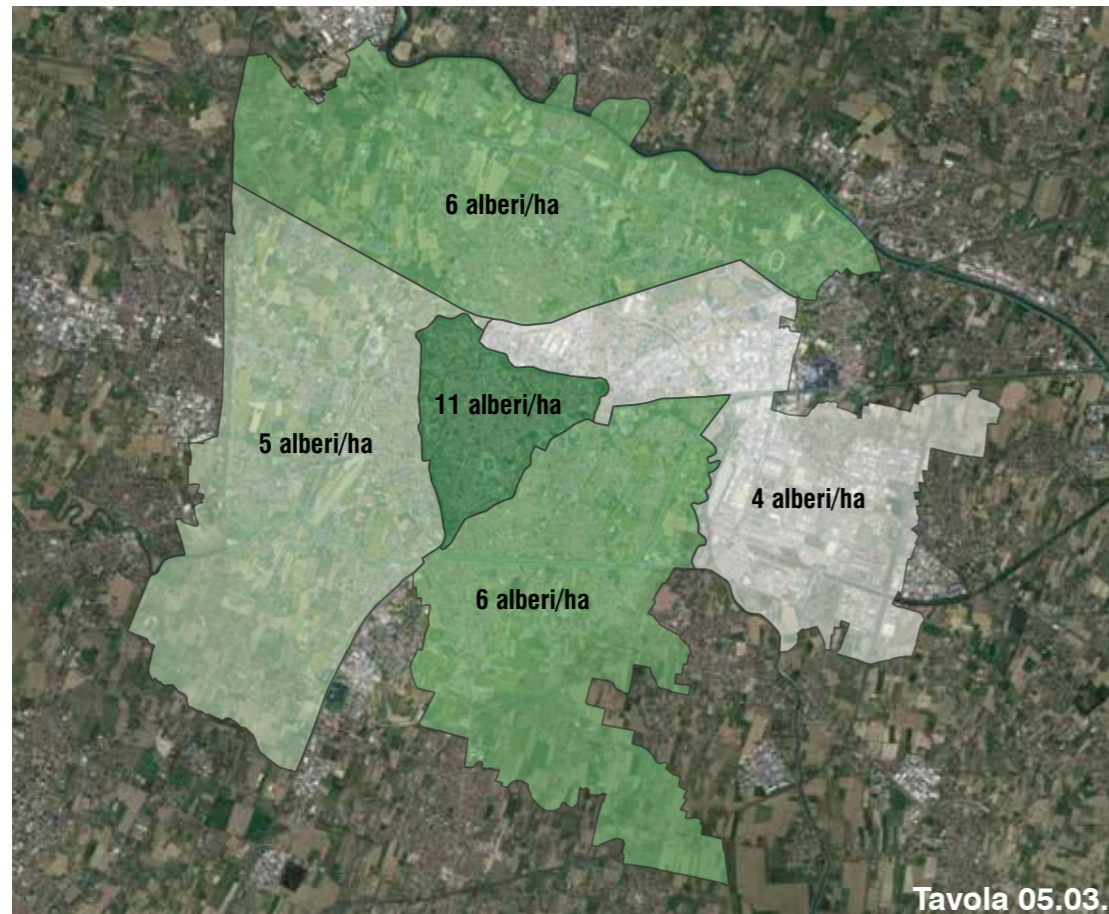


Tavola 05.03. Popolamento arboreo comunale. Alberi pubblici per ettaro.  
 Tavola 05.04. Popolamento arboreo comunale. Carbonio stoccato.  
 Tavola 05.05. Popolamento arboreo comunale. Pm2.5 intercettati.  
 Tavola 05.06. Popolamento arboreo comunale. Deflussi intercettati.

## RISULTATI DELLA STIMA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI: POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO

POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO ESISTENTE				
ATO	copertura mq	copertura %	n. alberi	area fogliare mq
<b>ATO 1 Centro storico</b>	1.182.000	23,20	20.619	7.877.640
<b>ATO 2 Nord</b>	4.126.000	18,60	131.724	23.501.050
<b>ATO 3 Est</b>	2.178.000	16,00	82.014	12.587.830
<b>ATO 4 Sud</b>	3.325.000	16,00	88.605	20.210.660
<b>ATO 5 Ovest</b>	3.909.000	16,60	107.961	23.507.820
<b>Comune di Padova</b>	14.720.000	18,60	430.923	87.685.000

Tabella 05.07. Caratteristiche del patrimonio arboreo complessivo elaborate da iTREE ECO.

POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO ESISTENTE				
ATO	Carbonio immobilizzato - T		Carbonio sequestrato/anno - T	
	totale	/ ha	totale	/ ha
<b>ATO 1 Centro storico</b>	14.733,49	28,19	531,62	1,02
<b>ATO 2 Nord</b>	29.943,43	12,37	1.224,17	0,51
<b>ATO 3 Est</b>	13.654,38	7,33	618,28	0,33
<b>ATO 4 Sud</b>	33.023,57	16,03	1.281,33	0,62
<b>ATO 5 Ovest</b>	36.591,79	14,90	1.417,05	0,58
<b>Comune di Padova</b>	127.946,66	13,72	5.072,45	0,54

Tabella 05.08. Accumulo e sequestro annuo di carbonio nel popolamento arboreo complessivo.

POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO ESISTENTE				
ATO	Inquinanti rimossi/anno - T		PM2.5 rimossi/anno - kg	
	totale	/ ha	totale	/ ha
<b>ATO 1 Centro storico</b>	8,61	0,0165	378,89	0,73
<b>ATO 2 Nord</b>	28,11	0,0116	1.153,68	0,48
<b>ATO 3 Est</b>	14,91	0,0080	618,21	0,33
<b>ATO 4 Sud</b>	23,12	0,0112	960,46	0,47
<b>ATO 5 Ovest</b>	27,08	0,0110	1.117,56	0,45
<b>Comune di Padova</b>	101,83	0,0109	4.228,81	0,45

Tabella 05.09. Azione del popolamento arboreo complessivo sulla qualità dell'aria.

L'utilizzo di iTREE con un dataset, costruito con le modalità descritte nei precedenti paragrafi, per simulare, per quanto possibile, le caratteristiche del popolamento arboreo complessivo della città, ha portato ai risultati descritti nella Tabella 05.07.

La Tabella 05.08. illustra il contributo del popolamento arboreo urbano esistente nel contrasto ai gas serra. Il dato complessivo del carbonio immobilizzato è di circa 128.000 tonnellate per l'intero territorio comunale equivalenti a 470.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> sottratta all'atmosfera. Il valore più alto per ettaro si riscontra nel Centro Storico, analogamente al dato riferito al solo verde comunale. Il dato è in accordo con la maggiore copertura arborea percentuale che caratterizza il Centro Storico e dalla presenza di un numero più elevato di esemplari di grandi dimensioni. In termini assoluti il maggiore contributo è apportato dall'ATO 5 OVEST, in cui è stato stimato il valore più elevato di area fogliare complessiva.

La Tabella 05.09. mostra la capacità di filtrare e intercettare inquinanti dell'aria da parte del popolamento arboreo complessivo. I valori più alti caratterizzano gli ATO 2 Nord e ATO 5 Ovest. Se riferito all'unità di superficie ancora una volta il valore più alto appartiene al Centro storico.

POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO ESISTENTE		
ATO	Ruscellamento evitato/anno - mc	
	totale	/ ha
<b>ATO 1 Centro storico</b>	1.1405,4	21,83
<b>ATO 2 Nord</b>	35.571,55	14,70
<b>ATO 3 Est</b>	18.942,81	10,17
<b>ATO 4 Sud</b>	29.791,29	14,46
<b>ATO 5 Ovest</b>	34.806,39	14,17
<b>Comune di Padova</b>	130.517,44	14,00

Tabella 05.10. Azione del popolamento arboreo complessivo sui deflussi superficiali.

L'azione di intercettazione dei deflussi superficiali da parte del popolamento arboreo è illustrata nella Tabella 05.10.

I dati relativi ai singoli ATO sono mappati nelle Tavole 05.07., 05.08., 05.09. e 05.10.

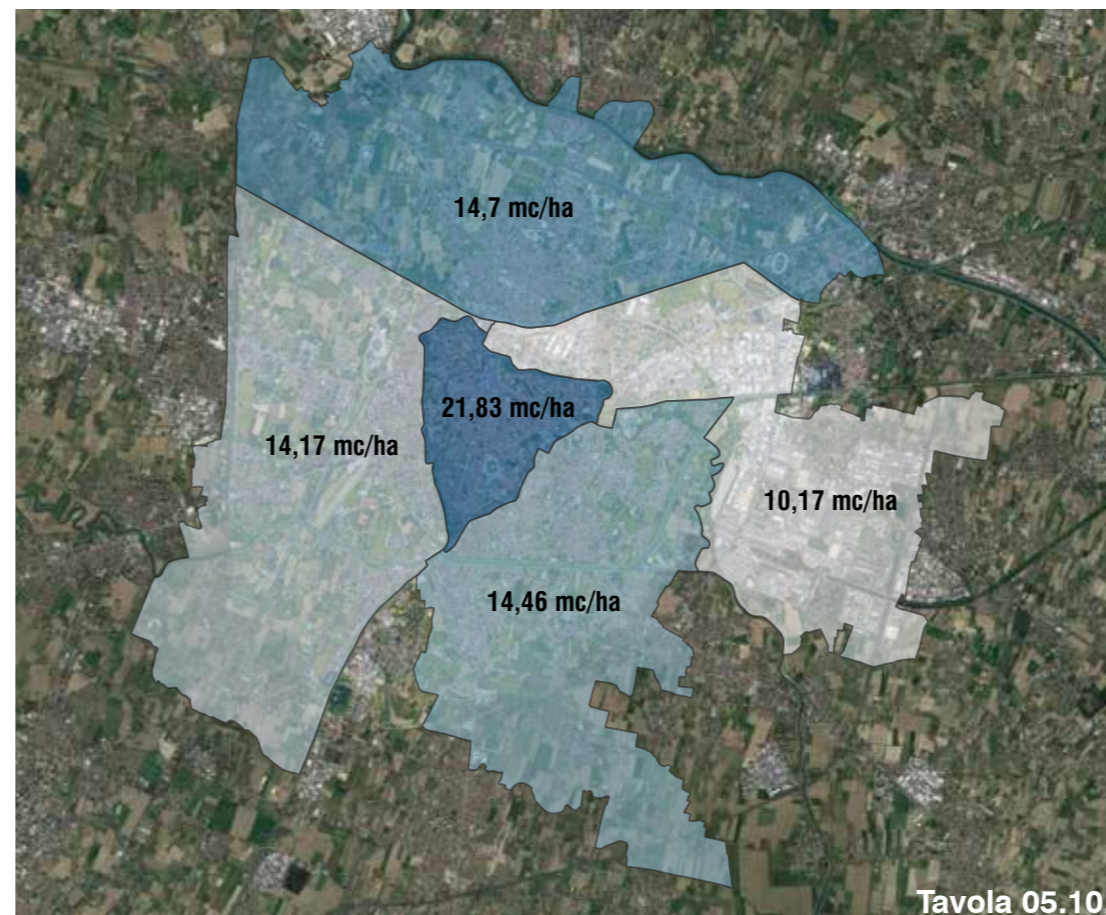
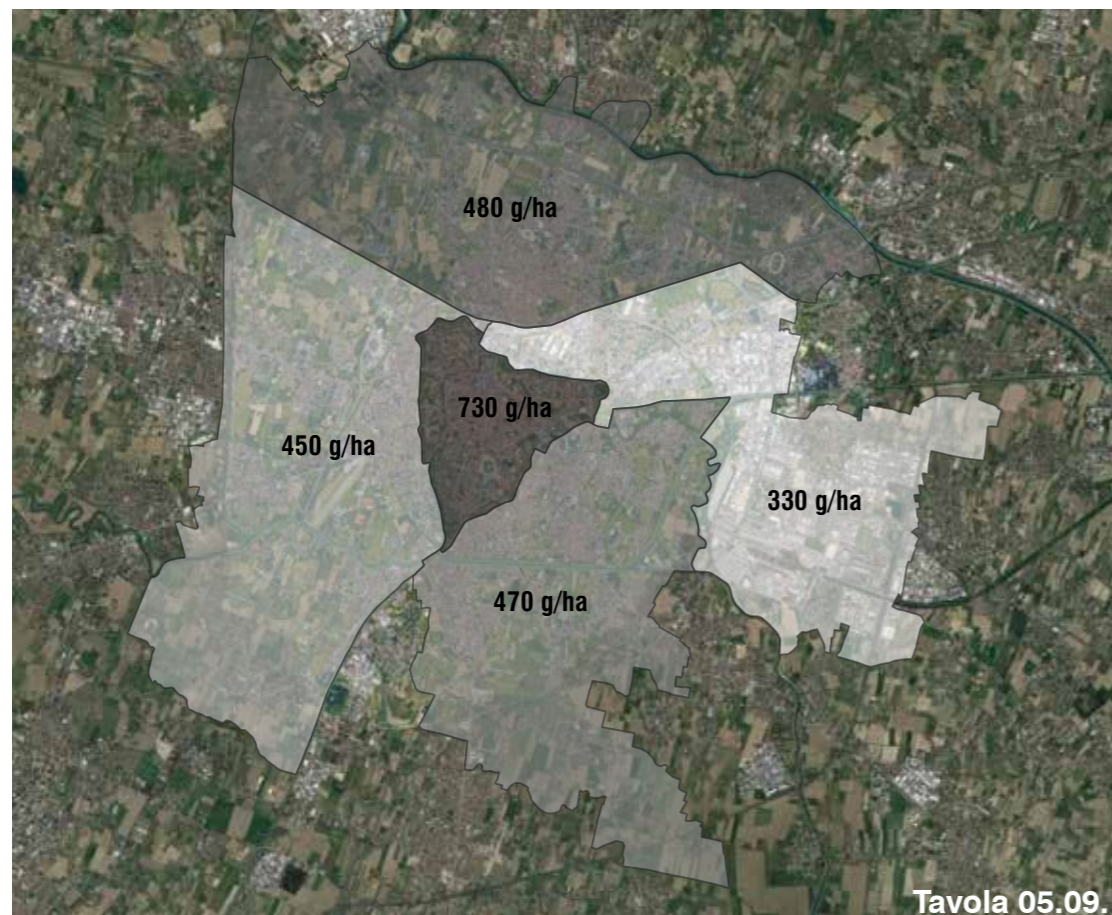
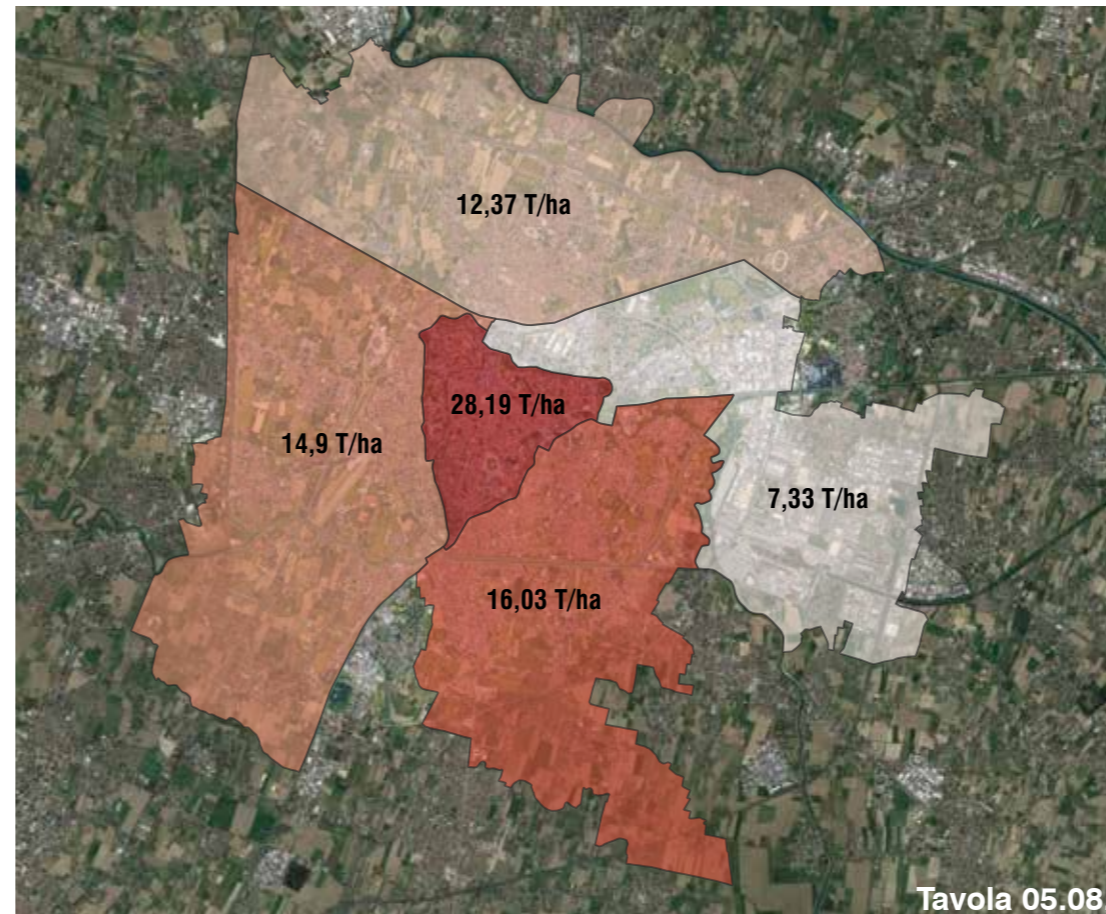
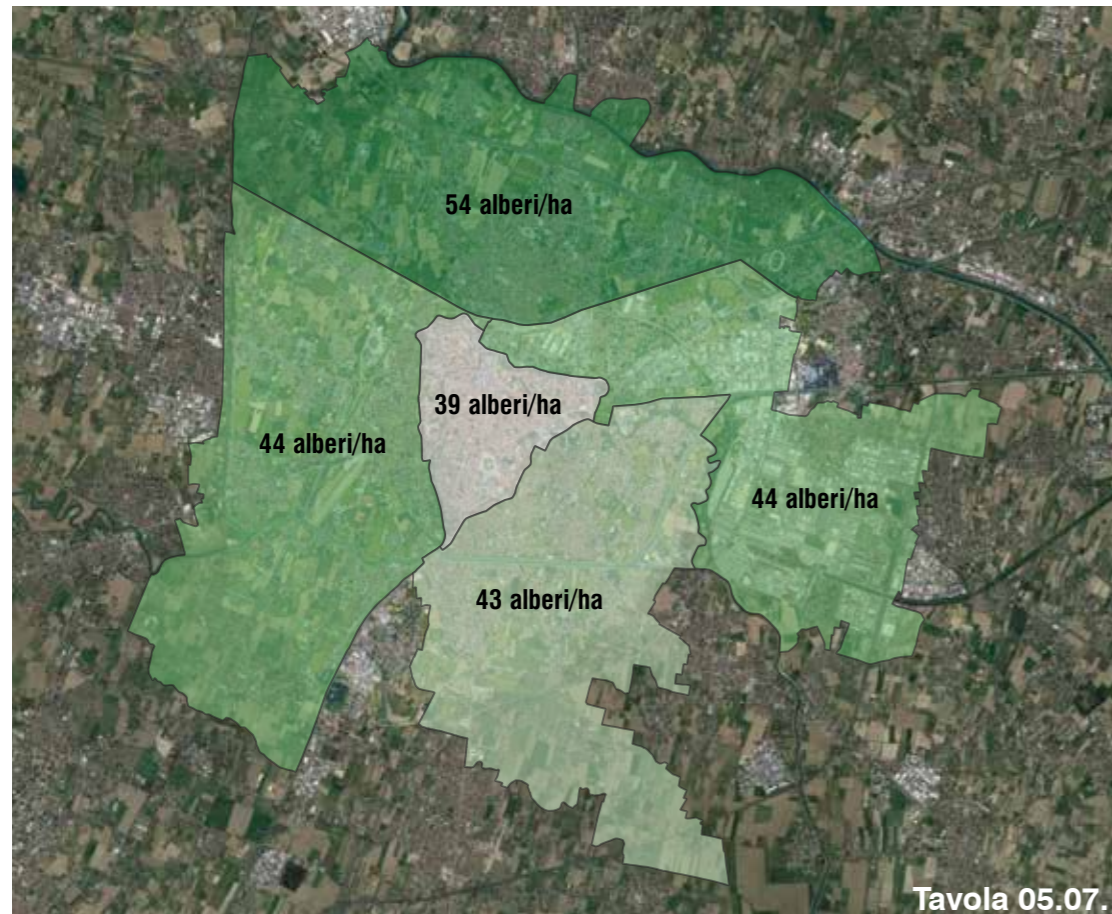


Tavola 05.07. Popolamento arboreo totale esistente. Numero alberi.  
 Tavola 05.08. Popolamento arboreo totale esistente. Carbonio stoccato.  
 Tavola 05.09. Popolamento arboreo totale esistente. Pm2.5 intercettati.  
 Tavola 05.10. Popolamento arboreo totale esistente. Deflussi intercettati.

## RISULTATI DELLA STIMA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI: POPOLAMENTO ARBOREO NORMALIZZATO CON COPERTURA DEL 30%

POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO NORMALIZZATO COPERTURA 30%				
ATO	copertura mq	copertura %	n. alberi	area fogliare mq
ATO 1 Centro storico	1.566.865	30,00	26.663	8.699.410
ATO 2 Nord	7.268.676	30,00	159.345	51.316.700
ATO 3 Est	5.584.661	30,00	98.960	32.652.510
ATO 4 Sud	6.167.409	30,00	124.603	42.985.600
ATO 5 Ovest	7.348.701	30,00	146.333	49.213.400
<b>Comune di Padova</b>	<b>27.936.312</b>		<b>555.904</b>	<b>184.867.620</b>

Tabella 05.11. Caratteristiche del patrimonio arboreo normalizzato con copertura del 30% elaborate da iTree ECO.

POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO NORMALIZZATO COPERTURA 30%		
ATO	Carbonio immobilizzato - T	
	totale	/ ha
ATO 1 Centro storico	20.370,20	38,98
ATO 2 Nord	116.900,60	48,30
ATO 3 Est	68.959,00	37,01
ATO 4 Sud	89.770,60	43,57
ATO 5 Ovest	111.298,80	45,31
<b>Comune di Padova</b>	<b>407.298,60</b>	<b>43,69</b>

Tabella 05.12. Carbonio accumulato nel popolamento arboreo complessivo normalizzato con copertura 30%.

POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO NORMALIZZATO COPERTURA 30%				
ATO	Inquinanti rimossi/anno - T		PM2.5 rimossi/anno - kg	
	totale	/ ha	totale	/ ha
ATO 1 Centro storico	10,71	0,020	547,520	1,05
ATO 2 Nord	62,62	0,026	2.949,507	1,22
ATO 3 Est	38,65	0,021	2.133,550	1,15
ATO 4 Sud	49,84	0,024	2.260,676	1,10
ATO 5 Ovest	56,83	0,023	2.756,310	1,12
<b>Comune di Padova</b>	<b>218,65</b>	<b>0,023</b>	<b>10.647,570</b>	<b>1,14</b>

Tabella 05.13. Effetti sulla qualità dell'aria del popolamento arboreo complessivo normalizzato con copertura 30%.

I risultati descritti in questo paragrafo vogliono rappresentare l'obiettivo di lungo periodo, ottenibile incrementando la copertura arborea fino al 30%, e conducendo il popolamento arboreo verso condizioni di normalità, con opportune strategie di pianificazione e gestione, il popolamento arboreo verso condizioni di normalità, come descritto nel paragrafo "metodi". Questo popolamento teorico dovrebbe essere in grado di garantire la costanza nel tempo dei servizi ecosistemici erogati.

Per le condizioni con le quali è stato definito questo popolamento teorico, si può affermare che i valori dei servizi ecosistemici calcolati da iTree ECO, si avvicinano ai valori massimi che è possibile ottenere dalla foresta urbana senza modifiche nell'attuale uso del suolo, ma solo con impianti puntuali negli spazi disponibili in aree comunali e private. È evidente che modifiche agli usi del suolo, come per esempio la conversione a bosco o parco di aree agricole, possono consentire incrementi significativi dei servizi forniti. I valori stimati per ettaro, soprattutto relativamente allo stock di carbonio, sono molto elevati, per la presenza nel popolamento teorico di un numero elevato di alberi maturi di grandi dimensioni.

Nella Tabella 05.12. non viene presentato un dato relativo al sequestro annuo, poiché essendo il popolamento "normalizzato" si assume che esso sia carbon neutral. La quantità complessiva del carbonio accumulato nel

popolamento "normalizzato" sarebbe pari a 407.000 tonnellate di carbonio, equivalenti a oltre 1.400.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> sottratte all'atmosfera.

I dati relativi ai singoli ATO sono mappati nelle Tavole 05.11., 05.12., 05.13. e 15.14.

POPOLAMENTO ARBOREO COMPLESSIVO NORMALIZZATO COPERTURA 30%		
ATO	Ruscamento evitato/anno - mc	
	totale	/ ha
ATO 1 Centro storico	15.418,63	29,50
ATO 2 Nord	89.700,00	37,06
ATO 3 Est	56.446,78	30,29
ATO 4 Sud	72.110,99	35,00
ATO 5 Ovest	79.972,02	32,56
<b>Comune di Padova</b>	<b>313.648,43</b>	<b>33,64</b>

Tabella 05.14. Effetti sulla deflussi superficiali del popolamento arboreo complessivo normalizzato con copertura 30%

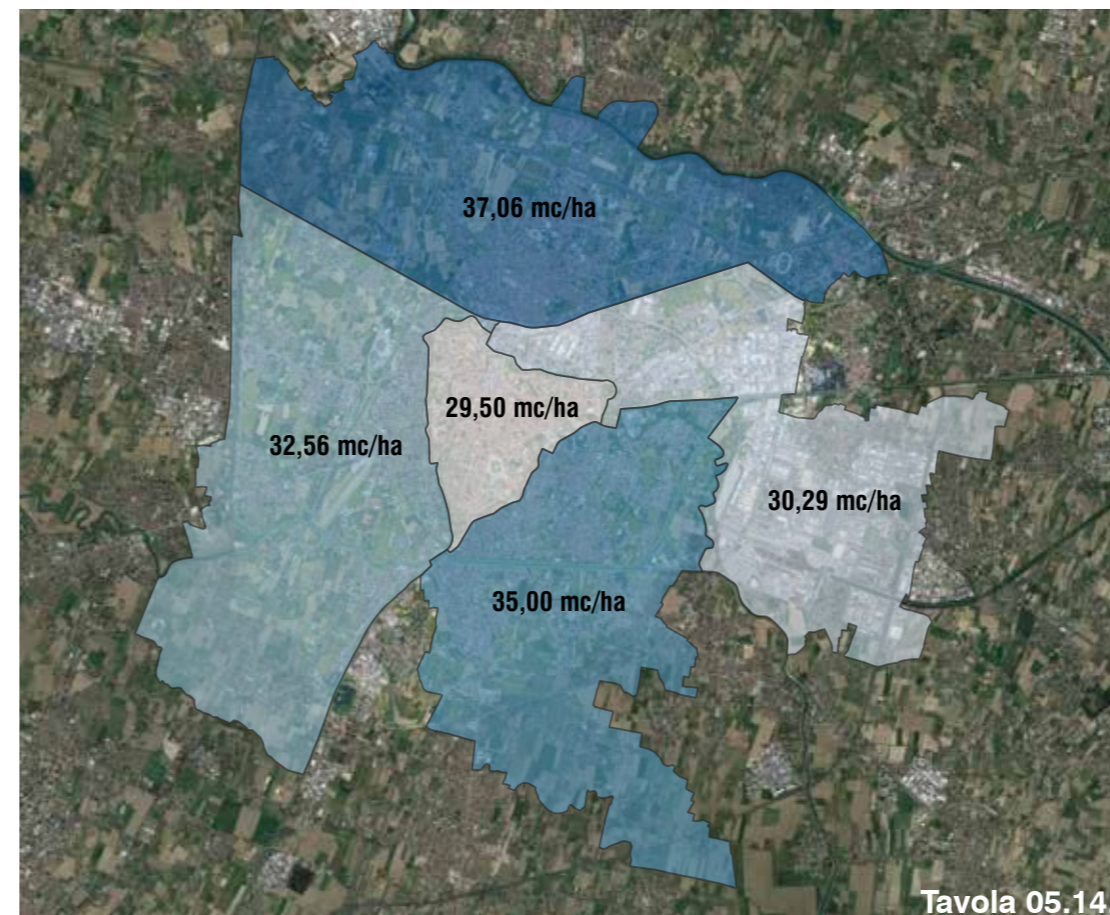
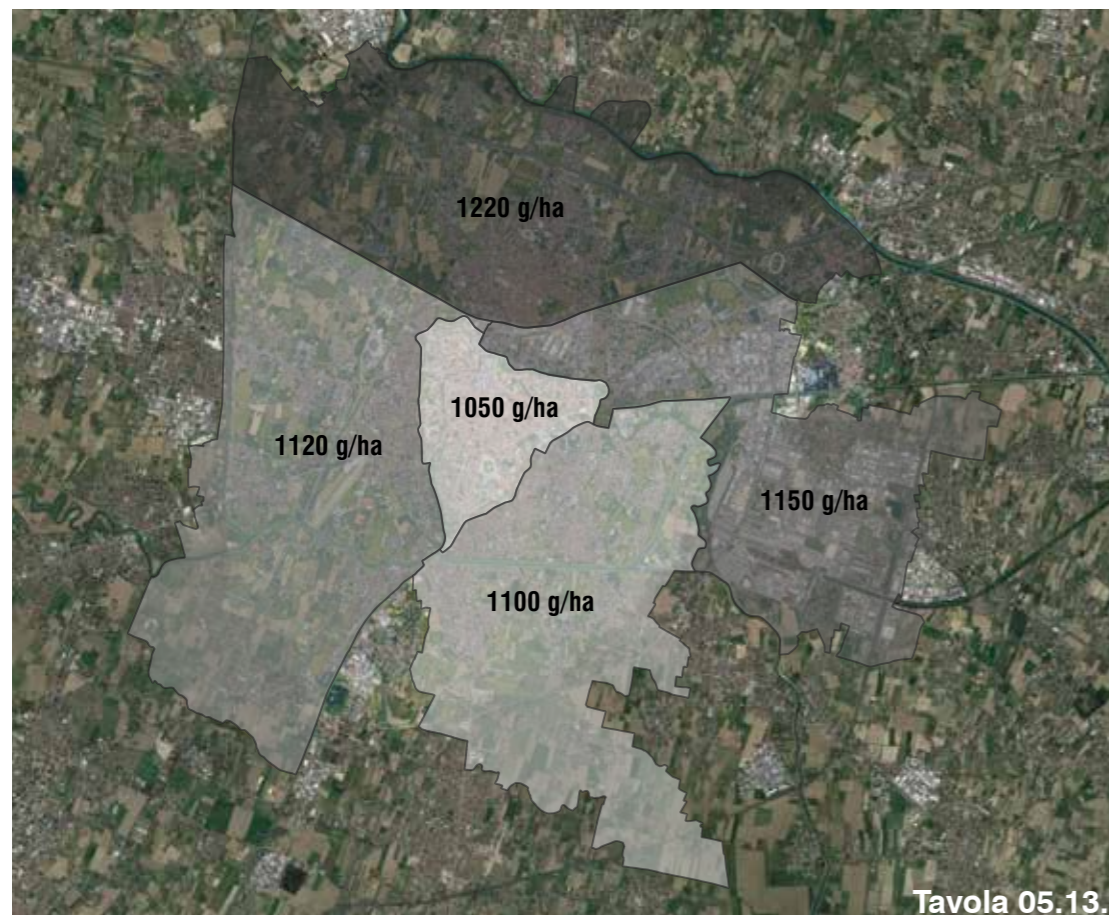
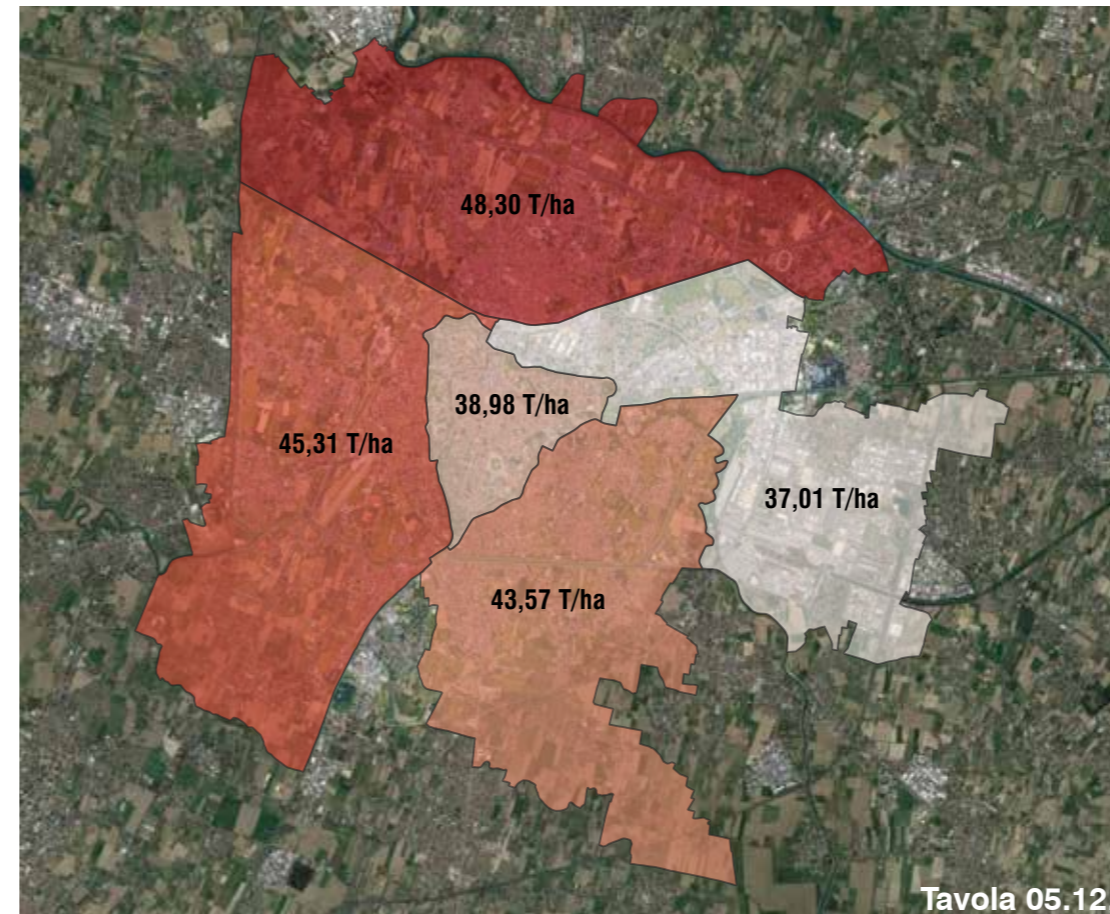
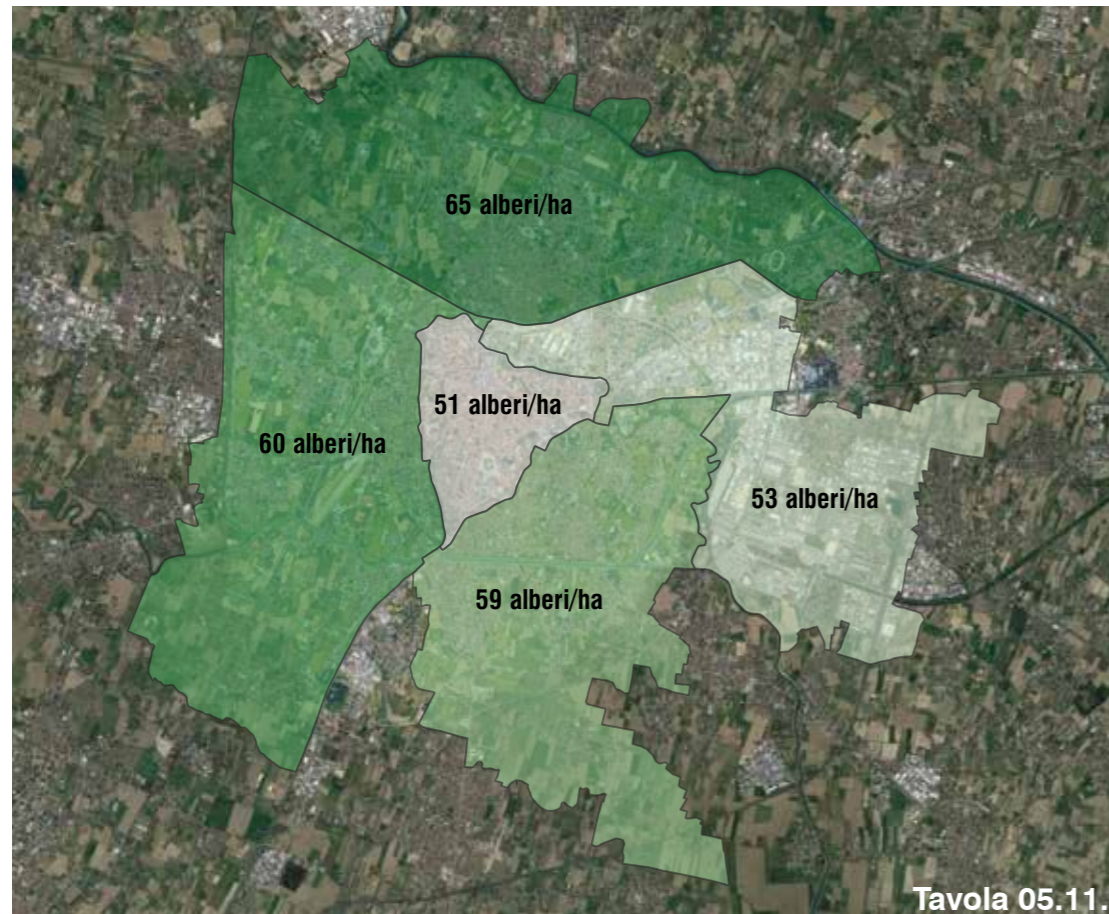


Tavola 05.11. Scenario 30%. Numero alberi.  
 Tavola 05.12. Scenario 30%. Carbonio stoccato.  
 Tavola 05.13. Scenario 30%. Pm2.5 intercettati.  
 Tavola 05.14. Scenario 30%. Deflussi intercettati.

## RISULTATI DELLA STIMA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI: NUOVE PIANTAGIONI COMUNALI PROGRAMMATE

		COPERTURA mq	AREA FOGLIARE mq	BIOMASSA FOGLIARE Kg	AREA BASIMETRICA dmq
Anno 5	min	4,17	7,74	0,62	1,96
	med	10,30	21,38	1,55	4,42
	max	15,95	52,95	3,49	8,33
Anno 10	min	6,52	13,19	1,05	5,08
	med	15,74	45,40	3,28	10,13
	max	22,76	98,85	6,75	16,67
Anno 20	min	10,85	24,68	2,35	13,51
	med	28,22	127,43	9,21	30,00
	max	42,58	275,91	18,48	50,00
Anno 40	min	16,95	64,33	6,57	42,86
	med	57,48	539,54	26,31	97,99
	max	87,85	756,47	59,41	150,00

Tabella 05.15. Valori medi, minimi e massimi di alcune misure dendrometriche stimate dal software iTree ECO per il nuovo popolamento.

	COPERTURA mq	N° ALBERI	AREA FOGLIARE mq
Anno 5	101.700	9.833	216.400
Anno 10	153.500	9.783	452.600
Anno 20	271.900	9.783	1.259.000
Anno 40	544.900	9.783	3.581.000

Tabella 05.16. Stima della copertura e dell'area fogliare dei nuovi impianti nei primi 40 anni.

	CARBONIO IMMOBILIZZATO - T	CARBONIO SEQUESTRATO /ANNO - T	INQUINANTI RIMOSSI/ANNO - T	PM 2.5 RIMOSI/ ANNO kg	RUCELLAMENTO EVITATO/ANNO- mc
Anno 5	114,00	20,69	0,49	11,83	509,20
Anno 10	296,40	29,74	0,84	24,25	918,60
Anno 20	996,20	51,11	1,74	65,58	2.098,00
Anno 40	4.024,00	86,05	3,92	170,92	5.174,00

Tabella 05.17. Servizi ecosistemici forniti dalle nuove piantagioni nei primi 40 anni.

La Tabella 05.15. mostra il risultato dell'analisi condotta con iTree ECO per stimare la variazione nel tempo di alcuni parametri dendrometrici delle nuove piantagioni, da cui poter poi stimare i servizi ecosistemici forniti. Il dato mostrato in tabella è un dato medio riferito a singoli soggetti arborei. Questa stima potrà anche essere impiegata come elemento di confronto con le misure in campo che verranno condotte nel monitoraggio delle piantagioni nei primi anni di sviluppo. Pur trattandosi di dati teorici, potranno essere utilizzati come riferimento per valutare il successo degli interventi e/o per valutare l'attendibilità del modello di stima in future applicazioni.

La Tabella 05.16. mostra la stima della copertura e dell'area fogliare del nuovo popolamento derivante dall'impianto dei 10.000 alberi.

La Tabella 05.17. riassume i servizi ecosistemici forniti dai nuovi alberi nel corso dei primi 40 anni dall'impianto. La prima colonna mostra la quantità complessiva di carbonio immagazzinato dai 10.000 alberi al termine di ogni intervallo temporale. Le successive colonne mostrano i servizi forniti annualmente a 5, 10, 20 e 40 anni dall'impianto. Si stima che al 40mo anno dopo l'impianto il nuovo popolamento avrà immagazzinato circa 4.000 tonnellate di carbonio, equivalenti a poco meno di 15.000 tonnellate di CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONI

Le nuove piantagioni comunali attualmente programmate porteranno nell'arco di 40 anni ad un incremento tra il 30% e il 40% dei servizi ecosistemici forniti attualmente dal popolamento arboreo municipale. Il mantenimento e l'incremento dei servizi ecosistemici, oltre che all'espansione della foresta urbana è tuttavia strettamente legato alla gestione dei popolamenti esistenti. Per garantire un flusso costante di servizi da parte degli alberi urbani sarà infatti necessario adottare strategie di gestione e rinnovo adeguate a normalizzare il popolamento, rendendo quantomeno il più possibile stabile nel tempo la copertura arborea complessiva esistente.

D'altro canto tuttavia l'analisi e le stime condotte sul popolamento arboreo complessivo (comunale + privato), in uno scenario ideale di lungo periodo, mostrano che un obiettivo di copertura arborea del 30%, rispetto all'attuale 18,60%, porterebbe ad un incremento tra il 200% e il 300% dei servizi ecosistemici forniti. Le stime prodotte da iTree ECO per lo scenario a copertura 30%, si riferiscono comunque ad un popolamento "ideale" e rappresentano il limite superiore dei servizi ottenibili dal verde urbano nel contesto urbano esistente.

Questo obiettivo di copertura, che, come dimostra l'analisi descritta nel capitolo precedente, non è irrealistico per il lungo periodo; non può tuttavia essere raggiunto solo con interventi pubblici e su spazi pubblici, di proprietà del Comune. È dunque necessario individuare strategie che stimolino la piantagione di alberi in aree private, parallelamente alle nuove piantagioni condotte direttamente dall'amministrazione comunale. Nella scelta delle strategie di intervento andranno anche considerate le differenze di copertura registrate nei diversi ATO, privilegiando le aree attualmente meno dotate. Particolarmente delicata sarà la gestione degli alberi nel centro storico, oggi in grado di fornire servizi ecosistemici non irrilevanti grazie alla presenza di alberi di grandi dimensioni, che tuttavia vanno monitorati e rinnovati gradualmente dove necessario, per evitare una potenziale repentina riduzione della copertura.



Figura 05.04. Un intervento di messa a dimora di piante forestali nelle aree di proprietà del Comune di Padova. [Settore Verde, Parchi, Agricoltura Urbana]



Figura 05.05. Un intervento di messa a dimora di piante forestali nelle aree di proprietà del Comune di Padova. [Settore Verde, Parchi, Agricoltura Urbana]



Figura 05.06. e 05.07. Alcuni dettagli dell'intervento di messa a dimora di piante forestali nelle aree di proprietà del Comune di Padova. [Settore Verde, Parchi, Agricoltura Urbana]

