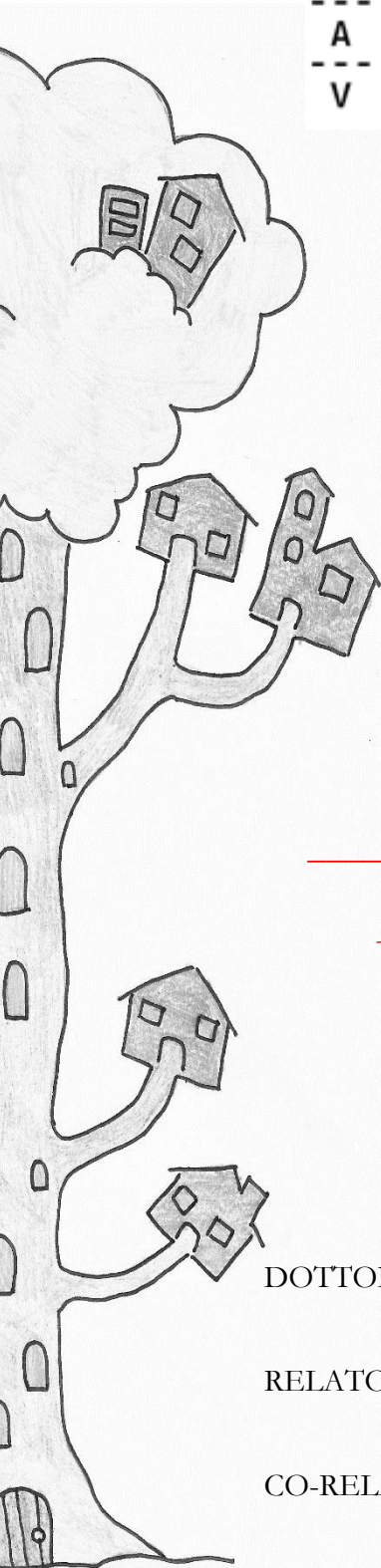




I
U
A
V

UNIVERSITA' IUAV DI VENEZIA
SCUOLA DI DOTTORATO

DOTTORATO DI RICERCA IN
NUOVE TECNOLOGIE & INFORMAZIONE
TERRITORIO E AMBIENTE

Ciclo XXVI

Alberi in città

Lettere innovative della qualità urbana

DOTTORANDA

Silvia Rebeschini

RELATORE

Prof. Luigi Di Prinzio

CO-RELATORI

Prof. Domenico Patassini
Prof. Paolo Semenzato

Anni accademici 2011-2012-2013

Quest'opera è stata rilasciata con licenza



Creative Commons Attribuzione - Condividi allo stesso modo 3.0

Una copia di tale licenza è disponibile al link:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>

A Federico, Mattia e Marta

*I problemi principali del mondo
sono il risultato della differenza
tra il modo in cui la natura opera
e il modo in cui l'uomo pensa.*

(Gregory Bateson, 1904-1980)

P A R T E I

1.INTRODUZIONE.....	13
1.1 Percorso di studio	13
1.2 Esiti della ricerca: la tesi	14
1.2.1 Descrizione.....	14
1.2.2 Struttura	16
1.3 Obiettivi.....	17
2. CONCETTI E PAROLE CHIAVE.....	19
2.1 Smart city.....	19
2.2.1 L'uomo al centro	20
2.2 Benessere e qualità della vita	21
2.2.1 Indicatori: BES e altri.....	22
2.3 Green Infrastructure.....	24
2.4 City Model e City Sensing.....	25
3. FUNZIONI E BENEFICI DEL VERDE URBANO	27
3.1 Servizi ecosistemici	27
3.1.1 Miglioramento delle condizioni microclimatiche.....	29
3.1.2 Risparmio energetico	30
3.1.3 Sequestro della CO ₂	31
3.1.4 Miglioramento della qualità dell'aria	31
3.1.5 Riduzione del run-off superficiale delle acque	32
3.1.6 Mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.....	32
3.2 Benefici psicologici e sociali	33
4. INQUADRAMENTO ECOLOGICO-PAESISTICO DELL'AREA DI STUDIO	37
4.1 Contesto territoriale.....	37
4.2 Valutazione preliminare secondo la bionomia del paesaggio ...	40
4.2.1 Metodo clinico-diagnostico.....	45
4.3 Parametri ecologici.....	46
4.3.1 Misura della connessione (CON).....	46
4.3.2 Habitat umano (HU).....	47
4.3.3 Capacità portante ($\sigma = HS/HS^*$)	48
4.3.4 Biopotenzialità territoriale media (BTC).....	48

4.3.5 Metastabilità generale del paesaggio (g-LM)	49
4.3.6 Tipo di paesaggio - Landscape Types (LTpE)	50
4.4 Risultati	51

P A R T E II

1. MODELLO	53
1.1 UFORE e i-Tree Eco	53
1.2 Dati in input	56
2. RICONOSCIMENTO DEL VERDE PUBBLICO	57
2.1 Fonti informative	57
2.2 Campionamento	59
2.2.1 Metodologia	59
2.2.2 Piano di campionamento	60
2.2.3 Registrazione dei dati	62
2.2.4 Opportunità del campionamento partecipato	64
2.3 Parametri misurati	65
2.3.1 Altezza totale e altezza della chioma viva	65
2.3.2 Altezza della base della chioma	66
2.3.3 Ampiezza della chioma	68
2.3.4 Diametro del tronco	68
2.3.5 Percentuale di chioma mancante	69
2.3.6 Percentuale di chioma morta	70
2.3.7 Indice di illuminazione	71
3. PREDISPOSIZIONE DEI DATASET	72
3.1 Dataset ALBERI	72
3.1.1 Attribuzione dei dati al popolamento arboreo	72
3.1.2 Upload dei dati	73
3.2 Dataset ARIA	74
3.3 Dataset METEO	75
4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI	77
4.1 Indicatori della vegetazione arborea in aree pubbliche	77
4.1.1 Numerosità	77
4.1.2 Superficie di suolo coperta dalla chioma (canopy cover) ..	78

4.1.3 Superficie fogliare (leaf area).....	79
4.1.4 Biomassa fogliare (leaf biomass)	80
4.1.5 Contenuto di carbonio (carbon storage).....	80
4.1.6 Sequestro di carbonio (gross carbon sequestration).....	81
4.2 Specie a confronto	82
4.3 Indici della vegetazione arborea.....	84
4.3.1 Indice di abbondanza relativa.....	84
4.3.2 Indice di dominanza relativa.....	86
4.3.3 Indice di importanza	87
4.4 Inquinanti atmosferici rimossi ed emessi.....	89
4.4.1 Contesto e sintesi dei risultati.....	89
4.4.2 Rimozione delle polveri sottili (PM10).....	90
4.4.3 Rimozione del biossido di azoto (NO ₂)	91
4.4.4 Rimozione dell'ozono troposferico – O ₃	92
4.4.5 Emissione di composti organici volatili - COV	93
4.4.6 Dati complessivi e quadro d'insieme	94
4.4.7 Superficie fogliare e inquinanti rimossi	96
4.5 Indicatori di emissione	99
4.5.1 Emissioni di stufe domestiche a legna.....	99
4.5.2 Emissioni da traffico nel comune di Padova.....	100
5. DISTRIBUZIONE OTTIMALE DEI POPOLAMENTI ARBOREI.....	104
5.1 Obiettivi dell'analisi.....	104
5.2 Metodologia	104
5.3 Risultati.....	105
5.3.1 Specie nei parchi e lungo le strade	108
5.3.2 Inquinanti rimossi dal popolamento ottimale	112
5.4 Considerazioni e proposte	114

P A R T E I I I

1. ELABORAZIONE DI IMMAGINI PER IL VERDE ARBOREO PRIVATO	117
1.1 Opportunità delle nuove tecnologie.....	117
1.1.1 Portatori di interesse	117

1.1.2 Strumenti e tecnologie	118
1.2 Remote sensing.....	120
1.3 Sperimentazione	125
1.3.1 Obiettivi	125
1.3.2 Fonti informative e strumenti utilizzati.....	126
1.3.3 Procedimento di elaborazione	127
1.3.4 Risultati.....	135
1.3.5 Limiti e potenzialità	136
2. STRUMENTI DI PARTECIPAZIONE PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE	138
2.1 Concetti generali del fenomeno partecipativo.....	138
2.2 Aree verdi e spazi pubblici.....	142
2.3 Crowdmapping: la piattaforma Ushahidi.....	144
2.3.1 Censimento del verde privato	145
2.4 La piattaforma Qcumber.....	146
2.5 Monitoraggio partecipato locale: il Progetto APA	148
2.5.1 Obiettivi	149
2.5.2 Proposta	149
2.5.3 Attività svolte	150
2.5.4 Criticità e attività future	151

P A R T E I V

1.ASPETTI SANITARI.....	153
1.1 Pollini e contesto urbano	153
1.2 Dimensioni del problema.....	155
1.3 Quali soluzioni?	156
1.3.1 Reti di monitoraggio aerobiologico.....	157
1.3.2 Indice di allergenicità del verde.....	159
1.4 Nuove tecnologie di comunicazione	160
1.4.1 Importanza dell'informazione preventiva	160
1.4.2 Strumenti innovativi: app e dintorni	161
1.5 Un'applicazione: il "diario dei sintomi"	162
1.5.1 Contesto e limiti attuali.....	162
1.5.2 Un nuovo strumento di comunicazione.....	163

1.6 Conclusioni e proposte operative	163
2.RISCHIO DI INTRODUZIONE DI AGENTI PATOGENI E SPECIE INVASIVE.....	167
2.1 Contesto	167
2.2 Agenti patogeni potenziali nell'area di studio	168
2.2.1 Impatti potenziali sull'area di studio.....	172
2.2.2 Considerazioni gestionali.....	173
2.3 Specie vegetali alloctone e alloctone invasive	174
2.3.1 Situazione nel Veneto e nell'area di studio	175

P A R T E V

1.GESTIONE DEL VERDE URBANO	177
1.1 Aspetti generali.....	177
1.2. Strumenti di gestione	179
1.2.1 Bilancio delle alberature.....	180
1.2.2 Inventario delle alberature.....	181
1.2.3 Iniziative di gestione partecipativa	182
1.3 Nuovi strumenti gestionali.....	184
1.3.1 Nuove tecnologie e PA.....	185
1.4 Considerazioni conclusive	186
2.CONCLUSIONI	188
2.1 Esperienza dottorale e valore aggiunto per ARPAV	188
2.1.1 Indicatori ambientali...e non solo	188
2.1.2 Monitoraggio ambientale partecipativo.....	190
2.2 Considerazioni personali.....	194
BIBLIOGRAFIA per autore.....	195
Siti consultati	201
Indice delle Sigle	203
PRODOTTI DELLA RICERCA	204
ALLEGATO 1 - Modulo D – Dry Deposition	205
Ringraziamenti	210

Silvia Rebeschini



Laureata in Scienze Ambientali all'Università Ca' Foscari di Venezia nel 1995 con 110/110 e lode, svolge per qualche anno la libera professione come consulente ambientale. Nel 1999 entra nella Pubblica Amministrazione; dopo un breve periodo come responsabile dell'Ufficio Ambiente al Comune di Bassano del Grappa, approda all'Agenzia regionale per l'ambiente (ARPAV).

Qui ha l'opportunità di ampliare progressivamente le proprie competenze in differenti settori: inquinamento acustico, valutazione d'impatto ambientale, indicatori, comunicazione e informazione ambientale. Rilevante sul piano formativo è il prolungato impiego nella struttura deputata allo sviluppo e gestione dei sistemi informativi.

Oggi il suo ambito di lavoro riguarda le reti di monitoraggio ambientale, ma coltiva l'interesse per i temi connessi al benessere e alla qualità dell'ambiente urbano.

Parte I

Contesto scientifico e inquadramento paesistico
dell'area di studio

1. INTRODUZIONE

1.1 Percorso di studio

Ho iniziato il percorso dottorale in Nuove Tecnologie con l'obiettivo di acquisire conoscenze sui temi emergenti legati all'innovazione tecnologica per lo studio dell'ambiente, e acquisire nuove competenze da utilizzare in ambito lavorativo, una volta terminata questa esperienza di studio e ricerca.

Fin dal principio ho vissuto questi tre anni come una preziosa opportunità di crescita professionale e personale.

La possibilità di dedicarmi nuovamente allo studio dei temi ambientali, beneficiando di numerose occasioni di formazione, sia esterne che interne a IUAV, di entrare in contatto con figure rilevanti del mondo accademico, imprenditoriale, istituzionale e scientifico, di sperimentare un contesto lavorativo nuovo, sono tutti aspetti che hanno rappresentato per me i principali fattori di stimolo alle attività svolte nel triennio.

La volontà di intraprendere un nuovo percorso professionale, seppur a termine, è stata determinata anche dal desiderio di ritrovare nell'attività lavorativa una certa dose di curiosità, entusiasmo e intraprendenza, ingredienti necessari per trovare soddisfazione nel lavoro e nella vita.

Questo approccio ha caratterizzato tutto il triennio e si riscontra anche nella variabilità degli argomenti affrontati nel lavoro di tesi. La sensazione che il lavoro non fosse mai sufficientemente completo, mi ha spinto ad estendere progressivamente il campo di studio avvicinandomi così a diverse discipline connesse al tema centrale.

L'opportunità di usufruire del confronto e del supporto di persone competenti e disponibili alla collaborazione mi ha permesso di affrontare il tema della tesi diversificando non solo gli strumenti e le tecnologie, ma anche i punti di vista.

La maggior parte delle attività di ricerca ha avuto come oggetto di studio la vegetazione e in particolare il verde in ambito urbano. In questi anni ho avuto modo di approfondire diversi aspetti legati a questo tema, tutti di notevole interesse.



Carattere sperimentale della ricerca

Inizialmente ho affrontato il tema delle emissioni polliniche in ambito urbano, approfondendo i temi della diffusione delle informazioni ai cittadini a scopo preventivo, anche attraverso l'utilizzo di strumenti social (*wiki, crowdsourcing*), del miglioramento dei flussi informativi medico-paziente offerti dalle nuove tecnologie (applicazioni web e app per smartphone), della costruzione di un indice di allergenicità potenziale relativo alle principali aree verdi pubbliche urbane.

Successivamente, nell'ambito della cornice *smart cities*, ho approfondito il concetto di *Green Infrastructure* e ciò mi ha portato in seguito a sviluppare uno studio parallelo di tipo esplorativo sul ruolo della componente verde nei processi di adattamento ai cambiamenti climatici. Questa attività mi ha consentito non solo di estendere i confini della ricerca, analizzando ulteriori funzioni e servizi svolti dalla componente vegetale, ma anche di ampliare il respiro della ricerca a livello europeo e di partecipare alla conferenza "Il clima cambia le città" con un *paper* che ha generato interesse portando alla realizzazione di due successive pubblicazioni ¹.

1.2 Esiti della ricerca: la tesi

1.2.1 Descrizione

L'attività che ha caratterizzato il percorso di studio e che costituisce il nucleo principale della tesi, consiste nell'analisi e impiego di strumenti, metodologie e tecniche innovative per la conoscenza del verde urbano al fine di consentirne una gestione ottimale da parte degli enti competenti e una migliore fruibilità da parte dei cittadini. La disponibilità di informazioni aggiornate, dettagliate e affidabili è infatti una delle condizioni imprescindibili per permettere alle istituzioni di svolgere in modo efficiente ed efficace le proprie mansioni.

Una parte preponderante delle attività ha riguardato le azioni connesse alla quantificazione del contributo dei popolamenti arborei del verde urbano al miglioramento della qualità dell'aria, con riferimento ad un quartiere della città di Padova. Attraverso l'impiego del modello matematico UFORE (*Urban Forest Effect*) nella software suite *i-Tree* ², sono state determinate le quantità di sostanze inquinanti rimosse dall'atmosfera, nel corso di un anno, ad opera degli alberi situati lungo le strade e nelle aree pubbliche dell'area di studio.

Ho dedicato un impegno notevole alla predisposizione dei dati in input e in particolare a quelli relativi alla vegetazione arborea. Le risorse informative sul verde pubblico fornite dal Comune per la fase iniziale

¹ La conferenza sull'adattamento climatico in ambito urbano è stata promossa da IUAV (Scuola di Dottorato) e Legambiente e si è tenuta a Venezia il 23 e 24 maggio 2013. Riferimenti delle pubblicazioni in "Prodotti della ricerca".

² www.itreetools.org/eco/

del progetto non rispettavano tutti i requisiti informativi richiesti dall'applicativo; pertanto è stata eseguita una considerevole attività di rilievo sul campo per integrare la base informativa esistente con dati di misure puntuali.

Le attività di riconoscimento del verde urbano hanno implicato la definizione dell'oggetto dell'indagine e dell'ambito tematico e scientifico della ricerca, il reperimento delle risorse informative disponibili e l'integrazione di quelle mancanti mediante le campagne di misura.

Attività di riconoscimento
del verde urbano

Lo svolgimento di questa lunga fase operativa, di osservazione diretta del territorio, mi ha consentito di maturare un elevato livello di "confidenza" e conoscenza approfondita del territorio consentendomi di svolgere le fasi successive del lavoro con sicurezza ed efficienza.

Mi riferisco per esempio alla procedura di analisi delle immagini multispettrali per la determinazione del contributo del verde privato al miglioramento della qualità dell'aria; la valutazione della corretta applicazione dell'indice NDVI, utile a distinguere le aree vegetate da quelle impermeabilizzate, è stata facilitata dal "bagaglio" conoscitivo sviluppato precedentemente, durante i mesi di attività sul campo.

Conoscenza diretta del
territorio

Le valutazioni tecniche e gestionali sul patrimonio arboreo presente nell'area di studio si basano sui risultati dell'applicazione del modello matematico realizzato e utilizzato dal Servizio Forestale del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (*USDA Forest Service*) per fornire agli utenti che inviano i propri dati, il calcolo dei parametri ambientali. Per facilitare l'utilizzo del modello e lo scambio dei dati è disponibile l'applicativo *i-TreeEco* che consente agli utenti di predisporre il dataset in un formato conforme ai requisiti di funzionamento del modello, in modo da automatizzare il più possibile il processo di elaborazione, semplificando le operazioni preliminari di controllo dei dati e accorciando i tempi di evasione delle richieste.

Modello UFORE
Elaborazione USDA

1.2.2 Struttura

L'elaborato di tesi è articolato in cinque parti.

La **Parte I** ha l'obiettivo di inquadrare il lavoro di ricerca all'interno di tre diverse "cornici" di riferimento: quella personale legata al background di provenienza e all'esperienza maturata durante il dottorato, il contesto scientifico e quello territoriale dell'area di studio. All'inizio viene fornito un inquadramento generale del contesto di studio che ha portato alla scelta dell'argomento sviluppato nella tesi; vengono presentati in modo sintetico alcuni concetti approfonditi durante il triennio e pertinenti all'oggetto della ricerca. Si passa poi a descrivere in dettaglio le diverse funzioni del verde urbano, in termini di servizi ecosistemici, sociali e culturali. Infine viene presentata l'area di studio attraverso la descrizione del contesto territoriale e i risultati di un'indagine preliminare di carattere esplorativo sul suo stato di salute dal punto di vista ecologico-paesaggistico.

La **Parte II** riguarda l'applicazione del modello UFORE per la determinazione del contributo degli alberi in aree pubbliche al miglioramento della qualità dell'aria in un quartiere del comune di Padova. Questa parte è piuttosto corposa in quanto comprende tutte le attività sperimentali e di ricerca svolte per l'applicazione del modello, la discussione dei risultati ottenuti e considerazioni per l'utilizzo delle informazioni emerse dal lavoro a fini di ricerca e gestionali.

La **Parte III** contiene due capitoli che riguardano:

- 1) L'applicazione di tecniche per l'elaborazione delle immagini telerilevate e dei dati laser per valutare la consistenza del patrimonio arboreo privato situato nell'area di studio, al fine di stimare il suo contributo al miglioramento della qualità dell'aria e integrare i risultati ottenuti al punto precedente;
- 2) L'inquadramento del tema della partecipazione e collaborazione cittadini-istituzioni e la presentazione dei risultati parziali di un progetto di monitoraggio partecipativo.

I due argomenti sono riuniti nella terza parte poiché, a mio avviso, entrambi utilizzano strumenti/approcci innovativi per lo studio del verde urbano e delle tematiche ambientali in generale.

Nella **Parte IV** vengono approfonditi due temi sui rischi connessi al verde urbano: il primo riguarda il rischio di introduzione di agenti fitopatogeni e la stima dei potenziali impatti negativi in termini di consistenze arboree e di mancati servizi ecosistemici; il secondo affronta gli aspetti sanitari derivanti dalla presenza in aria di pollini aerodispersi prodotti dalle specie arboree allergeniche.

La **Parte V** tratta gli aspetti gestionali del verde urbano, principalmente la componente arborea, con riferimenti specifici alle modalità e agli strumenti impiegati attualmente nel contesto territoriale di studio e alle

possibili opportunità offerte dalle nuove tecnologie. Questa sezione si chiude con alcune considerazioni sui risultati emersi dalla ricerca, sulle potenzialità e criticità rilevate e sulle possibili ricadute dell'esperienza dottorale sulle attività dell'ARPAV.

1.3 Obiettivi

Gli obiettivi principali del lavoro si possono riassumere in:

- Aumentare la conoscenza del patrimonio arboreo del verde urbano, pubblico e privato, con particolare riferimento alla valutazione dei servizi ecosistemici da esso forniti, per accrescere nei cittadini e nelle istituzioni la consapevolezza sul suo valore;
- Sperimentare l'utilizzo di strumenti e tecnologie innovative per aumentare la conoscenza del verde urbano al fine di fornire agli enti istituzionali preposti alla gestione nuovi strumenti che integrino gli esistenti.

Per quanto riguarda il primo aspetto, lo studio presenta diversi approcci e metodologie per l'acquisizione di dati e informazioni relativi alla componente arborea; dal tradizionale rilievo sul campo per la misura delle caratteristiche dendrometriche, all'impiego di un modello matematico per il calcolo dei servizi ecosistemici, all'utilizzo dei sistemi laser scanner per l'acquisizione di dati dendrometrici, all'analisi di immagini digitali per il calcolo speditivo di indicatori ambientali, all'avvio di iniziative di partecipazione pubblica e di utilizzo di strumenti di *crowdsourcing*.

Il secondo aspetto riguarda le opportunità di miglioramento della gestione del verde offerte dall'aumento della conoscenza in termini di quantità di dati potenzialmente disponibili, fonti diversificate, aggiornamento tempestivo delle informazioni, affidabilità, e altro ancora. Nel lavoro vengono affrontate alcune problematiche connesse agli aspetti gestionali del verde, legate alla sostenibilità temporale del patrimonio del verde pubblico per il mantenimento dei servizi ecosistemici, al rischio di depauperamento e moria di alcune specie particolarmente vulnerabili a parassiti e agenti patogeni, agli aspetti sanitari relativi alle emissioni polliniche di alcune piante allergeniche (allergofite).

Gli obiettivi principali si possono articolare nei seguenti punti:

- Aumentare il patrimonio informativo sul verde pubblico (struttura, distribuzione, misure dendrometriche, efficienza di rimozione inquinanti, assorbimento carbonio e altri aspetti) per consentire agli enti competenti (Comune) di ottimizzare l'impiego delle risorse destinate alla gestione ordinaria;

- Valutare la componente arborea del verde pubblico urbano nella sua funzione ambientale di miglioramento della qualità dell'aria mediante il sequestro degli inquinanti atmosferici;
- Valutare gli effetti ambientali potenziali di un popolamento arboreo ottimale per distribuzione cronologica, equivalente al popolamento arboreo in essere per numero di esemplari e distribuzione in specie, valutato nella sperimentazione del modello UFORE (Parte II).
- Identificare possibili azioni, anche in termini di nuovi impianti, affinché nel lungo periodo venga mantenuto complessivamente lo “stock” del patrimonio arboreo pubblico in grado di garantire nel tempo il mantenimento dei servizi ecosistemici forniti al momento della sperimentazione;
- Valutare la vulnerabilità del patrimonio arboreo pubblico all'attacco di agenti patogeni e parassiti potenzialmente presenti nell'area di studio, sia in termini di numerosità di esemplari colpiti che di perdita di servizi ecosistemici, con particolare riferimento al mancato contributo al miglioramento della qualità dell'aria;
- Stimare la consistenza e il contributo ambientale del verde arboreo privato presente nell'area di studio mediante l'utilizzo di tecnologie innovative;
- Utilizzare strumenti innovativi per elaborare indicatori ambientali relativi al verde urbano utili a fini gestionali;
- Approfondire il tema della partecipazione collaborativa per valutare l'opportunità di impiego di questa nuova modalità di interazione tra istituzioni e cittadini per avviare iniziative di monitoraggio delle componenti ambientali, anche nell'ottica di un eventuale loro utilizzo ad integrazione delle attività istituzionali di monitoraggio in capo alle ARPA (Agenzie Regionali per l'Ambiente).

2. CONCETTI E PAROLE CHIAVE

Il contesto scientifico, culturale e ambientale di riferimento del lavoro sperimentale viene tracciato mediante la sintetica trattazione di alcuni concetti e parole chiave riferiti a diversi ambiti della conoscenza.

Il verde urbano, infatti, costituisce una delle componenti ambientali attraverso cui si valuta la qualità della vita e il benessere, può contribuire alla creazione di una vera e propria infrastruttura verde in grado di fornire preziosi servizi ecosistemici e di contribuire alle azioni di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici e può essere un elemento attrattore di partecipazione e inclusione sociale, considerando il diffuso e crescente interesse per la conservazione degli spazi verdi urbani.

In genere si tratta di termini molto utilizzati in ambito scientifico, istituzionale ed economico, e quindi noti ai più; alcuni sono a mio avviso addirittura sovrautilizzati, a tal punto da rischiare di evolvere in slogan privi di significato.

2.1 Smart city

L'aumento della popolazione mondiale e la conseguente crescita dei centri urbani, sia nei Paesi in via di sviluppo che in quelli industrializzati, hanno progressivamente modificato lo stile di vita dei cittadini, che si trovano a vivere in contesti urbani sempre più distanti dall'ambiente naturale.

Il progresso industriale e tecnologico ha permesso il raggiungimento di un elevato livello di prosperità materiale ed economica, sacrificando tuttavia il rapporto uomo-natura che si sta rivelando fondamentale per il benessere e la qualità della vita. Il documento della Ecological Society of America (2004) evidenzia come il nostro secolo sarà caratterizzato da problematiche ambientali, derivanti dal continuo aumento della popolazione umana che produrrà sugli ecosistemi esistenti il più pesante impatto antropico mai visto prima³.

Considerando che in Europa circa il 75% della popolazione vive in aree urbane e si prevede che nel 2020 tale soglia raggiungerà l'80%, non stupisce la crescente attenzione da parte delle istituzioni, del mondo della ricerca, delle amministrazioni locali e delle imprese sui temi che hanno come oggetto la città.

Un forte impulso allo studio e alla realizzazione di soluzioni tecnologiche innovative in ambito urbano, atte a migliorare l'efficienza dei servizi e

³ Il monito del giardino *Uomo, città e alberi: un rapporto da ridisegnare*
www.ilmonitodelgiardino.it/index.php/home/bilanci-e-auspici/20-editoriale/138-uomo-citta-e-alberi-un-rapporto-da-ridisegnare



“La Smart city è un territorio con alta capacità di apprendimento e innovazione che è costruito sulla base della creatività delle sue comunità, delle sue istituzioni e della sua infrastruttura digitale per la comunicazione e la gestione della conoscenza.”

(Nicos Komninos a Smart City Exhibition, 2013)

l'utilizzo delle risorse, è stato fornito anche dalle iniziative di finanziamento promosse dalle istituzioni nell'ambito del programma *smart city*. In linea con l'Unione europea che ha previsto di investire da qui al 2020 oltre dieci miliardi di euro per finanziare i progetti più meritevoli riguardanti le reti elettriche, i trasporti e l'efficienza energetica nell'edilizia, anche l'Italia sta percorrendo la stessa strada. Il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca nel 2012 ha destinato un milione di euro allo sviluppo di progetti per le *Smart Cities*⁴

Di definizioni e interpretazioni di *smart city* ce ne sono molte e diverse fra loro; numerosi soggetti appartenenti al mondo delle istituzioni, della ricerca e delle imprese hanno fornito la propria visione convergendo su concetti e parole chiave comuni quali innovazione, tecnologia, informazione, comunicazione digitale, connettività, sostenibilità, efficienza, *e-government*, partecipazione, sicurezza.

Tutti concordano nel ritenere una *smart city* uno spazio multidimensionale e multiattoriale. Le dimensioni rappresentano i temi che caratterizzano il contesto urbano: economia (*smart economy*), mobilità (*smart mobility*), ambiente (*smart environment*), relazioni sociali (*smart people*), servizi (*smart living*), sistema delle regole (*smart governance*); essi vanno gestiti in una logica integrata e non conflittuale. Gli attori sono i portatori di interesse: i cittadini (*city user*), gli amministratori, i tecnici e altre componenti della società.

Secondo alcuni la *vision* della città intelligente è già contenuta nella Carta di Lipsia del 2007 e per la sua realizzazione sarebbe sufficiente che tutti i soggetti coinvolti agissero in modo concorde nel rispetto delle indicazioni espresse da questo documento dell'Unione Europea. (Spada, 2013)

Interessante la visione di Komninos (riportata a lato) da cui emerge che la matrice tecnologica, caratteristica della *Digital City*, è fondamentale ma non sufficiente per fare una *smart city*.

L'infrastruttura tecnologica è lo strumento abilitante principale per il raggiungimento dello stato “intelligente” poiché esso permette di raccogliere l'enorme mole di dati e informazioni che la città produce, collegarli tra loro e trasmetterli in tempo reale agli attori che operano al suo interno per svolgere le loro attività, utilizzare servizi e prendere decisioni in modo più efficiente.

2.2.1 L'uomo al centro

A livello europeo e italiano sempre più contesti urbani mirano al modello di *smart city*, dove attraverso l'uso diffuso e innovativo di tecnologie informatiche e telematiche (ICT) vengono offerti nuovi

⁴ Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
hubmiur.pubblica.istruzione.it/web/ricerca/home

servizi e strumenti ai cittadini nei diversi ambiti del vivere quotidiano; dalle *app* per la gestione del traffico e dei parcheggi per migliorare la mobilità urbana, all'uso di sensori per il monitoraggio dell'illuminazione pubblica e il risparmio energetico, ai sistemi di tutela dei monumenti e di sicurezza pubblica dei cittadini, e molti altri che mirano ad integrare e ottimizzare i servizi, migliorando la comunicazione e l'interazione tra amministrazione e cittadini.

Dando uno sguardo a ciò che sta avvenendo in Italia e nel mondo si osserva che le soluzioni tecnologiche sono numerose, ma da sole non bastano a creare una città intelligente. E' ormai chiaro che per l'affermazione reale di un modello di *Smart City* è necessario porre al centro dell'attenzione le persone, i cittadini, i veri protagonisti in grado di traghettare gli attuali sistemi urbani verso il nuovo modello di città, basato sulla condivisione delle informazioni, sulla partecipazione, in cui ciascuno può beneficiare degli effetti dello sviluppo tecnologico e al tempo stesso offrire il proprio contributo alla comunità.

Perde importanza la distinzione tra abitanti residenti e non; i cittadini sono tutti *city-user* e la città deve essere pianificata e progettata per rispondere ad un ventaglio di esigenze in continua evoluzione (Vianello, 2013).

Cittadini e amministratori *smart* sono persone informate, disponibili all'uso delle nuove tecnologie finalizzate al miglioramento non solo della vita privata ma anche della società, del bene comune e alla creazione di condizioni di vita migliori. (Talia, 2013)

In questo contesto si colloca il concetto di Human Smart City, presentato a Bologna in occasione di Smart City Exhibition 2012; si tratta di città in cui i cittadini e le comunità sono i principali attori dell'intelligenza urbana, chiamati a contribuire in prima persona alla soluzione dei problemi quotidiani, attraverso l'utilizzo delle tecnologie esistenti. Un progetto europeo afferente a questo modello emergente di organizzazione sociale urbana è Peripheria, a cui partecipano anche alcune città italiane⁵.

2.2 Benessere e qualità della vita

I servizi e gli strumenti messi a disposizione dalle tecnologie innovative vanno concepiti come mezzi abilitanti per raggiungere l'unico vero importante obiettivo: il miglioramento della qualità della vita delle persone, del loro benessere psico-fisico.

Questo stato si raggiunge permettendo ai cittadini di soddisfare le proprie esigenze e aspettative, non solo in termini di bisogni primari, ma anche in relazione al vivere in un ambiente salubre, alle opportunità di socializzazione, alla possibilità di disporre di strumenti efficienti per

Smart citizens for a smart city

Abitanti, residenti, turisti...sono tutti *city user*



Unico vero obiettivo: il miglioramento della qualità della vita e del benessere psico-fisico

⁵ <http://www.peripheria.eu/>

la diffusione della conoscenza, prerequisito fondamentale per prendere decisioni “intelligenti” a livello politico e sociale.

Il concetto di benessere va inteso in modo nuovo: esso non coincide con l'assenza di patologie, ma indica, secondo la definizione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, “uno stato complessivo di buona salute fisica, psichica e mentale”.

Quindi affinché un contesto urbano possa offrire ai suoi cittadini delle condizioni di benessere, non è sufficiente osservare le norme che impongono il rispetto dei limiti di concentrazione degli inquinanti nei vari comparti ambientali, a tutela della salute umana. Esistono, infatti altri fattori che influenzano la qualità della vita.

Ad esempio esistono sempre più evidenze che confermano l'importanza delle aree verdi urbane nel raggiungimento del benessere. La fruizione di parchi e giardini in un contesto urbanizzato aiuta i cittadini a soddisfare le proprie esigenze esplicite ed implicite, tra cui quella di vivere in un contesto ambientale non solo salubre, ma anche piacevole e rilassante. Accanto al valore estetico-ornamentale, a quello ricreativo-sportivo e ambientale, il verde pubblico riveste anche una importante funzione sociale, che si manifesta nella capacità di influenzare le condizioni psico-fisiche degli individui.

2.2.1 Indicatori: BES e altri

La consapevolezza dell'importanza di misurare il livello di benessere mediante un sistema che superi quello tradizionale fondato sul calcolo di indici economici e che non si identifichi con lo stato di salute di una popolazione (misurato anch'esso in termini negativi), ha condotto ISTAT ad avviare un progetto di collaborazione con il CNEL (Consiglio Nazionale dell'Economia e del Lavoro) per elaborare l'indice BES (Benessere Equo e Sostenibile). Infatti, “ferma restando l'importanza del Prodotto interno lordo come misura dei risultati economici di una collettività, è indispensabile integrare tale misura con indicatori di carattere economico, ambientale e sociale che rendano esaustiva la valutazione sullo stato e sul progresso di una società.” (ISTAT, 2013).

Si tratta di un modo nuovo di misurare ciò che accade sul territorio per offrire agli amministratori e ai politici un diverso punto di vista che può portare ad adottare politiche territoriali e scelte amministrative differenti.

Il BES si ispira ad alcuni indici elaborati precedentemente con finalità simili o comunque attinenti al tema della felicità e del benessere, come ad esempio gli indici Happy Planet Index, Human Development Index e il Better Life Index dell'OECD; esso unisce tre approcci diversi riconducibili ai seguenti concetti:

Qualità della vita, benessere e verde urbano



- le persone, per poter realizzare in modo autonomo il proprio benessere, hanno la necessità oggettiva di contare sulla disponibilità di **risorse**;
- la **felicità** è uno stato soggettivo e dipende dalla soddisfazione per la vita di ciascuno, percepita in modo diverso;
- **possibilità** di sviluppare le capacità degli individui, utilizzando le risorse individuali e collettive e vivendo nella società secondo la propria visione di vita di qualità.

I punti di forza del BES sono: l'approccio multisettoriale utilizzato per la sua costruzione, l'integrazione dei dati oggettivi con valutazioni soggettive che costituiscono una componente fondamentale; il criterio di sostenibilità applicato non solo al comparto ambientale ma anche alla sfera sociale ed economica.

Il BES si articola in 12 dimensioni:

1. Salute
2. Istruzione e formazione
3. Lavoro e conciliazione dei tempi di vita
4. Benessere economico
5. Relazioni sociali
6. Politica e istituzioni
7. Sicurezza
8. Benessere soggettivo
9. Paesaggio e patrimonio culturale
10. Ambiente
11. Ricerca e innovazione
12. Qualità dei servizi

Ciascuna dimensione è articolata in più indicatori che al momento sono costruiti a partire dai dati già presenti nei giacimenti informativi dell'Istituto; per il primo Rapporto BES⁶, dunque, non sono state acquisite nuove fonti informative, o adottate nuove procedure di acquisizione, ma si è proceduto elaborando ed interpretando in modo diverso i dati esistenti.

Anche se al momento ciò rappresenta un fattore limitante nella valutazione dei risultati, va considerato che si tratta della fase iniziale del percorso. E' previsto, infatti, in un futuro prossimo, l'impiego di nuove fonti informative legate all'uso delle nuove tecnologie, come i dati provenienti dalla sensoristica diffusa e dai meccanismi di partecipazione dei cittadini.

I tre approcci del BES:

- Resources
- Happyness
- Capability

Il verde urbano, nella dimensione Ambiente, viene valutato mediante l'indicatore della superficie pro-capite (m²/abitante) ☺

⁶ Rapporto BES, 2013 <http://www.istat.it/it/archivio/84348>)

2.3 Green Infrastructure

Nonostante il presente lavoro sia focalizzato su un'area territoriale limitata e consideri prevalentemente la componente arborea del verde urbano, il concetto di infrastruttura verde o *green infrastructure* è determinante per comprendere l'importanza dei risultati emersi dalla sperimentazione, per creare le connessioni tra il lavoro di ricerca e il modello di *smart city* e per comprendere le motivazioni che mi hanno spinto ad approfondire il tema, collegato alla tesi, dei sistemi di adattamento ai cambiamenti climatici basati su approcci di tipo ecosistemico (*Ecosystem Based Approach*)⁷.

Il rapporto tecnico della Commissione Europea (Naumann, Davis *et al.*, 2011, pagina 14) riporta la seguente definizione, a mio parere chiara e completa:

“Green infrastructure is the network of natural and semi-natural areas, features and green spaces in rural and urban, and terrestrial, freshwater, coastal and marine areas, which together enhance ecosystem health and resilience, contribute to biodiversity conservation and benefit human populations through the maintenance and enhancement of ecosystem services. Green infrastructure can be strengthened through strategic and co-ordinated initiatives that focus on maintaining, restoring, improving and connecting existing areas and features as well as creating new areas and features”

L'importanza del concetto di *green infrastructure* è evidente se si considera che ancor oggi la valutazione del verde presente in un contesto urbano viene spesso condotta considerando soltanto l'aspetto quantitativo, adottando come criterio di riferimento il rispetto della soglia minima di estensione stabilita dal DM n.1444 del 1968 (9 m² per abitante, escluse le fasce verdi lungo le strade) o la variazione dell'indicatore nel tempo. Tale approccio, pur fornendo un indicatore sintetico, potenzialmente confrontabile e di facile comprensione, offre un'informazione decisamente insufficiente, se non addirittura errata, sulle reali funzioni della vegetazione in ambito cittadino.

Per valutare il verde urbano anche nel suo ruolo funzionale è necessario, invece, utilizzare un approccio sistemico basato sul concetto di infrastruttura multifunzionale e di continuità spaziale. Questo concetto, che ha radici nei Paesi del nord Europa ma si è diffuso ampiamente anche negli Stati Uniti, si basa sull'idea che sia possibile coniugare lo sviluppo urbano con il mantenimento delle funzioni esercitate dalla componente vegetazionale, purché le diverse aree verdi presenti sul territorio vengano connesse tra loro in un sistema a network. (Lockart, 2009)

Il termine infrastruttura, compare anche in alcune declinazioni del modello di *smart city*, riferito ai temi della mobilità, dell'energia e della

Il verde urbano come
componente essenziale della
G.I.

⁷ Riferimenti della pubblicazione in “Prodotti della ricerca”

comunicazione digitale. Anche il verde urbano, tuttavia, possiede le caratteristiche di un'infrastruttura vera e propria, come la multifunzionalità, la necessità di una progettazione integrata e multidisciplinare, il carattere pervasivo dello spazio urbano, l'obiettivo di assicurare la massima connessione tra le diverse parti e la necessità di una continua gestione efficiente per mantenerne il valore.

In molti contesti urbani, pianificare e progettare il verde urbano in termini di *green infrastructure* permette di affrontare le problematiche connesse al ciclo dell'acqua in modo integrato, ottimizzando gli interventi e riducendo l'impiego di risorse⁸.

L'Agenzia Ambientale Europea (EEA) nel recente rapporto "*Urban Adaptation to Climate Change in Europe*" evidenzia più volte il ruolo chiave della *green infrastructure* nella pianificazione e gestione degli interventi di adattamento ai cambiamenti climatici e fornisce strumenti e indicazioni concrete per fronteggiare i fenomeni meteo-ambientali nei centri urbani.

La posizione dell'Europa nei documenti dell'Agenzia Ambientale Europea e della Commissione Europea

La Commissione Europea, nell'ambito delle politiche per la tutela della biodiversità (European Biodiversity Strategy to 2020 - EBS) ha sviluppato una strategia europea per la promozione della *green infrastructure* (Green Infrastructure Strategy) ritenendo che questa possa contrastare gli effetti negativi sulla biodiversità prodotti dalla intensificazione dell'utilizzo antropico del suolo e dalla conseguente frammentazione diffusa degli habitat in tutta Europa (Naumann *et al.*, 2011).

Nel portale informativo della Commissione Europea, sezione Environment/Nature&Biodiversity è disponibile una rassegna dei principali rapporti europei riguardanti questo argomento⁹.

2.4 City Model e City Sensing

I concetti di City Model e City Sensing, collegati al modello di *smart city*, racchiudono gran parte dei temi affrontati durante il percorso di studio, sono trasversali ai percorsi di ricerca svolti dai colleghi di dottorato e caratterizzano alcune attività svolte nell'ambito del mio lavoro.

Con **City Model** si fa riferimento a strumenti e metodologie in grado di realizzare la "forma" della città, integrando le informazioni relative ai diversi aspetti dell'ambiente urbano e fornendo un quadro d'insieme interconnesso dei diversi fenomeni. Per realizzare tale modello è necessario l'impiego di tecnologie di rilevamento contraddistinte dall'alto contenuto informativo, dalla presenza della terza dimensione

City Model

⁸ Si citano a titolo di esempio le esperienze delle città di New York, Philadelphia e Los Angeles dove, mediante approccio integrato, si affrontano in modo sinergico le problematiche di gestione degli eventi alluvionali causati da improvvise piogge intense e quelle del rifornimento idrico nei periodi di siccità.

⁹ www.ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/studies.htm#implementation

spaziale (scansione tridimensionale) e da un modello dati non predefinito, più orientato a processi di fotointerpretazione anche differiti nel tempo (Borga, 2014).

Tecnologie adatte allo scopo sono costituite dai sistemi laserscanner, sia avionico che terrestre, mediante i quali è possibile costruire la forma tridimensionale della scena mediante la nuvola di punti 3D e associare contenuti informativi provenienti dal sensore ottico accoppiato al laser (dati ancillari). Anche l'utilizzo di Veicoli ad Alto Rendimento (MMS – Mobile Mapping System), costituisce un valido strumento per la realizzazione di immagini ad alta (altissima) risoluzione nello spettro del visibile e dell'infrarosso.

City Sensing

Il termine City Sensing, invece, comprende sistemi, tecnologie e strumenti per il monitoraggio pervasivo del territorio, caratterizzato dalla diffusione capillare di dispositivi di rilevamento miniaturizzati, portatili, in grado di fornire dati e informazioni sui fenomeni urbani da un'ottica diversa da quella usuale: quella proveniente dall'interno del tessuto urbano. In presenza di uno spazio interconnesso, come quello che caratterizza una *smart city*, diventa possibile aggregare i flussi informativi provenienti dalla miriade di micro-dispositivi diffusi, raccogliarli in un database geografico e fornire in tempo reale una rappresentazione dei fenomeni in corso sul territorio. Questo sistema innovativo di concepire il monitoraggio del territorio non si pone in contrapposizione o sostituzione rispetto a quelli tradizionali, bensì costituisce una nuova opportunità di integrazione del quadro conoscitivo attuale.

Il reale valore dei due modelli sta nella loro integrazione: unire la disponibilità di modelli digitali ad alta risoluzione e alta densità informativa con dati provenienti dal territorio, diffusi e in *real time* offre infinite possibilità di utilizzo in numerosi ambiti (energetico, del monitoraggio ambientale, della mobilità, sanitario, civile, della sicurezza, e altri).

Il city model usato nella tesi

Nell'ambito del progetto di tesi ho creato il *city model* dell'area di studio unendo i dati della nuvola di punti 3D acquisiti con tecnologia laser (LiDAR avionico), con immagini ad alta risoluzione nella banda dell'infrarosso vicino (ortofoto), acquisite durante lo stesso volo. Il modello è servito a determinare la quota parte di vegetazione arborea presente nell'area di studio; come verrà spiegato successivamente, sono stati utilizzati i dati del rilievo LiDAR per determinare l'altezza degli alberi e quelli dell'ortofoto per distinguere le aree coperte da vegetazione dalle aree edificate (indice NDVI)

3. FUNZIONI E BENEFICI DEL VERDE URBANO

Vengono trattati in sintesi i principali effetti prodotti dalla presenza del verde in ambito urbano. Sono analizzati con maggior dettaglio i benefici legati alla sfera climatico-ambientale (servizi ecosistemici) perché pertinenti con l'oggetto della tesi, ma non mancano i riferimenti agli altri aspetti positivi, non meno importanti, come quelli afferenti alla sfera sanitaria, sociale, culturale ed economica.

3.1 Servizi ecosistemici

Con l'espressione "servizi ecosistemici" si intendono gli effetti prodotti da sistemi naturali che determinano ricadute positive per la qualità dell'ambiente, della vita delle persone e per l'economia. Il termine è legato al tema della contabilità ambientale e al tentativo di quantificare, anche in termini monetari, quei servizi naturali che pur essendo socialmente utili non vengono conteggiati in ambito economico. (Boyd e Banzhaf, 2007). Si tratta di un ampio filone di ricerca multidisciplinare che unisce le scienze ecologiche a quelle economiche.

I risultati del lavoro di ricerca presentati nei capitoli successivi della tesi quantificano i benefici prodotti dal verde arboreo di un quartiere della città di Padova, in termini di rimozione degli inquinanti atmosferici. In questo caso i benefici ambientali generati non vengono quantificati in termini monetari, ma vengono messi in luce e quantificati. Per completezza va aggiunto che il modello matematico utilizzato per l'elaborazione fornisce tra i risultati in output anche la quantificazione dei benefici in termini monetari (in dollari USA); tuttavia l'informazione non è stata utilizzata non ritenendola significativa per il contesto italiano.

Un prospetto di sintesi dettagliato dei servizi ecosistemici, riportato nella tabella seguente, è stato predisposto nell'ambito di un progetto realizzato per stimare il valore economico dei servizi forniti da 16 tipologie di biomi identificate a livello globale¹⁰. (Costanza *et al.*, 1997)

¹⁰ la ricerca ha stimato per ciascun bioma il valore economico unitario (dollari per ettaro per anno); stimando le superfici complessive dei biomi, ha determinato il valore economico dei servizi ecosistemici dell'intero pianeta (valore medio annuale di 33 mila miliardi di dollari)

Eco service	Eco functions	Examples
Gas regulation	Regulation of atmospheric chemical composition	CO ₂ /O ₂ balance, O ₃ for UVB protection, and SO _x levels
Climate regulation	Regulation of global temperature, precipitation, and other biologically mediated climatic processes at global or local levels.	Greenhouse gas regulation, DMS production affecting cloud formation
Disturbance regulation	Capacitance, damping and integrity of ecosystem response to environmental fluctuations	Storm protection, flood control, drought recovery and other aspects of habitat response to environmental variability mainly controlled by vegetation structure
Water regulation	Regulation of hydrological flows	Provisioning of water for agricultural (irrigation) or industrial processes or transportation.
Water supply	Storage and retention of water	Provisioning of water by watersheds, reservoirs and aquifers
Erosion control and sediment retention	Retention of soil within an ecosystem	Prevention of loss of soil by wind, runoff, or other removal processes, storage of silt in lakes and wetlands
Soil formation	Soil formation processes	Weathering of rock and the accumulation of organic material
Nutrient cycling	Storage, internal cycling, processing and acquisition of nutrients.	Nitrogen fixation, N, P and other elemental or nutrient cycles.
Waste treatment	Recovery of mobile nutrients and removal or breakdown of excess nutrients and compounds.	Waste treatment, pollution control, detoxification.
Pollination	Movement of floral gametes.	Provisioning of pollinators for the reproduction of plant populations.
Biological control	Trophic-dynamic regulations of populations	Keystone predator control of prey species, reduction of herbivory by top predators.
Refugia	Habitat for resident and transient populations	Nurseries, habitat for migratory species, regional habitats for locally harvested species
Food production	That portion of gross primary production extractable as food.	Production of fish, game, crops, nuts, fruits by hunting, gathering, subsistence farming or fishing.
Raw materials	That portion of gross primary production extractable as raw materials.	The production of lumber, fuel or fodder.
Genetic resources	Sources of unique biological materials and products.	Medicine, products for materials science, genes for resistance to plant pathogens and crop pests
Recreation	Providing opportunities for recreational activities	Eco-tourism, sport fishing, and other outdoor recreational activities.
Cultural	Providing opportunities for non-commercial uses.	Aesthetic, artistic, educational, spiritual, and/or scientific values of ecosystems.

In riferimento al contesto urbano, non tutti i servizi elencati nella tabella sono ugualmente pertinenti e riscontrabili; a livello di microscala e con la componente vegetazionale scarsamente rappresentata come succede spesso in ambito urbano, alcuni servizi risultano più significativi di altri.

E' importante sottolineare che con il termine Verde Urbano si accorpano molte tipologie di verde, caratterizzate da strutture, forme e valore ecologico diversi.

In un contesto urbano il verde può essere costituito da elementi ad alto valore naturalistico ed ecologico, come per esempio i parchi contenenti delle aree naturali, le superfici a foresta seppur limitate, i giardini privati di particolare pregio, i viali alberati in grado di contribuire alla formazione della rete ecologica. Tra le tipologie di verde urbano di valore ecologico inferiore vi sono i giardini pubblici e privati, il verde sportivo e quello stradale, gli orti urbani e i campi residui. Ogni tipologia di verde svolge la sua funzione, anche più di una, all'interno del sistema urbano.

La vegetazione costituisce l'anello di congiunzione tra diversi comparti e risorse ambientali, quali il suolo, l'atmosfera e le acque, e come tale essa gioca un ruolo fondamentale all'interno dei cicli biogeochimici del carbonio e dell'acqua.

3.1.1 Miglioramento delle condizioni microclimatiche

E' dimostrato che in un contesto urbano le aree con presenza di alberi e aree verdi possono presentare, rispetto alle zone prive di vegetazione, differenze di temperatura fino a 3 gradi centigradi (progetto GRaBS¹¹).

A livello di mesoscala (qualche decina di chilometri quadrati) la differenza di temperatura tra le zone urbane con scarsa presenza di vegetazione e le aree limitrofe (periurbane) con una copertura arborea maggiore può raggiungere i 5°C.

L'umidità è influenzata dalla presenza di vegetazione che attraverso il processo di evapotraspirazione, rilascia in atmosfera vapore acqueo in grado di abbassare la temperatura dell'aria.

Gli effetti a livello di microscala hanno importanti ripercussioni sulla salute e sul benessere degli individui che abitano la città, sul dispendio di risorse naturali ed economiche, sullo stato delle componenti ambientali, biotiche ed abiotiche, sulle azioni di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

E' noto il fenomeno "isola di calore" (*urban heat island*) che, a causa del significativo aumento della temperatura dell'aria nel centro urbano rispetto alle aree periurbane e rurali, determina un cambiamento del

¹¹ Progetto GRaBS <http://www.grabs-eu.org/>

microclima con anomalie di circolazione delle masse d'aria. I materiali impiegati nelle città per la costruzione degli edifici, delle pavimentazioni e delle coperture assorbono la radiazione solare incidente accumulando negli strati dell'aria prossimi al suolo grandi quantità di calore che viene rilasciato durante le ore notturne, determinando pesanti ripercussioni sulla salute dei soggetti più sensibili che non riescono a riequilibrare il loro stato fisico. Le superfici vegetate, al contrario, assorbono solo in parte la radiazione solare per svolgere i processi di biosintesi; il resto viene subito restituito all'atmosfera sotto forma di radiazione riflessa, o trasmessa al suolo sottostante. Anche di notte la vegetazione esercita un'azione mitigatrice sulla temperatura, dato che con il processo di evapotraspirazione rilascia nell'atmosfera vapore acqueo che modifica l'umidità dell'aria.

I risultati di una sperimentazione condotta a Manchester durante i mesi estivi del 2009 e 2010 (Armson *et al.*, 2012) dimostrano il notevole contributo delle superfici a prato e degli alberi al contenimento del fenomeno dell'isola di calore nei mesi caldi. Nonostante entrambe le tipologie di superfici siano in grado di provocare un raffreddamento dell'aria con evidenti effetti positivi sulle temperature, la superficie a prato mostra un effetto limitato su scala locale e non incide sul miglioramento delle condizioni di comfort, come invece può fare un albero con l'effetto di ombreggiamento.

3.1.2 Risparmio energetico

Gli alberi urbani, se posizionati adeguatamente rispetto al costruito, possono agire in modo efficace sul risparmio energetico degli edifici e determinare di conseguenza un minor consumo di risorse naturali ed emissioni di anidride carbonica (e inquinanti) in atmosfera.

In primo luogo vi è l'azione di ombreggiamento della chioma, che intercetta la radiazione solare incidente limitando l'energia assorbita dalle pareti degli edifici. Per massimizzare i benefici, è importante, ove possibile, scegliere specie arboree adeguate, preferibilmente a foglia caduca per evitare di schermare la radiazione durante i mesi freddi, periodo in cui l'apporto energetico solare è gradito, e valutare la localizzazione dei soggetti arborei tenendo conto dell'irraggiamento solare nelle diverse stagioni. La presenza di vegetazione arborea nei pressi delle pareti esposte a est e ovest può contribuire a limitare l'aumento della temperatura interna degli edifici nella stagione estiva, con ripercussioni positive sui consumi energetici per il condizionamento. Nella stagione invernale, tuttavia, l'azione schermante della vegetazione posta nelle direzioni est e sud limita l'effetto termico solare che contribuisce a ridurre i costi per il riscaldamento.

La vegetazione arborea costituisce, inoltre, una protezione naturale dall'effetto delle masse d'aria fredda che, infiltrandosi negli edifici

scarsamente isolati, possono determinare un abbassamento della temperatura dell'aria interna. Poiché la velocità di infiltrazione dell'aria è proporzionale alla velocità del vento, la presenza di masse vegetali ostacola l'impatto dell'aria con le superfici edificate (effetto *windbreaks*), riducendo il volume di aria infiltrata fino al 50% con un conseguente risparmio economico sulla spesa per il riscaldamento di circa il 10%. Non trascurabili sono inoltre le perdite di calore per conduzione negli edifici non isolati; l'azione del vento sulle superfici dei materiali conduttori, come ad esempio le vetrate, aumenta il gradiente termico tra l'ambiente interno e l'esterno, provocando un aumento del consumo energetico.

3.1.3 Sequestro della CO₂

La vegetazione attua il processo di sintesi del carbonio, per la crescita della biomassa e lo svolgimento dei processi fisiologici, utilizzando l'anidride carbonica presente nell'atmosfera.

Questo servizio ambientale è oggetto da decenni di ricerche a livello mondiale per la sua rilevanza negli studi sui cambiamenti climatici.

In ambiente urbano il contributo della vegetazione al sequestro della CO₂ è molto limitato a causa delle dimensioni contenute dei popolamenti arborei cittadini. Inoltre, considerando le emissioni generate dalle operazioni di messa a dimora dei soggetti arborei, di manutenzione ordinaria e di decomposizione dei residui vegetali prodotti, si può affermare che il beneficio complessivo è pressoché nullo.

Il contributo indiretto della vegetazione alla riduzione del gas serra, in termini di mancate emissioni di CO₂, è invece più significativo. Nowak sostiene che l'azione di un albero localizzato correttamente nelle vicinanze di un edificio, può esercitare un'azione climatica positiva tale da ridurre il consumo energetico evitando l'emissione di una quantità di CO₂ pari a 4 volte quella accumulata dall'albero durante il suo ciclo vitale. (Nowak, 1994)

3.1.4 Miglioramento della qualità dell'aria

Come verrà spiegato in modo approfondito nella Parte II del presente lavoro, la presenza di vegetazione ha effetti positivi sulla qualità dell'aria: le specie arboree e arbustive sono in grado di rimuovere dall'atmosfera alcune sostanze dannose per l'uomo e l'ambiente.

I gas inquinanti vengono sequestrati dalle piante attraverso il processo di assorbimento che avviene sulla superficie fogliare per opera degli stomi.

Le polveri sottili, invece, si depositano sulle superfici fogliari e vengono successivamente dilavate dalle precipitazioni raggiungendo il suolo. La maggior parte delle polveri viene intercettata dalla chioma degli alberi;

il rallentamento della velocità delle masse d'aria vicino e all'interno della chioma e la formazione di microturbolenze agevolano il processo di deposizione delle polveri sui rami e sulle foglie.

L'azione di filtro atmosferico esercitata dagli alberi nei confronti delle polveri è particolarmente impiegata nelle barriere vegetali utilizzate per minimizzare l'impatto atmosferico di fonti emissive stradali. In tali casi è importante considerare densità e struttura dei popolamenti arborei e prevedere strutture pluristratificate, ossia composti da livelli di vegetazione erbacea, arbustiva e arborea.

La presenza di aree vegetate attorno ai centri urbani (*green belt*), mostra effetti ambientali positivi in termini di miglioramento della qualità dell'aria e di abbattimento dell'inquinamento acustico generati dal traffico veicolare e dalle attività antropiche. I risultati di una ricerca (Islam *et al*, 2012) evidenziano una correlazione positiva tra lo stato della vegetazione della cintura verde, in particolare la densità della chioma, e la capacità di rimozione delle polveri totali dall'atmosfera, che nel caso studio in esame raggiunge il 65%.

3.1.5 Riduzione del run-off superficiale delle acque

Eventi alluvionali rilevanti che interessano i centri urbani italiani ed europei sono ormai diventati usuali e "attesi" con l'arrivo dei periodi caratterizzati da intense precipitazioni.

Le cause del fenomeno sono diverse a seconda del contesto territoriale, tuttavia si può affermare che l'aumento di superficie impermeabile e la distruzione dei sistemi di protezione naturale, come le aree vegetate e gli alvei naturali dei fiumi, hanno giocato un ruolo determinante nel peggioramento degli effetti generati da eccezionali precipitazioni.

La riduzione della capacità del suolo di assorbire le acque meteoriche genera un aumento del ruscellamento superficiale (*run-off*) che genera effetti negativi sia in termini quantitativi (sovraccarico delle reti fognarie e degli impianti di depurazione e allagamenti urbani), sia qualitativi (dilavamento delle superfici e dei terreni).

La componente vegetale agisce da elemento riequilibrante il ciclo idrologico, intervenendo sia sulle caratteristiche fisiche del suolo (aumento della porosità grazie all'azione delle radici), che sui tempi di deflusso delle acque (intercettazione delle acque di pioggia ad opera della chioma e della copertura superficiale con materiali naturali).

3.1.6 Mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici

Nella prospettiva di un'evoluzione climatica come quella definita dagli studi del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), gruppo intergovernativo di esperti afferenti a due organismi delle Nazioni Unite (WMO e UNEP), le città si troveranno sempre più spesso a dover fronteggiare e gestire situazioni critiche generate dagli eventi

meteo climatici. L'impatto di questo scenario è aggravato dal fatto che nei centri urbani si concentra la maggior parte della popolazione.

In questa prospettiva diventa importante tutelare e valorizzare il patrimonio verde per poter usufruire dei benefici forniti in termini di mitigazione degli effetti negativi e di adattamento alle mutate condizioni ambientali (Gill *et al.*, 2007)

La vegetazione, infatti, sequestrando l'anidride carbonica dall'atmosfera determina un abbassamento della concentrazione in aria dei gas ad effetto serra, con conseguente rallentamento del processo di riscaldamento del pianeta (mitigazione). A livello di microscala la presenza di aree verdi e copertura arborea esercita sugli individui un'azione positiva, sia minimizzando gli effetti reali delle condizioni estreme (isole di calore, allagamenti, siccità, qualità dell'aria), sia dal punto di vista della percezione.

Richiamando uno dei concetti definiti sopra, c'è chi sostiene che le città intelligenti (*smart cities*) sono quelle che affrontano i problemi connessi ai cambiamenti climatici adottando sistemi di adattamento, meglio se basati su un approccio di tipo ecosistemico ¹².

Le città che si adattano ai cambiamenti climatici sono *smart!*

Un recente filone di ricerca europeo punta sul ruolo degli ecosistemi e della vegetazione per l'adozione di misure efficaci ed efficienti di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici (*Ecosystem Based Approach*). In tale contesto il verde assume maggior valore e importanza funzionale se organizzato in una infrastruttura continua e multifunzionale (*green infrastructure*), come evidenziato nel Capitolo 2.

Ho approfondito questo tema svolgendo uno studio esplorativo che ha previsto l'analisi di 33 casi studio in ambito europeo, mettendo in evidenza le connessioni tra le caratteristiche dei progetti e i fattori di successo delle iniziative di adattamento. I risultati dell'analisi sono stati presentati alla conferenza "Il clima cambia le città" di Venezia a maggio 2013¹³.

3.2 Benefici psicologici e sociali

Numerosi studi e ricerche hanno evidenziato il valore sociale delle aree verdi e dei parchi urbani, in grado di offrire un contesto ambientale piacevole e salubre dove praticare attività sportive, ricreative in senso generale e dove incontrare altre persone (Semenzato e Agrimi, 2009).

L'importanza delle piccole aree verdi pubbliche

¹² <http://www.professionearchitetto.it/mostre/notizie/17467/Citta-Adattive-un-nuovo-concetto-di-smart-city>

¹³ Rebeschini S. "Verde urbano e azioni di adattamento ai cambiamenti climatici: fattori di successo nelle città europee" in Atti della conferenza "Il clima cambia le città" a cura di Francesco Musco, Edoardo Zanchini (2013), Corila, Venezia. ISBN 9788889405253 e-book <http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/ebook.pdf>

Con la progressiva urbanizzazione e riduzione del numero di parchi urbani di grandi dimensioni, diventa più difficile per i cittadini raggiungere con frequenza abituale questi luoghi così preziosi per il mantenimento del benessere psico-fisico. In tale scenario assumono, quindi, rilevanza dal punto di vista sociale le piccole aree verdi pubbliche (SPUGS – *Small Public Urban Green Spaces*), accessibili e fruibili giornalmente da chi desidera trascorrere del tempo all'aria aperta (Peschardt *et.al*, 2012). Il bisogno dei cittadini di mantenere rapporti sociali e la necessità di disporre di uno spazio aperto facilmente raggiungibile per il riposo e il relax, possono essere soddisfatti dalla presenza di aree di questo tipo. Pertanto è necessario tenerne conto in fase di pianificazione urbana e di definizione delle politiche d'uso del territorio.

Attività fisica all'aperto

Tra le funzioni sociali del verde pubblico urbano vi è anche la promozione dell'attività fisica all'aperto e il conseguente effetto positivo sulla salute. Non tutti concordano, tuttavia, sulla universalità della relazione tra la disponibilità di aree verdi urbane e l'aumento dei livelli di attività fisica, come alcuni studi, soprattutto americani, hanno affermato in passato. Secondo una ricerca danese (Schipperijn *et al.*, 2012) esiste un'ampia diversità dei fattori strutturali delle città, oltre che una diversità di fondo tra le città americane e quelle europee; dall'indagine non risulta alcuna correlazione tra l'attività fisica all'aperto e gli indicatori relativi alle aree verdi (numero di aree verdi, distanza della più vicina, estensione), mentre emergono fattori incentivanti la presenza di sentieri pedonali e ciclabili, di aree boscate e corpi idrici, di illuminazione adeguata e vista piacevole, disponibilità di parcheggi per auto e biciclette.

Il verde urbano come strumento anti-stress

La funzione del verde urbano come strumento anti-stress è comprovata da tempo da studi di psicologia ambientale. La maggior parte dei risultati più significativi della ricerca si sono basati su indicatori soggettivi dello stato di salute, o su sperimentazioni condotte in condizioni ambientali artificiali.

Di recente sono stati prodotti nuovi risultati, a conferma delle tesi dimostrate, che hanno utilizzato metodi di misura oggettivi su persone inserite nel proprio contesto abitativo e di vita.

Indicatori soggettivi e misure strumentali

Alcuni esempi sono la rilevazione di differenti livelli di cortisolo nella saliva (ormone usato come marcatore per la rilevazione dei livelli di stress) in persone che vivono in contesti con molto verde o in totale assenza (Ward Thompson *et al.*, 2012) e la sperimentazione effettuata dall'Università di Edimburgo che ha testato l'impiego di dispositivi portabili per encefalografia (EEG) per registrare e analizzare lo stato emozionale degli individui durante una passeggiata che prevedeva, secondo percorsi e tempi prestabiliti, l'attraversamento di diverse tipologie di ambiente urbano, compreso il parco. (Aspinal *et al*, 2013). I risultati hanno confermato che durante l'attraversamento dell'area del

parco si abbassano le sensazioni di frustrazione, impegno/attenzione ed eccitazione prolungata, mentre aumenta lo stato meditativo; uscendo dalla zona del parco, invece, aumenta l'impegno e l'attenzione. Questo ribadisce l'importanza dei parchi nelle aree urbane, come elementi in cui “far riposare la mente”, recuperare momenti di calma e tranquillità emotiva¹⁴.

Dal punto di vista clinico, recenti esperienze mostrano, infine, risultati incoraggianti sull'utilizzo della *garden therapy* come contributo alla cura di pazienti affetti da disturbi/malattie collegate allo stress (stress-related illness) (Adevi e Lieberg, 2012) e sul ruolo terapeutico naturale del verde urbano nel trattamento dei disturbi dell'attenzione nei bambini (ADHD - *attention-deficit/hyperactivity disorder*) (Kuo e Faber Taylor, 2004).

Garden therapy

Altre funzioni del verde urbano ugualmente importanti ma meno significative nell'ambito del presente lavoro sono:

- **funzione estetica:** la presenza di alberi dalle diverse forme, dimensioni e colori permette di diversificare e modellare gli spazi costruiti, sia esaltando le forme architettoniche di pregio che migliorando i contesti privi di armonia.
- **funzione didattico-pedagogica:** alcuni contesti urbani possono costituire dei veri e propri “laboratori” a cielo aperto dove studenti, ma non solo, di ogni età sperimentano, verificano e accrescono il proprio patrimonio di conoscenza. Gli esempi sulle numerose opportunità formative offerte dai contesti di verde urbano sono numerose e riguardano non solo le discipline legate alle scienze biologiche e ambientali, ma anche l'ambito sociale, storico e culturale. Un caso specifico è stato oggetto della mia esperienza dottorale e viene trattato nella Parte IV, Capitolo 2 (progetto APA).
- **funzione economica:** la presenza del verde nelle aree residenziali, avendo un effetto indiscutibile sul miglioramento della qualità della vita, comporta un aumento della domanda di alloggio con accrescimento del valore immobiliare degli edifici residenziali e delle attività commerciali.
- **funzione ecologico-paesaggistica:** questo aspetto è stato approfondito nel successivo Capitolo 4 dove vengono presentati i risultati di una indagine preliminare sullo stato ecologico del paesaggio che ha portato al calcolo di diversi indicatori ecologici funzionali alla determinazione di un indice diagnostico per la valutazione dello “stato di salute” dell'area di studio.

Altre funzioni del verde urbano

¹⁴ Gretchen Reynolds (2013)

<http://well.blogs.nytimes.com/2013/03/27/easing-brain-fatigue-with-a-walk-in-the-park/>

Nuovi criteri di progettazione degli spazi urbani

La crescente consapevolezza dei numerosi servizi offerti dalla presenza di aree verdi all'interno delle città, sta spingendo i professionisti impiegati nella pianificazione e progettazione degli spazi urbani a considerare nuovi criteri di progettazione che rispecchino le esigenze di vita della società attuale e il contesto ambientale.

Secondo quanto riportato da un rinomato studio di progettazione olandese intervenuto all'evento Ecotech 2013 ¹⁵, a livello europeo è in atto la tendenza a progettare gli spazi urbani secondo le caratteristiche di:

- **multifunzionalità:** le dimensioni sempre più ridotte delle aree verdi e a scopo ricreativo nei contesti urbani, impongono di adottare soluzioni multifunzionali, flessibili, che permettano utilizzi multipli a seconda delle diverse situazioni ed esigenze (ad esempio utilizzando lo stesso spazio in modo diverso nel quotidiano e in occasione di grandi eventi cittadini, nei giorni della settimana feriali e festivi, nei momenti diversi della stessa giornata;
- **valore ambientale ed ecologico:** in previsione del progressivo sviluppo urbano e dell'aumento delle fonti di pressione ambientale, è importante sfruttare i benefici ambientali forniti dagli spazi verdi. Oltre agli effetti della vegetazione sulla qualità dell'aria, sull'abbassamento delle temperature estive e sulla diminuzione dello scorrimento superficiale dell'acqua in seguito ad eventi piovosi eccezionali, particolarmente importanti considerando lo scenario climatico futuro, va evidenziato l'effetto positivo sulla componente biologica; attraverso la riqualificazione degli spazi verdi urbani, meglio ancora se in associazione con i corsi d'acqua, si possono creare o migliorare le condizioni di vita delle specie faunistiche della zona, in particolare avifauna e specie ittiche;
- **urban farming:** il numero crescente di persone che nei decenni futuri abiterà nei centri urbani e la diminuzione progressiva di territorio disponibile a corto raggio da dedicare alla produzione alimentare, porta a riflettere sull'opportunità di dedicare lo spazio verde urbano alla coltivazione di verdura e frutta da parte degli stessi utilizzatori finali, i cittadini.
- **socialità e creatività:** considerando lo stile di vita delle persone che vivono in città, gli spazi urbani devono costituire un luogo di incontro, favorire l'aggregazione, facilitare l'inclusione sociale, costituire delle occasioni dove praticare il gioco e le attività di svago e relax.

¹⁵ intervento dello Studio Buro Sant&Co ad Ecotech, Padova settembre 2013

4. INQUADRAMENTO ECOLOGICO-PAESISTICO DELL'AREA DI STUDIO

4.1 Contesto territoriale

Il contesto territoriale di riferimento è il quartiere 2 Nord del Comune di Padova, comprendente le unità urbane di Arcella, San Bellino, San Carlo e Pontevigodarzere. Si tratta di una porzione di territorio di 6,71 km² (671 ettari) di superficie, caratterizzata dalla presenza di diverse infrastrutture di trasporto come la tramvia e strade ad alti flussi di traffico.

Il confine settentrionale corrisponde per la maggior parte con il tracciato del fiume Brenta, mentre a sud i confini del quartiere sono delimitati dalla ferrovia Milano-Venezia; il limite orientale è tracciato dall'asse viario Plebiscito-Bigolo-Manca, ad ovest dai binari della linea ferroviaria Padova-Castelfranco Veneto.

Il quartiere ha avuto un notevole sviluppo demografico a partire dal secondo dopoguerra; attualmente le sue dimensioni sono confrontabili con quelle di alcuni centri urbani del tessuto veneto. La popolazione residente nel quartiere conta 39.602 abitanti (Comune di Padova, Anagrafe della popolazione) distribuita nelle classi di età come indicato in Tab.4.1.

Età (anni)	0-14	15-29	30-64	>65
Numero abitanti	4.807	5.912	19.798	9.085
Quota percentuale	12%	15%	50%	23%

◀ **Tabella 4.1**

Popolazione residente nel
Quartiere 2 Nord al
31/12/2011

Confrontando i dati degli indicatori demografici dell'area studio con quelli relativi all'intero comune si osserva una generale corrispondenza dei valori; le differenze riguardano la minor presenza di anziani e soprattutto la maggiore incidenza di abitanti stranieri rispetto alla media comunale. Quest'ultimo indicatore è in progressivo aumento, se si considera che dal 2005 al 2010 la percentuale di stranieri è passata dal 12% al 28% (Comune di Padova, Annuario statistico 2011).

La parte di verde urbano a gestione pubblica del quartiere 2 Nord consiste principalmente nelle aree verdi, recintate e non custodite, e nelle alberature stradali. Trattandosi di un quartiere periferico, posto all'esterno delle mura cittadine, non comprende aree con verde storico, ma piuttosto aree verdi di dimensioni ridotte, di recente istituzione; il ruolo di tali spazi urbani è quello di offrire spazi di svago, socialità e

relax ai numerosi cittadini che abitano il quartiere che negli ultimi decenni è stato oggetto di numerose edificazioni e di un conseguente aumento della densità di popolazione.

Le aree verdi custodite del quartiere, recintate e con servizio di apertura e chiusura, sono elencate in Tab. 4.2

Tabella 4.2 ►

Aree verdi pubbliche custodite gestite dal Settore Verde del comune

Fonte: www.padovanet.it

Nome	Indirizzo	Superficie (m2)
Parco san Carlo	Via Piaggi	9244
Giardino Fantasia	Via Ticino	8750
Giardino Milcovich	Via J. da Montagnana	27208
Giardino Piacentino	Via Piacentino	7043
Giardino Temanza	Via Temanza	1200
Parco Fornace Morandi	Via Duprè	2000

Vi sono poi delle aree verdi non custodite, a gestione comunale, costituite da aree aperte, percorsi vita e aree gioco, che occupano una quota consistente del verde pubblico, coprendo una superficie pari ad oltre 70 mila m² (Tab. 4.3).

Tabella 4.3 ►

Aree verdi pubbliche aperte (non custodite) gestite dal Settore Verde del comune

Fonte: www.padovanet.it

Nome	Indirizzo	Superficie (m2)
Giardino Quadrifoglio	Via Guardi, del Giglio	3793
Area verde Parpaiola	Via Parpaiola	nd
Giardino dei ciliegi	Via Reni, Duprè, Morandi	21096
Lungargine Zanon	Via Zanon	-
Giardino dei Berberis	Via Favaretto	1360
Giardino Debussy	Largo Debussy	2480
Giardino del Ginko	Via Sietta	12450
Giardino dell'isola	Via Cipro	4200
Giardino Campanula	Via Lippi	3750
Giardino Corniolo	Via G.Reni	1250
Giardino dei Trifogli	Via Nicolodi	750
Giardino Centaurea	Via Pontevigodarzere	5529
Giardino delle Cicale	Via Paer, Pierobon	2100
Giardino Rustico	Via Cortivo	5850
Giardino dei Viburni	Via Pierobon	12230

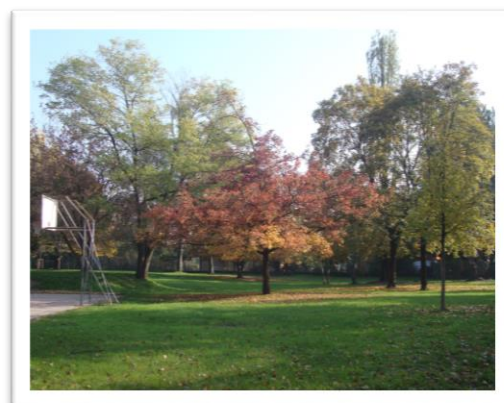
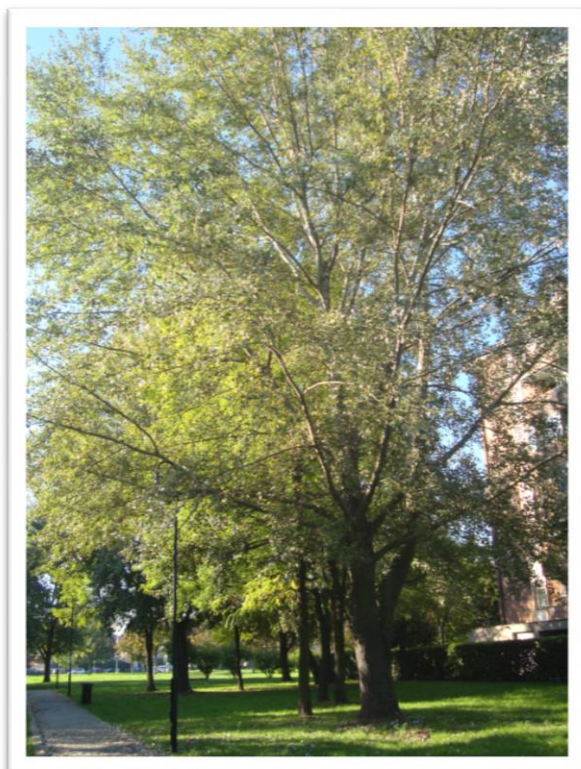
Ai due elenchi precedenti vanno aggiunte le aree verdi degli istituti scolastici di primo e secondo grado presenti nel quartiere.

Nel quartiere 2 Nord, al momento dello studio, si contano oltre 4800 alberi situati nelle aree verdi pubbliche e lungo le strade, mentre all'interno del territorio comunale sono circa 41.500, suddivisi in 11.500 lungo le strade e 30.000 nei parchi e nelle aree verdi¹⁶

Alberi pubblici	Numero
N. esemplari	41.500
N. specie arboree	110
N. alberi di età >50 anni	1.300
N. alberi di h> 18 m	1.300
Specie arboree prevalenti	
Tiglio (<i>Tilia spp.</i>)	3.000
Platano (<i>Platanus hybrida</i> Brot.)	1.000
Albero di Giuda (<i>Cercis siliquastrum</i> L.)	600
Robinia (<i>Robinia ssp.</i>)	450
Acer campestre (<i>Acer campestre</i> L.)	400

◀ **Tabella 4.4**

Informazioni principali sul popolamento arboreo pubblico nel territorio comunale di Padova



¹⁶ sito web del Comune – www.padovanet.it al 15/11/13.

4.2 Valutazione preliminare secondo la bionomia del paesaggio

Il lavoro di tesi ha come oggetto il verde urbano, con particolare riferimento alla componente arborea, ed è orientato alla sperimentazione di nuovi strumenti e tecnologie per aumentarne la base conoscitiva da utilizzare a supporto alle attività gestionali. Il tema viene affrontato seguendo criteri e procedure dall'elevato livello di rigore scientifico per assicurare, per quanto possibile, il grado massimo di affidabilità dei risultati.

Va evidenziato, tuttavia, che i risultati quantitativi sul contributo della componente arborea al miglioramento della qualità dell'aria, possono risentire della presenza di fattori ecologico-ambientali caratterizzanti l'area di studio, non considerati negli algoritmi di calcolo del modello matematico utilizzato (Parte II).

Per questo motivo ho ritenuto opportuno collocare il lavoro di ricerca e i risultati ottenuti all'interno di un quadro conoscitivo più ampio, che fornisca un inquadramento ecologico-paesistico del contesto territoriale di studio.¹⁷

Il presupposto di base dell'ecologia del paesaggio, consiste nel considerare quest'ultimo un vero e proprio livello di organizzazione biologica, avente caratteristiche proprie, secondo il principio delle proprietà emergenti, e non solo frutto della sommatoria delle caratteristiche degli elementi che lo costituiscono. Un tale approccio, quindi, non si limita ad aumentare l'ampiezza della scala territoriale di studio dei fenomeni, ma li studia in un'ottica biologico-integrata, arrivando a modificare diversi aspetti teorici che riguardano tutti i campi ecologici e definendosi come bionomia del paesaggio (Ingegnoli, 2011).

La bionomia del paesaggio si configura come modello di analisi adatto al contesto urbano, adatto quindi all'approfondimento dei temi dell'ecologia del paesaggio in un ambito in cui la presenza dell'uomo è rilevante.

Il presente capitolo effettua un'indagine preliminare delle condizioni ecologiche dell'area di studio mediante il calcolo di parametri e indici ecologici, atti a descrivere lo stato attuale del sistema. I risultati sono poi confrontati con i valori di riferimento dello stato "normale" della unità di paesaggio, per ottenere il valore dello scarto tra i valori reali e quelli teorici. Attribuendo un peso diverso a seconda dell'entità dello scarto (per classi) e componendo infine tutti gli indici ecologici

¹⁷ Tale considerazione è emersa durante l'incontro con il collegio docenti del novembre 2013; ho accolto il suggerimento di approfondire il tema con il Prof. Ingegnoli del Politecnico di Milano, incontrato il 4 dicembre 2013.

analizzati (come descritto successivamente), si ottiene un'indicazione sullo stato di salute complessivo del sistema.

Informazioni di base necessarie per la costruzione degli indicatori sono la copertura e l'uso del suolo; per la loro acquisizione sono state valutate due basi informative:

- Carta della Copertura del Suolo del Veneto (scala 1:10.000), realizzata dalla Regione tra il 2007 e il 2009 nell'ambito del progetto europeo GSE Land;
- Data Base Topografico della Regione Veneto, relativo al 2006-2007 (Carta Tecnica Regionale Numerica)

Fonti informative geografiche utilizzate per il calcolo dei parametri

Dalla prima fonte informativa si nota che più della metà del territorio oggetto di studio è caratterizzato da tessuto urbano, principalmente denso, come mostrato in Tab. 4.5

Codice	Descrizione	Ha	%
11110	Centro città con uso misto, tessuto urbano continuo molto denso	19	3.2
11200	Tessuto urbano discontinuo	0.7	0.1
11210	Tessuto urbano discontinuo denso con uso misto (Sup. Art. 50%-80%)	264	43.8
11220	Tessuto urbano discontinuo medio, principalmente residenziale (Sup. Art. 30%-50%)	34.2	5.7

◀ **Tabella 4.5**

Informazioni estratte dalla Carta della copertura del Suolo

Dall'esame dei dati contenuti nelle due fonti informative si sono rilevate delle differenziazioni legate alla tipologia di organizzazione e classificazione degli stati informativi.

Valutando le informazioni complessivamente disponibili è stata prodotta la Tab.4.6 relativa all'uso del suolo, utilizzata come base informativa per le elaborazioni successive degli indicatori ecologici. I diversi usi del suolo sono raggruppati in Insiemi (o Apparati) aventi specifiche funzioni e utilizzati nel calcolo degli indicatori.

Apparati con funzioni tipiche dell'Habitat Umano (HU):

- Residenziale (RSD): Lotti residenziali, scolastici, servizi di quartiere, strade urbane, parcheggi, are di culto, di mercato
- Sussidiario (SDS): Aree industriali, commerciali, di deposito, stazioni ferroviarie-automobilistiche, reti tecnologiche
- Produttivo (PRD): Seminativi, orti, frutteti, pioppeti, colture foraggere
- Protettivo (PRT): Siepi, filari alberati, parchi urbani, grandi giardini, boschetti residui, verde sportive, corridoi vegetati

Apparati con funzioni tipiche dell'Habitat Naturale (HN):

- Resistente (RSN): macchie di foresta matura e ogni altro elemento formato da vegetazione ad alta biopotenzialità territoriale (classi standard VI, VII)

- Resiliente (RSL): prati, arbusteti ed altri elementi a bassa biopotenzialità territoriale (classi standard I, II, III)
- Idrogeologico (HGL): elementi dominati da fiumi, canali, laghi,

Tabella 4.6 ►

Insiemi di uso del suolo
nell'area di studio

Insiemi di Uso del Suolo	Ha	%
Urbano denso (costruito)	100	14,90
Infrastrutture di servizio	103	15,35
RSD (residenziale)		30,24
Strade, tramvie, ferrovie	116	17,28
Aree industriali e simili	51	7,60
SBS (sussidiario)		24,88
Giardini privati	163	24,28
Parchi urbani e aree verdi	13	1,94
PRT (protettivo)		26,22
Prati	31,2	4,65
Aree agricole	68	10,13
PRD (produttivo)		14,78
Vegetazione ripariale	13	1,94
RSN (resistente)		1,94
Fiumi e canali	13	1,94
HGL		1,94
Quartiere 2 Nord - Padova	671	100

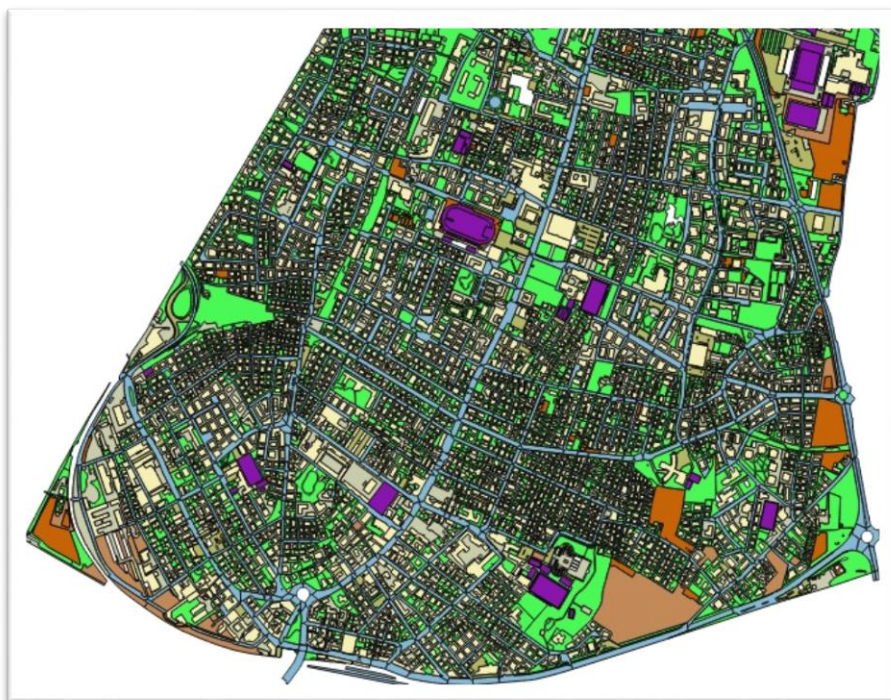


▲ **Figura 4.1**

Area di studio in (scala 1:30.000). In nero le aree densamente urbanizzate, in marrone i terreni agricoli e gli incolti

Figura 4.2 ►

Porzione sud dell'area di studio (scala 1:15.000). In verde le aree vegetate e in viola il verde sportivo

**Figura 4.3 ►**

Porzione nord dell'area di studio (scala 1:15.000). Si evidenziano il corso d'acqua, gli assi stradali e le aree agricole



4.2.1 Metodo clinico-diagnostico

La valutazione dello stato ecologico dell'Unità di Paesaggio¹⁸ (UdP) avviene mediante il confronto tra i valori degli indicatori ecologici calcolati nello studio e i valori degli stessi indicatori che esprimono condizioni di normalità in relazione al tipo di paesaggio in esame.

In altre parole le “condizioni di salute” del paesaggio vengono stabilite sulla base del rapporto tra le condizioni “patologiche” e “fisiologiche” del sistema, con un procedimento che è simile a quello utilizzato in ambito medico. (Ingegnoli, 2011).

Il paesaggio che caratterizza l'area di studio, è di tipo urbano denso, pur mostrando nella porzione nord delle aree dedicate all'uso agricolo. I valori dei parametri ecologici calcolati per la porzione di territorio analizzata sono messi a confronto con gli intervalli di normalità relativi all'UdP urbano (URB).

Ottenuti i valori dei parametri ecologici, si procede con la quantificazione dello scostamento/scarto del singolo parametro rilevato dall'intervallo di riferimento (valore medio e deviazione standard) per avere una misura della distanza dallo stato di “normalità”.

Una volta quantificato lo scarto si procede attribuendo un punteggio a seconda degli intervalli percentuali, in modo da attribuire un peso diverso in base all'entità dello scarto stesso. Gli intervalli di riferimento per l'espressione dei punteggi sono concepiti in modo tale che ad un maggiore scostamento corrisponda un valore minore.

Il risultato finale è l'indice di valutazione diagnostica (ID) dato dalla somma dei punteggi parziali (*score* o valore) diviso il valore teorico massimo (numero dei parametri stimati moltiplicato per il punteggio massimo, pari a 2).

Trattandosi di un'indagine preliminare e di inquadramento, sono stati selezionati e calcolati solamente alcuni tra gli indicatori significativi. Di seguito sono descritti singolarmente gli indici utilizzati per l'indagine, il loro significato e le modalità di calcolo dei risultati.

Scostamento %	Valore
0-10	2
10-30	1
30-60	0,5
>60	0

¹⁸ Una Unità di Paesaggio (UdP) è una parte di paesaggio distinguibile dal resto per proprietà e caratteristiche tipiche, funzionali o strutturali, con confini ben identificabili

4.3 Parametri ecologici

Per le elaborazioni dei dati geografici è stato utilizzato il software open source Quantum GIS versioni 1.8 e 2.0.1

4.3.1 Misura della connessione (CON)

Il parametro valuta l'esistenza delle condizioni di una rete ecologica mediante la misura delle connessioni tra gli elementi con vegetazione arborea e alto arbustiva all'interno di un ecosistema. Elementi di connessione sono le *patch* (parchi e giardini urbani, aree a campo o a vegetazione naturale, piccole aree verdi urbane) e i corridoi ecologici (viali alberati, corsi d'acqua e fasce vegetate); la presenza di alberature stradali, anche se non in contatto tra loro, può costituire un elemento della rete ecologica purché venga rispettata la proporzione altezza/distanza (concetto di *stepping stone*).

Per il calcolo dell'indice, il cui modello si rifà alla teoria dei grafi, vanno individuati sulla mappa i vertici (V), ossia gli elementi naturali (parchi urbani, viali alberati, giardini scolastici alberati), e i legami (L) esistenti tra questi. Poi, vanno applicate le seguenti formule (Ingegnoli, 2002):

$$(1) \gamma = L/[3(V-2)]$$

$$(2) \alpha = (L-V+1)/(2V-5)$$

Con V=numero dei vertici e L= numero dei legami

La (1) esprime la connettività di un paesaggio, mentre la (2) la circuitazione, ossia la disposizione dei legami atti a formare un circuito.

L'indice formato dalla composizione delle due grandezze $\alpha + \gamma$ esprime il livello di connessione del sistema.

CON = 0,22

Dall'esame dell'area studio (a scala 1:20.000) sono state individuati 37 vertici e 31 legami¹⁹

Calcolando il valore del rapporto L/V è possibile avere una prima indicazione sulla circuitazione del sistema; se il rapporto è inferiore a 1 essa è nulla, come accade per il caso studio (L/V= 0,83). Applicando le formule si ottiene:

$$\gamma = L/[3(V-2)] = 31/105 = 0,29$$

¹⁹Per verificare la correttezza della procedura ho ripetuto l'operazione di identificazione dei vertici e dei legami su una mappa di maggior dettaglio (1:5.000), individuando 115 vertici e 93 legami. Applicando le formule per il calcolo degli indici con V=115 e L=93 si ottiene L/V=0,79 e l'indice di connessione $\alpha + \gamma = -0,093+0,274 = 0,18$. Il nuovo valore è simile al precedente (0,22) e non determina variazioni nel calcolo finale dell'ID

$$\alpha = (L-V+1)/(2V-5) = -5/69 = -0,07$$

Sommando i due indici $\alpha + \gamma$ si ottiene il valore della Connessione ecologica che risulta pari a **0,22**.

4.3.2 Habitat umano (HU)

La distinzione tra habitat umano (HU) e naturale (HN) serve a conoscere la struttura dei processi di regolazione naturale o antropica.

L'habitat umano è l'insieme delle aree nelle quali la popolazione umana vive o che amministra in modo permanente, limitando la capacità di autoregolazione dei sistemi naturali, mentre l'habitat naturale è l'insieme delle aree in cui tale capacità non è limitata.

L'indice HU si calcola sommando il contributo dei diversi "apparati" paesistici la cui presenza è collegata alle attività antropiche. L'HU consente di misurare la presenza di funzioni ecologico-territoriali dell'habitat umano con gradazioni sulle funzioni antropiche tipiche (residenziali e sussidiarie) e le funzioni seminaturali o assimilabili (agricole, naturali, protettive). Le misure di HU consentono di definire anche il concetto di habitat standard pro-capite (HS).

Uso del suolo	%	HU'(*)	HU
Urbano denso (costruito)	14,90	100	14,90
Infrastrutture di servizio	15,35	98	15,04
RSD (residenziale)	30,24		
Strade, tramvie, ferrovie	17,28	100	17,28
Aree industriali e simili	7,60	100	7,60
SBS (sussidiario)	24,88		
Giardini privati	24,28	92	22,34
Parchi urbani e aree verdi	1,94	87	1,69
PRT (protettivo)	26,22		
Prati	4,65	75	3,49
Aree agricole	10,13	88	8,92
PRD (produttivo)	14,78		
Vegetazione ripariale	1,94	12	0,23
RSN	1,94		
Fiumi e canali	1,94	50	0,97
HGL	1,94		
Quartiere 2 Nord - Padova	100		92,45

(*) Coefficienti HU' elaborati da V. Ingegnoli, 2013



◀ **Tabella 4.7**

HU = 92,45

4.3.3 Capacità portante ($\sigma = HS/HS^*$)

La capacità portante σ (HS/HS^*) indica l'autosufficienza dell'habitat umano nelle unità di paesaggio antropizzate. Essa si calcola eseguendo dal rapporto tra due termini:

- HS: estensione dell'habitat standard pro-capite, misurato in $m^2/ab.$ o $ha/individuo$, rappresenta “la somma dei diversi contributi degli apparati paesistici alla formazione dello spazio vitale di un organismo” (Ingegnoli, 2002); HS cambia in funzione della specie considerata e del tipo di paesaggio: nel caso dell'uomo HS va riferito all'habitat umano.
- HS^* : valore ottimale di HS a seconda della fascia climatica dell'UDP; esso rappresenta lo spazio ecologico minimo (habitat pro-capite) richiesto da un individuo. Per la fascia temperata HS^* è pari a $1476 m^2/abitante$ (Ingegnoli, 2011, p.61).

$$\sigma = 0,11$$

Nel caso specifico:

$$HS (m^2/ab) = UDP (ha) \times HU (\%) / n. abitanti$$

$$671 \times 92,45 / 39000 = 1,59 = 159 m^2 \text{ per abitante}$$

Da cui

$$\sigma (HS/HS^*) = 159/1476 = \mathbf{0,11}$$

4.3.4 Biopotenzialità territoriale media (BTC)

Questo indice, misurato in $Mcal/m^2/anno$, misura il flusso di energia che un sistema ecologico deve dissipare per mantenere il suo livello di ordine e metastabilità²⁰. La BTC è una funzione della vegetazione presente nella UDP e il suo valore riflette le condizioni di metastabilità ecologica del sistema.

La BTC è espressa dall'equazione

$$BTC = 0,89 \Omega - 0,0054 \Omega^2$$

dove

$$\Omega = (a_i + b_i) R_i; \quad a_i = (R/GP)_i / (R/GP)_{max}; \quad b_i = (dS/S)_{min} / (dS/S)_i$$

con R = respirazione, GP = produttività lorda, $dS/S = R/B$ = rapporto di mantenimento della struttura, i = principali ecosistemi di vegetazione della biosfera.

Un paesaggio stabile (o metastabile) è eterogeneo con elevati valori di BTC, e l'eterogeneità può essere misurata con indici entropici o comunque riferibili alla distribuzione del mosaico di tessere in classi

²⁰ nei sistemi naturali si parla di metastabilità poiché lo stato del sistema oscilla intorno ad un attrattore relativamente stabile, ma può anche muoversi verso un altro attrattore. Per metastabilità si intende una “condizione soddisfacente di equilibrio dinamico tra i processi naturali e le azioni umane a scarso impatto ambientale”. (Ingegnoli, 2011)

standard di BTC. Un indicatore complementare è la dominanza che evidenzia la prevalenza di alcuni elementi rispetto alla eterogeneità massima.

Nel presente studio, trattandosi di una valutazione preliminare, il calcolo della BTC ha riguardato la stima del valore medio del quartiere, desumendo i dati relativi a ciascun elemento paesistico dalla letteratura.

L'intervallo di normalità dipende dalla funzione HU/BTC e per le città dense si attesta tra 0,75 e 0,90 Mcal/m²/anno.

Uso del suolo	%	BTC'	BTC
Urbano denso (costruito)	14,90	0,01	0,001
Infrastrutture di servizio	15,35	0,05	0,008
RSD (residenziale)	30,24		
Strade, tramvie, ferrovie	17,28	0,01	0,002
Aree industriali e simili	7,60	0	0
SBS (sussidiario)	24,88		
Giardini privati	24,28	1,6	0,389
Parchi urbani e aree verdi	1,94	1,8	0,035
PRT (protettivo)	26,22		
Prati	4,65	0,55	0,026
Aree agricole	10,13	0,78	0,079
PRD (produttivo)	14,78		
Vegetazione ripariale	1,94	4,1	0,079
RSN	1,94		
Fiumi e canali	1,94	0,01	0
HGL	1,94		
Quartiere 2 Nord - Padova	100		0,62

◀ **Tabella 4.8**

BTC = 0,62

(*) Coefficienti BTC' elaborati da V. Ingegnoli, 2013

4.3.5 Metastabilità generale del paesaggio (g-LM)

La metastabilità del paesaggio (LM - Landscape Metastability), è il prodotto della BTC e della Diversità paesistica τ , intesa come la misura della diversità dei tipi di elementi del paesaggio in relazione alle classi standard di BTC (Ingegnoli, 2002), espressa da

$$\tau = H (3+D)$$

Con

H = indice di Eterogeneità di Shannon (Heterogeneity);

D = indice di Dominanza

Tabella 4.9 ►

g-LM = 3,19

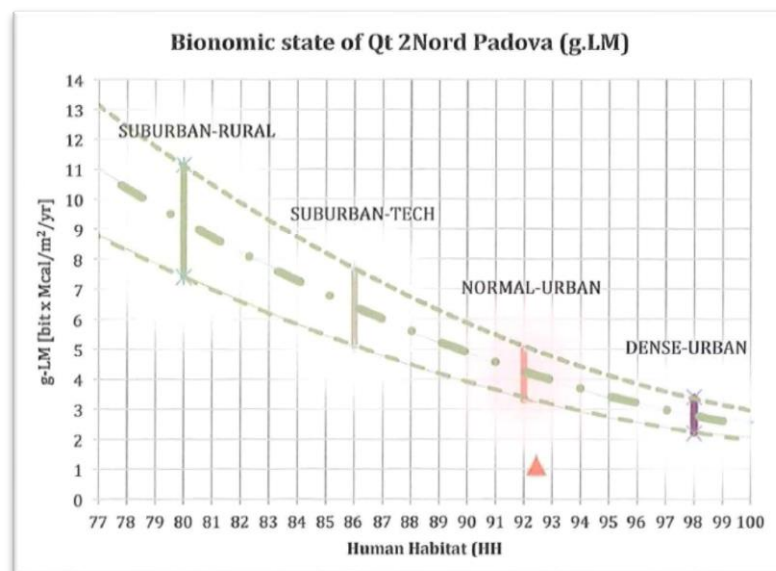
Indici	Descrizione	Valore
H	Indice Shannon	-1,490
D	Dominanza	0,456
Tau	Diversità	5,150
BTC	Biopotenzialità	0,62
g-LM	Metastabilità	3,19

La Fig. 4.4 mostra l'andamento della metastabilità generale di una unità di paesaggio (g-LM) in rapporto all'habitat umano (HH). Sono segnate anche le curve minori che indicano il *range* di tolleranza (+/- 20% dall'ottimale). Lo stato dell'UDP in esame (triangolo rosso) risulta ben lontano dalla normalità.

Figura 4.4 ►

Curva della metastabilità generale in rapporto all'habitat umano e posizionamento dell'area di studio (triangolo rosso) rispetto alla situazione di normalità

Elaborazione di V.Ingegnoli, 2013



4.3.6 Tipo di paesaggio - Landscape Types (LTpE)

Il parametro è espresso dalla formula seguente

$$LTpE = 10 \cdot \left[\frac{HNd}{HU} + BTC \cdot (A + F) \right]$$

dove

$HNd = HN - (HN \cdot d\sigma)$, con HN habitat naturale e $d\sigma$ deficit di capacità portante $(1 - \sigma)$;

$$A + F = (PRD + RSN + RSL) / 100$$

Il procedimento di calcolo e il valore finale dell'indice relativi all'area di studio sono riportati in Tab. 4.10.

Parametro	Descrizione	Valore
HN (%)	Habitat naturale (100 – HU)	7,55
dσ	Deficit di σ (1 – σ)	0,89
HNd/HU	HN – (HN * dσ)/HU	0,01
A + F	(PRD + RSN + RSL) /100	0,17 (RSL=0)
BTC * (A + F)		0,10
LTpE		1,12

◀ **Tabella 4.10**

LTpE = 1,12

4.4 Risultati

La Tab. 4.11 mostra i risultati dello stato bionomico dell'area di studio attraverso l'indice diagnostico (ID) calcolato rispetto gli scarti (%) dalla norma dei valori di massima misurabili per 10 significativi parametri ambientali.

I valori dei primi quattro parametri corrispondono ai valori percentuali di uso del suolo indicati in Tab. 4.6.

▼ **Tabella 4.11**

Parametri ecologici e indice diagnostico dell'area di studio

	Parametri ecologici	Area di studio	Norma (URB)	Scarto	Score
1	RNT, forest area (%)	1,9	4,0-8,0	-52,5	0,5
2	RSD, urbanized areas (%)	30,24	25-50	-	2
3	PRD, agricultural areas (%)	14,78	5,0-15	-	2
4	SBS, industrial & transport areas (%)	24,88	10,0-20	24,4	1
5	CON, connection ($\alpha + \gamma$)	0,22	0,50-0,65	-56	0,5
6	HU, habitat umano (%)	92,45	85-95	-	2
7	HS/HS* carrying capacity	0,11	0,1-0,5	-	2
8	BTC UdP Mcal/m ² /anno	0,62	0,40-0,90	-	2
10	g-LM, gen. Landscape metastability	3,19	3,5-6,0	-8,9	2
12	LTpE = 10 (HNd/HU)+BTC(A+F)	1,12	0,35-3,0	-	2
	Somma score				16
	Indice diagnostico (ID)		85-100		80,00

Scostamento e valori: 0-10 = 2; 10-30 = 1; 30-60 = 0,5; > 60 = 0

Complessivamente il risultato dell'indice diagnostico (ID = 80,00) appare meno critico rispetto al quadro evidenziato dal valore dell'indice di metastabilità generale (Fig.4.4). Tuttavia resta evidente una situazione di alterazione del paesaggio, confermata dal valore dell'indice

La valutazione preliminare evidenzia una situazione di alterazione

diagnostico rispetto alla soglia minima dell'intervallo di normalità (85 – 100), come espresso in tabella 4.12.

Il quartiere, infatti, è caratterizzato da un'elevata densità abitativa e di infrastrutture stradali nella maggior parte del territorio, ma anche da una quota non trascurabile di terreni agricoli e di una piccola porzione di area naturale (fiume) situate nella porzione a nord.

Tabella 4.12 ►
Valutazione diagnostica del
paesaggio in base al valore
dell'Indice Diagnostico

Pathology levels	Diagnostic Index (DI)	Diagnostic Evaluation	Physiological-pathological notes	Ecological Health & Interventions
I	0,85-1,00	Normal	Homeostatic plateau	Quite good health, only prevention
II	0,65-0,85	Alteration	Compensation needed	Instable health, some therapies & intervention
III	0,40-0,65	Dysfunction	Some physiological damages	Dysfunction, wide intervention needed
IV	0,10-0,40	Severe dysfunction	Harmful effects	High dysfunction, difficult intervention
V	<0,10	Extinction	Irreversible damages	Degenerative transformation

Per ulteriori valutazioni ecologico-paesaggistiche del verde urbano, sarebbe opportuno analizzare con un dettaglio maggiore le diverse tipologie di verde²¹ e calcolare ulteriori parametri diagnostici in aggiunta a quelli considerati nella valutazione preliminare:

- il fattore di percolazione idrica (BFF);
- la percentuale di specie vegetali esotiche o alloctone [%];
- la stratificazione della vegetazione;

La conoscenza dei parametri sopraindicati è di fondamentale importanza sia per l'attività di analisi e valutazione dello stato di salute dell'unità di paesaggio, sia per l'attività di pianificazione e progettazione di interventi futuri su parchi e giardini pubblici.

²¹ Principali tipologie di verde urbano: orti urbani, coltivi periurbani, giardini privati, verde sportivo, viali alberati, piazze verdi, giardini pubblici, piccoli parchi, grandi parchi con macchie seminaturali, boschi urbani, macchie residuali di foresta

Parte II

Valutazione del contributo degli alberi in aree pubbliche al miglioramento della qualità dell'aria

Sono descritte le attività svolte per determinare il contributo al miglioramento della qualità dell'aria fornito dagli alberi localizzati nelle aree pubbliche e lungo le strade del Quartiere 2 Nord di Padova. L'organizzazione dei capitoli riflette l'ordine temporale delle diverse fasi di lavoro: identificazione del modello e studio dell'applicativo *i-Tree Eco*, definizione delle fonti informative e integrazione dei dati mancanti mediante attività sul campo, predisposizione dei dataset, analisi e discussione dei risultati, valutazioni conclusive e identificazione di possibili fattori di miglioramento.

1. MODELLO

1.1 UFORE e i-Tree Eco

Per quantificare i benefici ambientali offerti dalla vegetazione è disponibile un modello matematico che combina i dati strutturali della vegetazione con quelli sull'inquinamento atmosferico locale e sulle condizioni meteorologiche. Lo strumento è il modello UFORE - *Urban Forest Effects*- elaborato all'inizio degli anni '90 dal Servizio Forestale del Dipartimento dell'Agricoltura statunitense (USDA); gli algoritmi si basano sui meccanismi di rimozione degli inquinanti atmosferici da parte delle piante mediante assorbimento e deposizione secca sulla superficie fogliare.

Il modello è realizzato in SAS (*Statistical Analysis Software*) e utilizza informazioni sulla vegetazione rilevate sul campo, dati meteorologici e di qualità dell'aria per determinare la struttura del verde urbano e fornire dati quantitativi su effetti ambientali correlati.

Il modello UFORE fornisce dati quantitativi sulla struttura del verde urbano (*urban forestry*) e su altri aspetti correlati ad esso utilizzando dati sulla qualità dell'aria, sulle condizioni meteorologiche e alcune informazioni rilevate sul campo. (Nowak e Crane, 2000). Il modello è in continua evoluzione e al momento attuale si compone di cinque moduli:

UFORE-A: *Anatomy of the Urban Forest* – fornisce dati quantitativi sulla struttura della foresta urbana a partire dai dati rilevati sul campo (specie presenti, densità e stato di salute degli alberi, superficie fogliare, biomassa fogliare e complessiva degli alberi)

Il modello UFORE e la sua struttura modulare

UFORE-B: *Biogenic Volatile Organic Compound (VOC) Emissions* – utilizzando i dati di campagna e quelli meteorologici, quantifica le emissioni orarie di VOC (isoprene, monoterpeni e altri) su base oraria da parte delle piante; queste sostanze rilasciate dagli alberi contribuiscono alla formazione di ozono troposferico. Il modulo, inoltre, quantifica la formazione di ozono (O_3) e di monossido di carbonio (CO), partendo dai dati di emissione dei VOC

UFORE-C: *Carbon Storage and Sequestration* – sulla base dei dati rilevati sul campo, esso calcola la quantità complessiva di carbonio immagazzinato negli alberi e la quantità di carbonio sequestrato annualmente, sia totale che al netto di quella liberata dalla pianta durante l'esercizio delle funzioni vitali.

UFORE-D: *Dry Deposition of Air Pollution* – calcola la quantità oraria di sostanze inquinanti rimosse dall'atmosfera ad opera degli alberi e il conseguente miglioramento della qualità dell'aria, in termini percentuali, nel corso di un anno. Le sostanze inquinanti considerate sono l'ozono (O_3), il biossido di zolfo (SO_2), il biossido di azoto (NO_2), il monossido di carbonio (CO) e le polveri sottili di diametro inferiori a 10 micron (PM10). I dati utilizzati in input sono quelli rilevati sul campo, i dati di qualità dell'aria e meteorologici.

UFORE-E: *Energy Conservation* – stima gli effetti degli alberi sul consumo energetico degli edifici e di conseguenza sulle emissioni di carbonio dagli impianti di produzione energetica.

L'analisi degli algoritmi di calcolo utilizzati per la determinazione dei parametri previsti nei differenti moduli non rientra tra gli obiettivi del presente studio. Inoltre, considerando la complessità e la specificità dei numerosi processi di elaborazione, si ritiene opportuno, in caso di interesse specifico, rimandare l'approfondimento del tema alla consultazione del materiale bibliografico disponibile nella sezione Resources del sito web²².

Per quanto riguarda il modulo di calcolo delle quantità di inquinanti atmosferici sequestrati dagli alberi (modulo D – *Dry Deposition*), vista la centralità del tema, ho predisposto una sintesi che illustra le principali fasi di calcolo e descrive i parametri principali (Allegato 1)

Nel tempo il modello è stato aggiornato per essere meglio adattato ai diversi contesti territoriali ed è stato inserito in uno strumento completo e articolato, la software suite *i-Tree*.

Algoritmi di calcolo: in allegato una sintesi del modulo D

La software suite i-Tree e i-Tree Eco

²² <http://www.itreetools.org/resources/index.php>

i-Tree è in continua evoluzione e fornisce un set di applicativi per l'analisi della vegetazione urbana e la valutazione dei benefici. E' uno strumento di supporto destinato a chiunque si occupi di verde urbano per migliorarne la gestione, per quantificare i servizi ambientali forniti e per valutare la struttura della vegetazione. Infatti esso comprende dei moduli distinti che si focalizzano sulle diverse funzioni ambientali del verde urbano (Hydro, Eco, Design, Vue) e su temi specifici legati alla quantificazione e gestione del patrimonio verde (Canopy, Storm, Species Selector). Lo strumento permette anche di assegnare un valore economico ai benefici prodotti e ottenere così una valutazione economica del patrimonio verde di una città che può essere paragonata ad altre realtà urbane, purché valutate con lo stesso metodo.

Il modulo indicato per gli obiettivi di studio è *i-Tree Eco*, frutto della collaborazione tra i padri ideatori del modello UFORE (Nowak e Crane del US Forest Service Northern Research Station (NRS) e McHale del SUNY College of Environmental Science and Forestry) con il Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA).

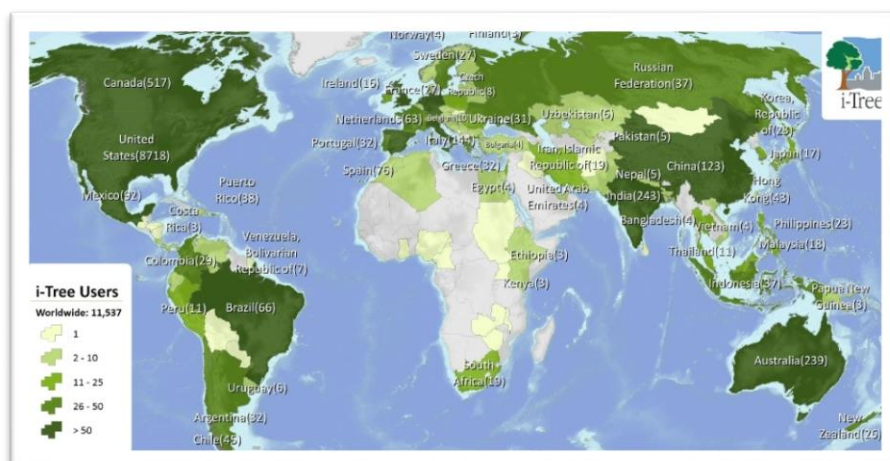
La maggior parte delle applicazioni del modello UFORE e successivamente di *i-Tree Eco* è riferita agli Stati Uniti, ma si trovano numerosi casi di studio anche in Canada, Australia, India, Brasile e Cina. A gennaio 2014 risultano implementati oltre 800 progetti per un totale di oltre 11.500 utilizzatori del modello.

Dalla mappa si osserva che in Europa, oltre all'Italia, l'utilizzo di *i-Tree* risulta assai diffuso in Inghilterra, Spagna e Olanda.

Per l'Italia si segnalano le esperienze effettuate sui parchi urbani di Milano (Siena e Buffoni, 2007), Firenze (Paoletti *et al.*, 2011) e Forlì (Buffoni *et al.*, 2008)



Applicazioni e casi studio



◀ **Figura 1.1**
Distribuzione degli utenti di *i-Tree* nel mondo (aggiornamento al 26/01/2014)

1.2 Dati in input

I processi biochimici di assorbimento e deposizione fogliare sui quali si basa il modello sono strettamente dipendenti dalla tipologia della pianta e dalle condizioni climatico-ambientali. Per l'utilizzo del modello sono pertanto richiesti dati dettagliati sulla vegetazione, sulla qualità dell'aria e meteorologici, riferiti allo stesso periodo temporale (annuale).

Metodi di campionamento: *complete inventory* e *sample inventory*

Per quanto riguarda i primi, essi vanno rilevati sul campo attraverso delle campagne di misura condotte secondo due diversi approcci: l'inventario completo (*complete inventory*) che prevede di misurare singolarmente ogni albero presente nell'area di studio, o l'inventario per campioni (*sample inventory*), adatto per analizzare vasti territori, che consente di estendere all'intera area di studio i risultati ottenuti dai campionamenti effettuati su un numero limitato di aree a diversa destinazione d'uso (*sample plots*).

I dati sulla vegetazione arborea ed arbustiva comprendono la determinazione della specie, l'altezza totale del fusto e l'altezza della base della chioma, il diametro del tronco, l'ampiezza della chioma, la percentuale di chioma mancante rispetto alla silhouette standard della specie, l'esposizione solare e il periodo vegetativo, cioè l'intervallo di tempo tra la comparsa e la caduta delle foglie. Queste informazioni consentono di determinare l'indice di area fogliare (*leaf area index*, LAI) che rappresenta il dato principale per quantificare i benefici ambientali prodotti dalla pianta.

Dati orari di qualità dell'aria e parametri meteorologici

Le informazioni sulla qualità dell'aria dell'area di studio costituiscono il punto di partenza per effettuare il bilancio degli inquinanti sottratti ed emessi dalla vegetazione. Se infatti è sempre vero che il verde urbano sottrae all'atmosfera le polveri sottili, gli ossidi di azoto e di zolfo e il monossido di carbonio, esso può in alcuni casi contribuire alla formazione di ozono troposferico a causa delle emissioni di COV (composti organici volatili, precursori dell'ozono) prodotti da alcune specie.

Qualità dell'aria e condizioni meteo sono fortemente legati tra loro ed entrambi influiscono in modo determinante sui processi biochimici delle piante. In entrambi i dataset sono richiesti valori su base oraria. Per la qualità dell'aria vengono richiesti i valori medi orari di concentrazione dei principali inquinanti (PM10, NO₂, O₃, SO₂, CO), mentre per i parametri meteorologici, oltre a quelli consueti (temperatura, umidità, precipitazioni, direzione e velocità del vento, ecc.) ne sono richiesti altri non rilevati dalle reti di monitoraggio delle ARPA (Capitolo 3).

2. RICONOSCIMENTO DEL VERDE PUBBLICO

2.1 Fonti informative

La sperimentazione condotta sul quartiere 2 Nord del comune di Padova ha riguardato l'impiego dei moduli A, B, C e D del modello; tuttavia per alcuni di essi sono stati ottenuti solo parte dei risultati previsti a causa sia delle scelte metodologiche che hanno escluso l'impiego di dati sull'uso del suolo, sia della mancanza di alcuni dati di base.

Il modello considera la vegetazione composta da alberi e arbusti e permette di registrare le misure dei rilievi di entrambe le componenti (i primi hanno un diametro del tronco maggiore di 2.54 cm misurato all'altezza di 1,30 cm da terra- *breast height*); la sperimentazione ha preso in considerazione esclusivamente i popolamenti arborei.

Tale scelta è stata dettata dalla disponibilità di dati e informazioni reperibili presso l'amministrazione comunale. Le risorse informative sul patrimonio del verde pubblico comunale, utilizzate come base di partenza per le successive fasi del lavoro, non fornivano informazioni sulla componente arbustiva.

L'impiego del modello implica che vengano predisposti alcuni dataset contenenti dati e informazioni sulla vegetazione, sulle condizioni meteorologiche (METEO) e sulla qualità dell'aria (ARIA) con riferimento all'anno dello studio.

Le informazioni sui dataset METEO e ARIA sono trattate a parte (Capitolo 3) poiché la predisposizione dei dati per l'utilizzo nel modello ha implicato diversi interventi sui dataset forniti dagli enti produttori, quali conversione, formattazione, verifica e gestione dei valori nulli o non validi.

In merito ai dati sulla vegetazione il Settore Verde, Parchi, Giardini e Arrendo Urbano del Comune, di seguito abbreviato in Settore Verde, informato sugli obiettivi della ricerca dottorale, ha fornito un dataset geografico contenente dati e informazioni sugli individui arborei presenti nelle aree pubbliche del quartiere 2 Nord. Tali informazioni sono il risultato dell'attività di censimento condotta dall'amministrazione nel corso del 2011 e 2012. Mentre per le alberature situate lungo le strade la copertura dei dati è completa per l'intero territorio comunale, per gli alberi situati nelle aree verdi risultavano censiti a settembre 2012 solamente i quartieri 2 Nord e il quartiere 5. In Tab. 2.1 si riportano le informazioni fornite dal Settore Verde e utilizzate per lo studio.

Tabella 2.1 ►

Informazioni fornite dal Settore Verde e utilizzate per lo studio

	Codice ID	Nome specie	Codice specie	Classe altezza *	Classe diametro **	Anno di impianto
Alberi in aree verdi	X	X	X	X		
Alberi stradali	X	X	X	X	X	X

(*) classi di altezza (m): 0-8, 8-18, >18

(**) classi di diametro (cm): <20, 20-40, 40-60, >60

Il Comune ha inoltre fornito il file geografico delle aree verdi pubbliche e della topografia. Tutti gli strati informativi forniti sono riferiti al sistema di riferimento di coordinate Gauss Boaga fuso Ovest.

Per l'applicazione del modello scelto sono richieste informazioni puntuali di dettaglio superiore rispetto a quelle reperite presso il Settore Verde (Tab. 2.2). E' altrettanto vero, tuttavia, che i risultati del censimento degli alberi costituiscono una base dati preziosa in termini di aggiornamento, affidabilità e capillarità territoriale. Dopo una prima analisi dei dati sulle alberature comunali, finalizzata a valutare la fattibilità dell'applicazione del modello, si è deciso di procedere con la ricerca approntando un piano di campionamento per la rilevazione dei dati integrativi sul patrimonio arboreo.

Integrazione dei dati sugli alberi: predisposizione dei rilievi sul campo

Tabella 2.2 ►

Elenco dei parametri dendrometrici richiesti in input da *i-Tree Eco*

Parametro	Descrizione
Specie	
Diametro tronco (cm)	Misura effettuata a 130 cm da terra
Altezza totale (m)	Misura dell'intero albero, da terra alla sommità
Altezza della base chioma (m)	Misura da terra al primo ramo vivo della chioma
Ampiezza della chioma (m)	Valore medio di due misure perpendicolari
Quantità di chioma morta (%)	Valore per valutare le condizioni dell'albero
Volume di chioma mancante (%)	Valore percentuale compreso tra 0 e 100
CLE (intero da 0 a 5)	Indice di esposizione della chioma alla luce solare
Localizzazione albero	Se lungo un asse stradale (Y) altrimenti (N)

2.2 Campionamento

2.2.1 Metodologia

L'attività di rilevamento dei dati dendrometrici a campo può essere condotta secondo due modalità distinte, entrambe proposte da *i-Tree*.

Nel caso si utilizzi la modalità del rilievo individuale, le misure vengono effettuate su tutti gli alberi ricadenti nell'area di studio. Un tale approccio è attuabile in contesti territoriali limitati (un parco, un giardino) o in presenza di un elevato numero di soggetti rilevatori che possono offrire il loro contributo.

Sistemi di rilievo:
inventario completo e su
aree campione

Il campionamento per aree campione, invece, si attua definendo, all'inizio del processo, delle aree di campionamento di superficie limitata all'interno dell'area studio. La scelta delle aree campione può essere effettuata con diverse metodologie: un utile riferimento è il Manuale utente dell'applicativo²³. All'interno di ciascuna area vengono rilevati per ciascun albero i dati richiesti dal modello, procedendo con le stesse modalità del rilievo individuale. Una volta acquisite tutte le informazioni relative a ciascuna area campione (*plot*), queste vengono "estese" all'intera superficie dell'area studio utilizzando le informazioni sulla copertura del suolo del territorio esaminato.

Nel presente studio è stato utilizzato un approccio "misto", nel senso che rappresenta una via di mezzo tra le due modalità descritte sopra. Questa scelta è stata operata dopo un'analisi attenta dei dati messi a disposizione dal Settore Verde del Comune. In accordo con le indicazioni fornite dal Prof. Semenzato del TeSAF (Università di Padova), si è ritenuto che tale metodologia consentisse, infatti, di sfruttare al meglio le informazioni contenute nella base dati comunale relative al censimento delle alberature nelle aree pubbliche del quartiere 2 Nord.

Caso studio: utilizzo di un
approccio "misto" per
sfruttare al meglio le
risorse informative
disponibili

E' stata esclusa fin dall'inizio, per evidenti motivi di scarsità di risorse, la strada del campionamento individuale; allo stesso modo è stata valutata non opportuna la modalità del campionamento per aree campione, in quanto, con tale approccio, non sarebbero state considerate le informazioni puntuali disponibili per la totalità degli individui arborei pubblici presenti nell'area studio.

L'amministrazione comunale, infatti, avendo completato nei primi mesi del 2012 il censimento delle alberature pubbliche del quartiere 2 Nord, disponeva di dati puntuali che, seppur non esaustivi per l'applicazione del modello, potevano essere rilevanti per tracciare un quadro più

²³ Manuale utente, versione 4.1.0 -
<http://www.itreetools.org/resources/manuals/i-Tree%20Eco%20Users%20Manual.pdf>

realistico degli alberi presenti nel quartiere rispetto all'approccio per aree campione.

Avendo a disposizione per ogni albero le indicazioni sulla specie, la classe di altezza, di diametro del tronco e sull'anno di impianto (gli ultimi due solo per gli individui stradali) è stato possibile organizzare un piano di campionamento *ad hoc*, caratterizzato da una procedura diversa da quelle standard per massimizzare l'utilizzo delle informazioni già presenti, con l'obiettivo di definire nel modo più preciso le caratteristiche degli alberi presenti nell'area studio, minimizzando gli errori.

La descrizione e il procedimento di misura dei parametri rilevati sul campo sono descritti nei paragrafi successivi; ulteriori approfondimenti sono disponibili nel manuale utente.

2.2.2 Piano di campionamento

Il campionamento è stato effettuato nel periodo agosto - novembre 2012 e ha comportato un impegno complessivo di circa un centinaio di ore/uomo.

Nella fase iniziale ho potuto contare sul supporto, fornito a titolo personale, di un dottore forestale, che mi ha istruito sulle procedure di campionamento, trasmettendomi anche preziosi consigli e indicazioni per effettuare i rilievi in modo tale da minimizzare possibili errori.

L'attività di campionamento ha riguardato 480 alberi, suddivisi in 330 nelle aree verdi e 150 lungo le strade. La scelta degli individui su cui effettuare le misure, in termini di specie e di numero, si è basata sull'analisi preliminare della distribuzione spaziale delle diverse specie e delle informazioni disponibili nella base dati del Comune.

La definizione del piano di campionamento si è basata sulla stratificazione dei dataset degli alberi (specie parchi e specie stradali) in base alle specie presenti: inizialmente si è stabilito di misurare almeno il 10% di individui per ciascuna specie, prevedendo così di arrivare a misurare circa 480 alberi in tutto (350 nelle aree verdi e 150 lungo le strade). In un primo momento non sono state prese in considerazione ai fini del campionamento le specie rappresentate nell'area di studio da un numero di individui inferiore a 20.

Con il procedere dell'attività sul campo è aumentata la conoscenza diretta del territorio e ciò ha permesso di ricalibrare il piano di campionamento sulla base di alcune considerazioni riportate di seguito:

- nell'ambito di ciascun parco/area verde gli individui della stessa specie mostravano spesso caratteristiche dimensionali simili (diametro tronco, altezza totale, ampiezza della chioma), dovute probabilmente al fatto che al momento della realizzazione dell'area verde, e quindi dell'impianto degli alberi, erano state utilizzate piante della stessa età. Questa osservazione ha permesso di limitare il numero di individui da

La progressiva conoscenza diretta del territorio ha permesso di ricalibrare il piano di campionamento per ottimizzare i risultati

misurare nel caso di popolamenti omogenei (es. individui di *Carpinus betulus* nel parco Morandi, Fig. 2.1); la scelta degli alberi da misurare per ciascuna specie si è focalizzata dunque sull'obiettivo di disporre per ciascuna area verde di dati relativi ad individui caratterizzati da dimensioni (età) diverse presenti nel parco;



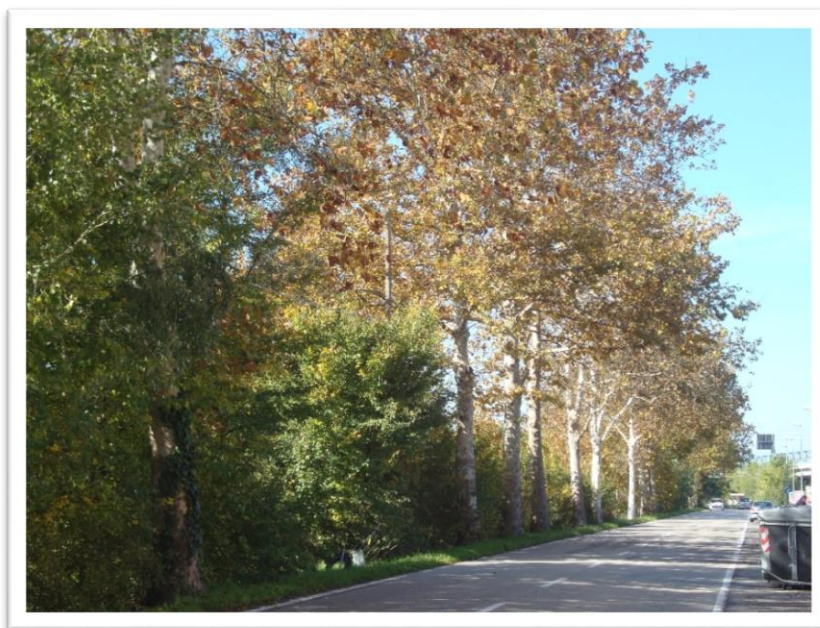
◀ **Figura 2.1**

Popolamento di *Carpinus betulus* nel Parco Morandi

- lungo le strade è frequente osservare filari di alberi della stessa specie con caratteristiche dimensionali simili. Ciò si deve al fatto che generalmente per le alberature stradali vengono selezionati alberi simili tra loro che vengono messi a dimora nello stesso periodo temporale.

Questo aspetto ha permesso di limitare il numero di individui da misurare perché molto simili tra loro (come gli esemplari di platano (*Platanus hybrida*) in Via Fornace Morandi, Fig. 2.2). Inoltre, avendo a disposizione dal dataset del Comune l'informazione sulla data di impianto, è stato possibile identificare con maggior sicurezza le successioni omogenee.

Figura 2.2 ►
Filare di *Platanus hybrida*
lungo Via Fornace Morandi



2.2.3 Registrazione dei dati

Per svolgere le attività di misura sul campo non è stato necessario utilizzare strumentazione sofisticata.

Per il rilevamento dei parametri dendrometrici ho utilizzato una cordella metrica di 20 metri per misurare la circonferenza del tronco (necessaria per calcolare il diametro) e l'ampiezza della chioma.



L'altezza totale della chioma e quella della base sono state stimate utilizzando metodi empirici come quello della triangolazione oppure mediante confronto delle dimensioni dell'albero con elementi antropici di altezza nota situati nelle vicinanze (cartelli stradali, pali della luce, edifici). Maggiori dettagli sui metodi di misura utilizzati sono riportati nelle singole schede descrittive dei parametri rilevati (§ 2.3).

Due modalità per la
registrazione dei dati:
modulo cartaceo o
applicativo web



I dati rilevati sul campo possono essere registrati secondo due modalità: annotando su modulo cartaceo le informazioni da inserire successivamente nel database, oppure utilizzando il servizio web che permette di registrare i dati di campagna e di inviarli periodicamente al server gestito dal team di *i-Tree*.

Per il lavoro di tesi ho utilizzato entrambi i sistemi, con una netta prevalenza di quello cartaceo, per testarne l'efficacia ed evidenziare punti di forza e di debolezza.

Il sistema tradizionale di annotazione dei dati sul modulo cartaceo, fornito anch'esso dall'applicativo *i-Tree Eco*, permette senza dubbio di avere durante la sessione di campionamento il quadro completo della situazione, di correggere eventuali errori prima dell'inserimento dei

dati, di annotare commenti sui singoli alberi o sul contesto, di associare a posteriori eventuali ulteriori informazioni sul singolo albero (es. codice identificativo del Comune). Tuttavia tale sistema comporta un notevole dispendio di tempo e risorse poiché richiede, a posteriori, la digitazione manuale dei dati all'interno del database. Questo aspetto è ancora più limitante nel caso in cui il rilevamento venga effettuato da più soggetti, organizzati in gruppi, che contribuiscono alla raccolta dei dati in un'ottica di partecipazione. In tal caso diventa oneroso per il coordinatore raccogliere i moduli cartacei compilati dai rilevatori e inserire a posteriori i dati nel sistema; inoltre questa modalità, rispetto all'utilizzo del servizio web, comporta la possibilità da parte del coordinatore, di introdurre errori legati all'inserimento manuale dei dati raccolti dai singoli rilevatori.

La possibilità di utilizzare uno smartphone o un tablet per la registrazione dei dati è una delle novità della versione 5.0 della software suite i-Tree. A differenza di una vera e propria *app*, questa funzionalità consiste in una pagina web accessibile dai dispositivi mobili dotati di una connessione Internet.

Utilizzando la pagina per l'inserimento dei dati, questi vengono inseriti nel database nel formato idoneo per l'elaborazione, e ciò determina un notevole risparmio di tempo. E' possibile in ogni momento visionare i dati inseriti ed effettuare eventuali modifiche.

Utilizzando alcuni browser (Chrome, Firefox, Safari) è possibile registrare i dati anche durante brevi interruzioni della connessione Internet (memoria cache), purché tale spazio di memoria venga liberato appena possibile inoltrando i dati registrati al server.

Prima di ogni sessione di campionamento sul campo, assieme al modulo di rilevamento, veniva predisposta la mappa semplificata del sito allo scopo di fornire informazioni sulla distribuzione spaziale degli alberi indicandone la specie e il codice identificativo. (Fig.2.3)

Servizio web per la registrazione mediante dispositivi mobili dei dati rilevati sul campo

Il materiale per l'esecuzione del rilievo

Figura 2.3 ►
Esempio di mappa
utilizzata durante le
attività di rilevamento



2.2.4 Opportunità del campionamento partecipato

L'attività di raccolta dei dati sulla vegetazione per l'applicazione del modello può essere molto dispendiosa in termini di tempo, anche se condotta con la metodologia del rilievo per aree campione (*plot sample*). Per questo può risultare conveniente, in alcuni contesti, coinvolgere la popolazione locale (volontari, associazioni, scuole) nell'attività di rilievo dei dati sul campo.

Il supporto dei cittadini può costituire un aspetto positivo per l'esito del progetto non solo in termini di risorse e di tempo, ma anche in termini di coinvolgimento nelle iniziative che si svolgono nella propria città o quartiere. Attraverso la partecipazione, la popolazione locale ha l'opportunità non solo di sperimentare, apprendere e ampliare la propria conoscenza, ma anche di osservare i luoghi della vita quotidiana con occhi diversi.

Attività di questo tipo favoriscono la creazione del legame tra il territorio e i cittadini i quali, giocando un ruolo attivo nel processo di conoscenza e gestione della risorsa pubblica possono diventare più consapevoli del suo valore e più attenti alla sua tutela. D'altra parte un approccio partecipativo comporta delle attività di organizzazione e coordinamento aggiuntive necessarie a garantire ai partecipanti la formazione adeguata per condurre le misure utilizzando i metodi e le procedure corrette, il supporto tecnico durante il periodo di rilevamento, la fornitura dei materiali di supporto e della eventuale strumentazione, al fine di assicurare la qualità dei risultati.

Alcune esperienze di monitoraggio partecipato per l'applicazione di *i-Tree Eco* e un'ampia documentazione di supporto per organizzare queste iniziative sono disponibili sul sito web di *i-Tree*.

2.3 Parametri misurati

I parametri della vegetazione arborea richiesti dal modello per calcolare le quantità di inquinanti atmosferici rimossi dalle piante sono riportati in Tab. 2.2. Di seguito sono illustrati singolarmente i parametri misurati. Ulteriori approfondimenti sui metodi di misura sono disponibili nel manuale d'uso di *i-Tree Eco*²⁴

2.3.1 Altezza totale e altezza della chioma viva

L'altezza totale (*Total height*) è la distanza dalla base alla sommità della pianta (viva o morta), mentre l'altezza della chioma "viva" è la distanza dalla base al punto più elevato della chioma in cui sono presenti le foglie.

Gli alberi campionati durante il rilevamento non hanno mostrato differenze per questi due parametri, pertanto è stato assegnato ad entrambi il valore relativo all'altezza totale.

L'altezza, misurata in metri, si determina con l'ipsometro, uno strumento che sfrutta i principi della trigonometria, e permette di calcolare l'altezza conoscendo la distanza del rilevatore dall'albero e l'angolo di inclinazione della linea di mira.

E' possibile tuttavia, come nel caso in esame, stimare l'altezza totale mediante confronto con riferimenti ad altezza nota. Osservando da un'opportuna distanza la proporzione tra l'altezza dell'albero e quella di una persona posta alla sua base, di un cartello stradale, di un palo dell'illuminazione o di un edificio (circa 3 metri per piano), è possibile ottenere una stima dell'altezza adeguata per lo scopo del lavoro.



²⁴ <http://www.itreetools.org/resources/manuals/i-Tree%20Eco%20Users%20Manual.pdf>



2.3.2 Altezza della base della chioma



Il parametro *base height* è la distanza dalla base della pianta al punto sul tronco perpendicolare al più basso fogliame vivo presente nell'ultimo ramo incluso nella chioma (e non dal punto in cui i rami intersecano il fusto principale)

La misura va espressa in decimetri. Si misura utilizzando la cordella metrica; in caso di altezze rilevanti si può utilizzare il metodo comparativo con soggetti o manufatti di altezza nota.

Questo parametro, assieme al precedente permette di misurare l'effettiva dimensione verticale della chioma, elemento essenziale per quantificare il processo di rimozione degli inquinanti atmosferici.





◀ Esempi di
individuazione dell'altezza
della base della chioma



2.3.3 Ampiezza della chioma

Questo parametro (*crown width*) si determina misurando le dimensioni delle ampiezze della chioma in due direzioni perpendicolari tra loro (nord-sud ed est-ovest).

Una volta individuati i punti più esterni della chioma e identificate le proiezioni della chioma al suolo, si procede misurando la distanza tra i due punti estremi utilizzando la cordella metrica oppure contando il numero di passi del rilevatore (previa “taratura” dell’ampiezza del passo).

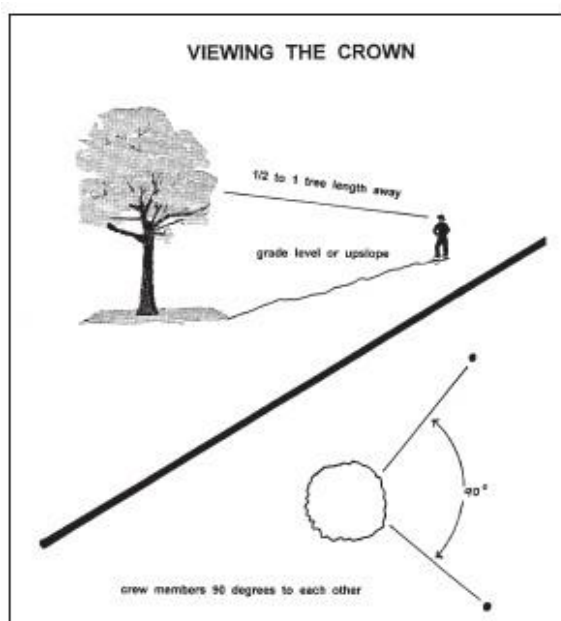
I due valori, approssimati al metro, permettono di calcolare il volume della chioma.

Nel manuale si consiglia la presenza di due campionatori posti lungo direzioni perpendicolari tra di loro, in modo da effettuare la scelta dei due diametri da misurare nel modo più opportuno.



Figura 2.4 ►

Indicazioni per la misura dell’ampiezza della chioma (immagini tratte dal manuale d’uso di *i-Tree Eco*)



2.3.4 Diametro del tronco

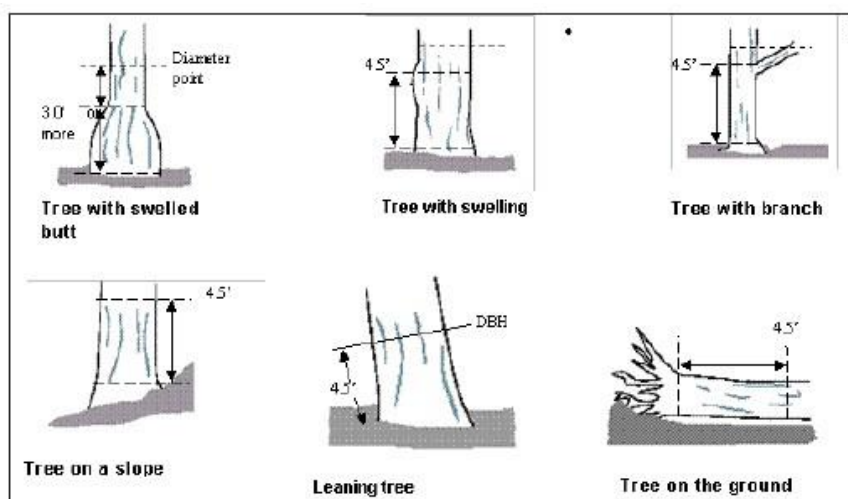
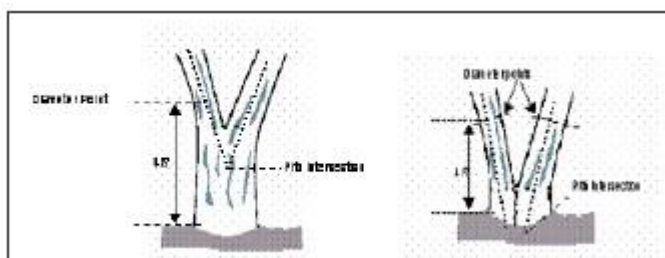
Il diametro del tronco (*DB*) va misurato all’altezza standard di 1,30 metri da terra (*breast height o BH*).

Per la misura del diametro si può utilizzare il metodo diretto, adoperando il cavalletto dendrometrico, oppure quello indiretto calcolando il parametro dalla misura della circonferenza del tronco, registrata ad altezza standard. Nel caso in esame è stato utilizzato il secondo metodo.



Nel caso di impedimenti ad effettuare la misura all'altezza opportuna, si deve scegliere il punto più vicino; se la distanza è elevata, l'altezza della misura va specificata.

Nel caso l'albero presenti più fusti (policormico), anche se l'applicazione consente di registrarne fino a sei, è stato valutato di registrare solamente la misura relativa al maggiore.



◀ **Figura 2.5**

Indicazioni per la misura del diametro del tronco. Immagini tratte dal manuale d'uso di *i-Tree Eco*

2.3.5 Percentuale di chioma mancante

La determinazione di questo parametro è relativamente complessa perché è determinata dall'osservazione visiva del rilevatore e presenta quindi un margine di soggettività che può essere limitato attraverso un'opportuna formazione iniziale e l'esperienza sul campo.

Si tratta di valutare la percentuale del volume della chioma che non è occupato da rami né da foglie. Il riferimento è la silhouette "teorica" dell'albero in base all'altezza totale, all'ampiezza e alla base della chioma, supponendo che questa abbia una forma simmetrica rispetto al centro.

Per questa rilevazione è consigliato l'impiego di due rilevatori che devono porsi perpendicolarmente tra loro (come per la determinazione dell'ampiezza della chioma).

Deve essere valutata la percentuale di fogliame assente per potatura, morte o malattia, mentre non devono essere considerati i vuoti



fisiologici dovuti all'ombreggiatura naturale e alla natura stessa della particolare specie. I valori del parametro sono espressi in percentuale.

2.3.6 Percentuale di chioma morta

Il parametro si esprime come percentuale di chioma morta sul totale della chioma; i valori vanno espressi ad intervalli del 5%.

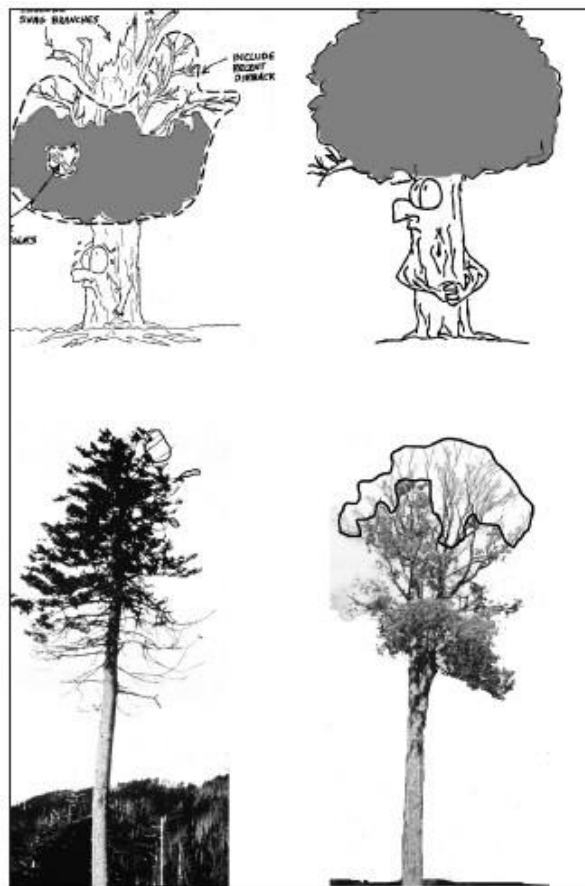
Per la valutazione si considera il perimetro della chioma, escludendo eventuali vuoti all'interno; è importante che le condizioni di illuminazione siano adeguate.

Anche in questo caso è preferibile l'impiego di due rilevatori posti perpendicolarmente tra loro per minimizzare la componente soggettiva.

Nel caso di studio a questo parametro è stato assegnato sempre il valore massimo (100%), sia perché gli alberi selezionati per il rilevamento sono risultati tutti sani, sia perché è sembrato verosimile supporre che la maggior parte degli alberi presenti nelle aree pubbliche del contesto di studio si trovi in buone condizioni di salute.

Figura 2.6 ►

Indicazioni per la misura della chioma morta. Immagini tratte dal manuale d'uso di *i-Tree Eco*



2.3.7 *Indice di illuminazione*

Il CLE (*Crown Light Exposure*) è un indice numerico intero, variabile da 0 a 5 che esprime il grado di illuminazione della pianta, contando il numero di lati dell'albero che ricevono direttamente la luce solare dall'alto, assumendo che il sole sia sulla verticale della pianta.

Per la sua determinazione si ipotizza di osservare la chioma dall'alto, di suddividerla in quattro settori e di contare quanti ricevono luce diretta quando il sole è a picco (anche la sommità è considerata una parte). Per essere conteggiata, ciascuna parte deve essere illuminata per almeno un terzo.

La scala dei valori è così suddivisa:

- 0 - l'albero non riceve luce diretta perché è coperto da altra vegetazione
- 1 - l'albero riceve luce diretta solo dall'alto o da un lato
- 2 - l'albero riceve luce diretta solo dall'alto e da un lato, oppure solo da due lati
- 3 - l'albero riceve luce diretta solo dall'alto e da due lati, oppure solo da tre lati
- 4 - l'albero riceve luce diretta dall'alto e da tre lati
- 5 - l'albero riceve luce diretta dall'alto e da quattro lati.



3. PREDISPOSIZIONE DEI DATASET

3.1 Dataset ALBERI

3.1.1 *Attribuzione dei dati al popolamento arboreo*

Una volta terminata l'attività sul campo, ho proseguito il lavoro “estendendo” i dati rilevati sul campione rappresentativo all'intero popolamento arboreo presente nelle aree pubbliche dell'area studio. Questa operazione è stata effettuata per *step* successivi, in modo da minimizzare gli inevitabili errori di approssimazione e coprire al contempo tutta l'area studio. Per questa operazione sono stati presi come riferimento i dati del censimento comunale che assegna a ciascun albero situato in un'area verde la classe di altezza (<8, 8-18, >18 metri) e a quelli situati lungo le strade anche la classe di diametro (0-20, 20-40, >40 centimetri) oltre all'anno di impianto.

Inizialmente si è operato all'interno di ciascun ambito omogeneo, identificato con un parco/area verde o con un tratto di strada.

Step I

Parchi: per ciascuna specie, sulla base degli alberi misurati, è stato calcolato per ciascuna classe di altezza *l'individuo arboreo medio* i cui parametri sono quindi il risultato della media aritmetica dei valori misurati sugli alberi di altezza appartenente ad una data classe. I dati dell'esemplare medio di ciascuna classe di altezza sono stati assegnati agli individui della stessa specie e di classe di altezza corrispondente, presenti nel parco. Nel caso sia stato campionato un solo albero di una determinata classe, sono stati utilizzati i dati del singolo albero per gli altri individui della stessa classe. Nel caso l'altezza dell'albero campionato sia pari a 18 metri e questo sia l'unico albero misurato, i valori dei parametri dell'albero campionato sono stati attribuiti agli alberi appartenenti alle classi 8-18 e >18. Quando all'interno di un parco è possibile identificare delle aree in cui gli alberi della stessa specie mostrano caratteristiche simili all'interno della singola area ma diverse in aree distinte, sono stati assegnati agli esemplari non campionati valori diversi a seconda dell'area (es. *Platanus hybrida* nell'area gioco e nei filari nel Parco Morandi).

Strade: per ciascuna specie presente in un determinato tratto stradale è stato calcolato *l'individuo medio* sulla base della classe di altezza e di diametro del tronco e i valori calcolati per ogni parametro sono stati attribuiti agli altri esemplari non misurati appartenenti alla medesima classe di altezza e diametro. Come già detto, è stato utile nella fase di identificazione degli individui simili disporre dell'informazione sulla

Parchi e aree verdi

Strade

data di impianto dell'albero, non disponibile per gli individui delle aree verdi.

Step II

Il processo descritto al punto precedente ha permesso solo parzialmente di assegnare i dati rilevati sul campo agli individui dell'intero popolamento arboreo. Per questo si è proceduto, in entrambi i contesti, con le seguenti approssimazioni:

Parchi: all'interno dello stesso parco sono stati assegnati i dati misurati o desunti nello step 1 agli alberi di specie simile nella stessa classe di altezza (es. *Tilia cordata* e *Tilia europeae* nel Parco Bramante). Nei parchi/aree verdi che non disponevano per una determinata specie di dati misurati, sono stati utilizzati dati di individui della stessa specie e classe di altezza situati in un altro sito.

Parchi e aree verdi

Strade: agli alberi che non trovano corrispondenza con individui misurati nello stesso tratto di strada, ma che per specie, classe di diametro e di altezza (e anno di impianto) si possono considerare simili a quelli campionati in altre strade del quartiere, vengono attribuiti i dati degli individui simili rilevati in altri siti.

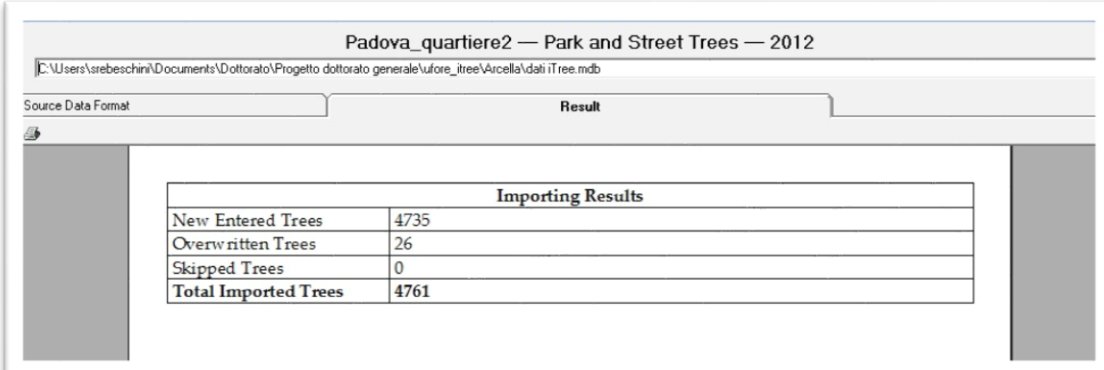
Strade

Step III

Dovendo assegnare dei dati anche alle specie poco rappresentate (numero di individui minore di 20), si è proceduto identificando per ciascuna specie quella più affine che disponeva di dati misurati o attribuendo i dati medi delle specie di ugual genere (es. *Prunus*), rispettando ove possibile le classi di altezza. Questa procedura è stata adottata sia per le aree verdi che per le strade. Nel secondo caso l'informazione sull'anno di impianto ha permesso di attribuire i dati con maggior precisione.

3.1.2 Upload dei dati

Terminato il procedimento di attribuzione dei dati dendrometrici agli alberi non visitati durante l'attività sul campo, è stato necessario investire del tempo per formattare i dati secondo le specifiche indicate dal team di *i-Tree Eco*, al fine di utilizzare la procedura automatica di upload del dataset creato nell'applicativo. Questa operazione permette di verificare eventuali non conformità dei dati inseriti e di bloccare il caricamento fino a che non vengono risolte tutte le anomalie nel dataset. Una volta che l'*upload* è andato a buon fine, il sistema restituisce un messaggio di conferma e da questo momento i dati della vegetazione sono pronti per essere utilizzati dal modello. Anche in questo caso il manuale utente fornisce tutti i dettagli necessari sul formato da utilizzare per i dati in input.



The screenshot shows the 'Padova_quartiere2 — Park and Street Trees — 2012' window in i-Tree Eco. The 'Result' tab is active, displaying the 'Importing Results' table. The table has two columns: the first column lists the type of action (New Entered Trees, Overwritten Trees, Skipped Trees, Total Imported Trees) and the second column shows the corresponding count (4735, 26, 0, 4761).

Importing Results	
New Entered Trees	4735
Overwritten Trees	26
Skipped Trees	0
Total Imported Trees	4761

Figura 3.1 Ricevuta di avvenuto upload in *i-Tree Eco*

3.2 Dataset ARIA

Qualità dell'aria e condizioni meteorologiche sono aspetti fortemente legati ed entrambi influiscono in modo determinante sui processi biochimici delle piante.

Le informazioni sul livello di concentrazione degli inquinanti atmosferici e sull'andamento dei parametri meteo climatici rappresentano il punto di riferimento iniziale dello stato ambientale sul quale agiscono i meccanismi di sottrazione degli inquinanti per opera della vegetazione.

Per quanto riguarda la qualità dell'aria il modello richiede che vengano forniti i dati di concentrazione media degli inquinanti su base oraria e non prevede la possibilità di valori mancanti.

Gli inquinanti previsti sono le polveri sottili (PM10), il biossido di azoto (NO₂), l'ozono (O₃), il biossido di zolfo (SO₂) e il monossido di carbonio (CO).

I dati sulla qualità dell'aria utilizzati per la ricerca sono stati rilevati dalla stazione di monitoraggio dell'ARPAV situata all'interno dell'area studio (Via Guido Reni, quartiere San Carlo) e si riferiscono all'anno 2011.

Poiché il dataset di origine, estratto dal Sistema Informativo Regionale Ambientale del Veneto (SIRAV) presentava dei valori invalidi, per diverse motivazioni intrinseche al procedimento di formazione del dato, ho provveduto manualmente alla loro integrazione, prendendo come riferimento i valori di concentrazione più prossimi o in alcuni casi inserendo il valore medio dei valori temporalmente più vicini. Ciò è stato possibile considerando l'esiguo numero di dati invalidi per tutti i parametri considerati (percentuale prossima al 5%); unica eccezione il parametro PM10 che presenta una percentuale più elevata.

Come anticipato nell'introduzione l'area di studio essendo caratterizzata da un'alta densità di insediamenti abitativi e di traffico

veicolare, mostra delle criticità atmosferiche per quanto riguarda i livelli di concentrazione di biossido di azoto, polveri sottili e ozono.

Year	Month	Spname	Cityname	Addr	Units	Quantity	Day	Hour
2011	1	NO2	Padova	Arcella	7	0.037	1	1
2011	1	NO2	Padova	Arcella	7	0.035	1	2
2011	1	NO2	Padova	Arcella	7	0.033	1	3
2011	1	NO2	Padova	Arcella	7	0.033	1	4

◀ **Tabella 3.1**

Esempio di formato del dataset relativo al parametro NO₂

3.3 Dataset METEO

Per quanto riguarda i dati meteorologici, anch'essi devono essere disponibili su base oraria; in aggiunta ai parametri rilevati dalle stazioni meteo dell'ARPAV (temperatura, umidità, precipitazione, direzione e velocità del vento e altri) ne sono richiesti di aggiuntivi che non vengono misurati nelle stazioni e che quindi non sono presenti nel dataset ricevuto dall'Agenzia regionale. Un elenco dettagliato dei parametri meteo necessari e del formato richiesto per l'utilizzo di i-Tree Eco è riportato nella pagina seguente.

Nonostante l'impegno profuso inizialmente per convertire, elaborare e formattare i dati meteo della stazione di Padova (Orto Botanico) e di Legnaro (più rappresentativa per i dati sulla direzione e velocità del vento) relativi all'anno 2011, è stato necessario abbandonare l'idea originaria e seguire le indicazioni del team di *iTree*: selezionare mediante l'ausilio di una mappa la stazione più vicina (*monitor ID*) all'area di studio tra quelle disponibili nel *weather database* che contiene i dati meteo di gran parte delle aree del pianeta, nel formato standard.

Nel caso in esame sono stati utilizzati i dati della stazione meteo di Venezia-Tessera (aeroporto) relativi al 2011.

Specifiche sul formato dei dati meteo richiesti per l'applicazione del modello

COLUMN DATA DESCRIPTION

01-06 USAF = AIR FORCE CATALOG STATION NUMBER

08-12 WBAN = NCDC WBAN NUMBER

14-25 YR--MODAHRMN = YEAR-MONTH-DAY-HOUR-MINUTE IN GREENWICH MEAN TIME (GMT)

27-29 DIR = WIND DIRECTION IN COMPASS DEGREES, 990 = VARIABLE, REPORTED AS '***' WHEN AIR IS CALM (SPD WILL THEN BE 000)

31-37 SPD & GUS = WIND SPEED & GUST IN MILES PER HOUR

39-41 CLG = CLOUD CEILING--LOWEST OPAQUE LAYER WITH 5/8 OR GREATER COVERAGE, IN HUNDREDS OF FEET, 722 = UNLIMITED

43-45 SKC = SKY COVER -- CLR-CLEAR, SCT-SCATTERED-1/8 TO 4/8, BKN-BROKEN-5/8 TO 7/8, OVC-OVERCAST, OBS-OBSCURED, POB-PARTIAL OBSCURATION

47-47 L = LOW CLOUD TYPE, SEE BELOW

49-49 M = MIDDLE CLOUD TYPE, SEE BELOW

51-51 H = HIGH CLOUD TYPE, SEE BELOW

53-56 VSB = VISIBILITY IN STATUTE MILES TO NEAREST TENTH

NOTE: FOR SOME STATIONS, VISIBILITY IS REPORTED ONLY UP TO A MAXIMUM OF 7 OR 10 MILES IN METAR OBSERVATIONS, BUT TO HIGHER VALUES IN SYNOPTIC OBSERVATIONS, WHICH CAUSES THE VALUES TO FLUCTUATE FROM ONE DATA RECORD TO THE NEXT. ALSO, VALUES ORIGINALLY REPORTED AS '10' MAY APPEAR AS '10.1' DUE TO DATA BEING ARCHIVED IN METRIC UNITS AND CONVERTED BACK TO ENGLISH.

58-65 WW WW WW = PRESENT WEATHER--LISTED BELOW

67-67 W = PAST WEATHER INDICATOR, SEE BELOW

69-77 TEMP & DEWP = TEMPERATURE & DEW POINT IN FAHRENHEIT

79-84 SLP = SEA LEVEL PRESSURE IN MILLIBARS TO NEAREST TENTH

86-90 ALT = ALTIMETER SETTING IN INCHES TO NEAREST HUNDREDTH

92-97 STP = STATION PRESSURE IN MILLIBARS TO NEAREST TENTH

99-101 MAX = MAXIMUM TEMPERATURE IN FAHRENHEIT (TIME PERIOD VARIES)

103-105 MIN = MINIMUM TEMPERATURE IN FAHRENHEIT (TIME PERIOD VARIES)

107-111 PCP01 = 1-HOUR LIQUID PRECIP REPORT IN INCHES AND HUNDREDTHS -- THAT IS, THE PRECIP FOR THE PRECEDING 1 HOUR PERIOD

113-117 PCP06 = 6-HOUR LIQUID PRECIP REPORT IN INCHES AND HUNDREDTHS --THAT IS, THE PRECIP FOR THE PRECEDING 6 HOUR PERIOD

119-123 PCP24 = 24-HOUR LIQUID PRECIP REPORT IN INCHES AND HUNDREDTHS THAT IS, THE PRECIP FOR THE PRECEDING 24 HOUR PERIOD

125-129 PCPXX = LIQUID PRECIP REPORT IN INCHES AND HUNDREDTHS, FOR A PERIOD OTHER THAN 1, 6, OR 24 HOURS (USUALLY FOR 12 HOUR PERIOD FOR STATIONS OUTSIDE THE U.S., AND FOR 3 HOUR PERIOD FOR THE U.S.) T = TRACE FOR ANY PRECIP FIELD

131-132 SD = SNOW DEPTH IN INCHES

4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

4.1 Indicatori della vegetazione arborea in aree pubbliche

Nelle aree verdi pubbliche a gestione comunale e lungo le strade dell'area studio risultavano presenti, al momento dell'indagine, rispettivamente 3400 e 1400 alberi, per un totale di 4800 individui.

Lo stato attuale del patrimonio arboreo pubblico del quartiere è diverso da quello di riferimento a causa delle regolari attività manutentive svolte da parte dell'amministrazione che hanno prodotto continue e inevitabili variazioni dello scenario di riferimento. Tali variazioni non costituiscono, tuttavia, un limite per la significatività dei risultati dello studio.

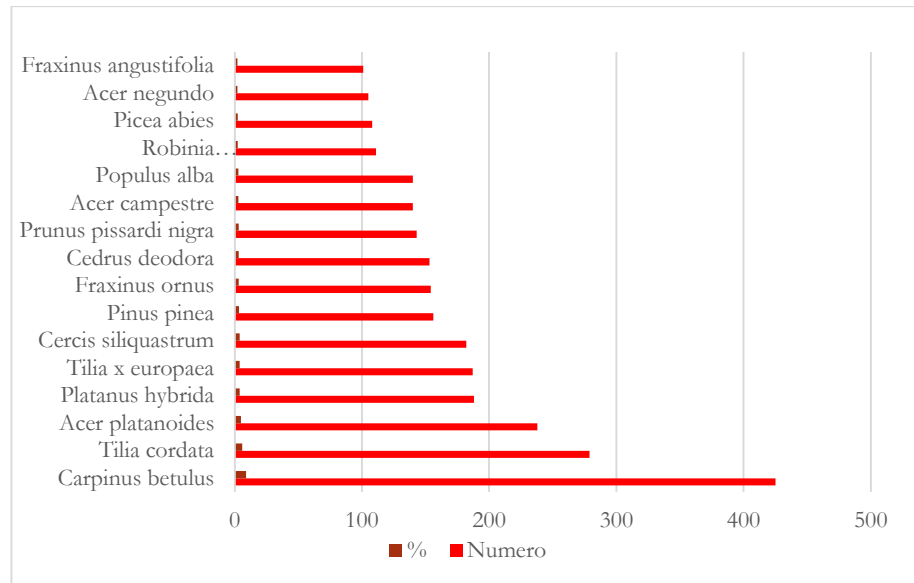
I dati presentati si riferiscono allo stato della vegetazione arborea al 2012 e si basano sui risultati del censimento comunale condotto nell'area studio dal 2010 al 2012 e sulle informazioni registrate nel SIT del Comune e messe a disposizione dal Settore Verde.

4.1.1 Numerosità

Nell'area studio si distinguono 93 specie diverse; 16 di esse contano più di 100 individui e costituiscono quasi il 60% di tutto il popolamento arboreo (2810 alberi). In Fig. 4.1 sono riportate in ordine crescente le specie più rappresentative per numero e percentuale di individui.

Si evidenzia il primato della specie *Carpinus betulus* (carpino bianco) con 425 individui, pari a quasi al 9% sul totale, presente prevalentemente nelle aree verdi; a seguire la specie *Tilia cordata* (tiglio selvatico) con un valore del 6%, localizzata soprattutto lungo le strade. Sommando i valori di *Tilia cordata* e *Tilia x europaea* (tiglio comune) si nota la netta prevalenza di questo genere sugli altri.

Figura 4.1 ►
Numero e percentuale di
esemplari delle specie che
contano più di 100 individui



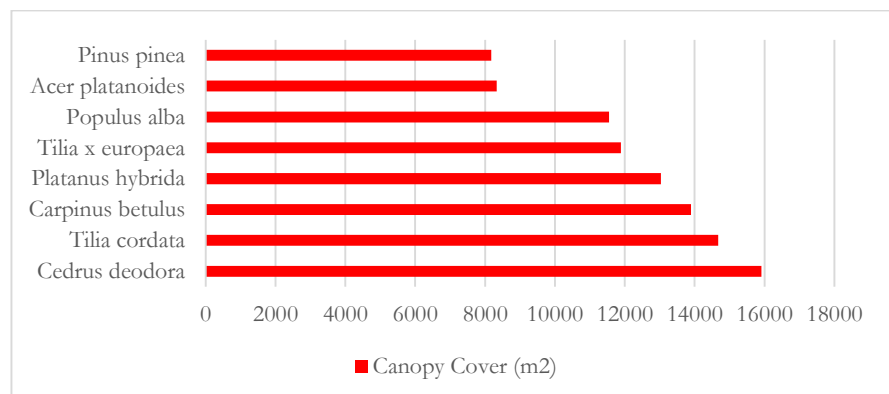
4.1.2 Superficie di suolo coperta dalla chioma (canopy cover)

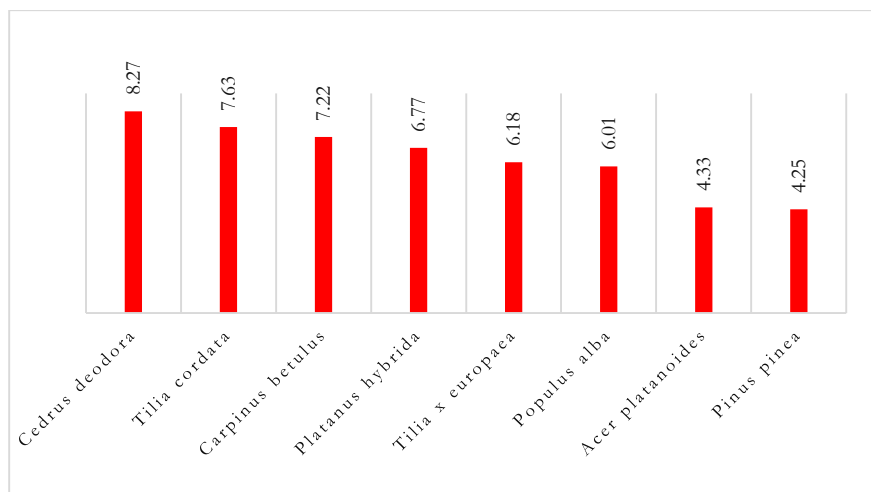
Disponendo in ordine crescente le specie più significative si osserva che le prime 8 contribuiscono per il 50% della copertura totale dell'intero popolamento arboreo (Fig. 4.2).

Questo indicatore risente sia delle dimensioni della chioma dei singoli alberi che della numerosità degli individui per specie. Si osserva che il valore massimo dell'indicatore (8,3%) è relativo al *Cedrus deodara* (cedro dell'Himalaya), (Fig. 4.2 e 4.3) situato al nono posto per numerosità (153 individui, pari al 3,2% sul totale). Questo fatto si riscontra dalla presenza nel quartiere di individui di cedro dell'Himalaya di grandi dimensioni.

In merito alle altre specie significative dal punto di vista della superficie della chioma, si nota una chiara relazione tra questo indicatore e la numerosità (Fig. 4.1).

Figura 4.2 ►
Superficie coperta dalla
chioma (m²)





◀ **Figura 4.3**

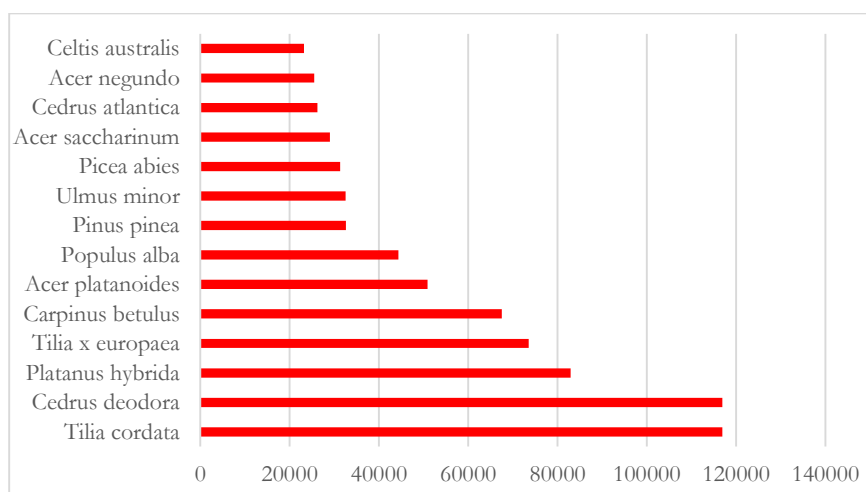
Valori percentuali della superficie coperta dalla chioma

4.1.3 Superficie fogliare (leaf area)

I risultati relativi a questo parametro sono particolarmente significativi poiché il modello matematico utilizzato per le elaborazioni si basa essenzialmente sui meccanismi chimico-fisici che interessano la superficie fogliare.

In Fig. 4.4 sono riportate le specie che, singolarmente, contribuiscono per almeno il 2% alla superficie fogliare complessiva nell'area studio. Tali specie rappresentano quasi il 70% della superficie fogliare totale, (pari a 753.654 m²).

Tilia cordata e *Cedrus deodara* sono le specie con superficie fogliare maggiore; nel primo caso incide anche il numero elevato di individui di medie/grandi dimensioni (279 pari a quasi il 6%). Nonostante il valore della copertura della chioma del cedro dell'Himalaya rispetto al tiglio selvatico sia nettamente superiore (15.908 m² rispetto a 14.670 m², differenza 1.200 m²), il valore della superficie fogliare è pressoché uguale per le due specie (116.956 e 116.936 m²).



◀ **Figura 4.4**

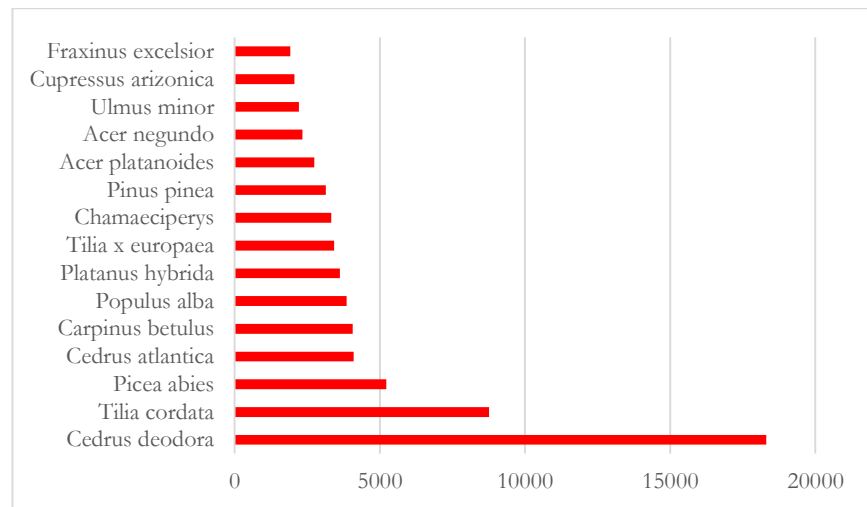
Superficie fogliare delle specie più significative (m²)

4.1.4 Biomassa fogliare (leaf biomass)

In Fig. 4.5 sono riportate le specie che, singolarmente, contribuiscono per almeno il 2% alla biomassa fogliare complessiva dell'area studio. Anche per questo indicatore *Cedrus deodara* presenta il valore più elevato (18.313 kg) corrispondente al 19.4% della biomassa fogliare complessiva del popolamento. La seconda specie è *Tilia cordata* che presenta un valore decisamente inferiore, pari quasi alla metà del primo, corrispondente a 8.760 kg (9.3%).

E' interessante notare che le prime due specie, pur presentando valori simili di superficie fogliare, mostrano valori di biomassa fogliare sensibilmente diversi.

Figura 4.5 ►
Biomassa fogliare delle
specie più significative (kg)

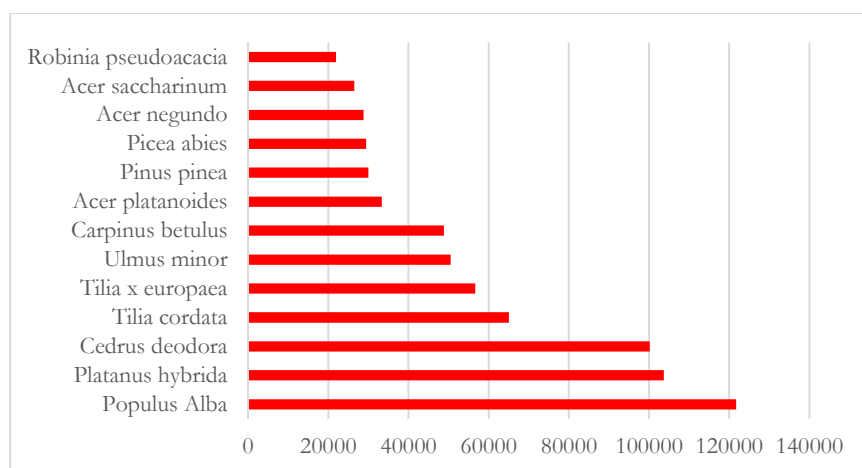


4.1.5 Contenuto di carbonio (carbon storage)

La Fig. 4.6 mostra le specie che contribuiscono singolarmente per almeno il 2% allo stock di carbonio contenuto nel popolamento arboreo dell'area di studio. Tra le specie più performanti si osservano *Populus alba* che rappresenta l'11,6% dell'intera quantità di carbonio stoccato nel popolamento e *Platanus hybrida* con il 9,8%.

Queste specie non si trovano ai primi posti delle "classifiche" degli indicatori precedenti; infatti la specie *Populus alba* è solo dodicesima per numerosità (con 140 individui), settima per superficie fogliare e sesta per copertura della chioma e biomassa fogliare, mentre *Platanus hybrida* si trova al quarto posto per numerosità.

Da evidenziare il contributo della specie *Ulmus minor*, che pur ventunesima per numerosità (75 individui, 1.58%) fornisce un contributo per lo stoccaggio del carbonio del 4,8% sul totale. In questo caso, come per i pioppi contano le grandi dimensioni degli alberi presenti.

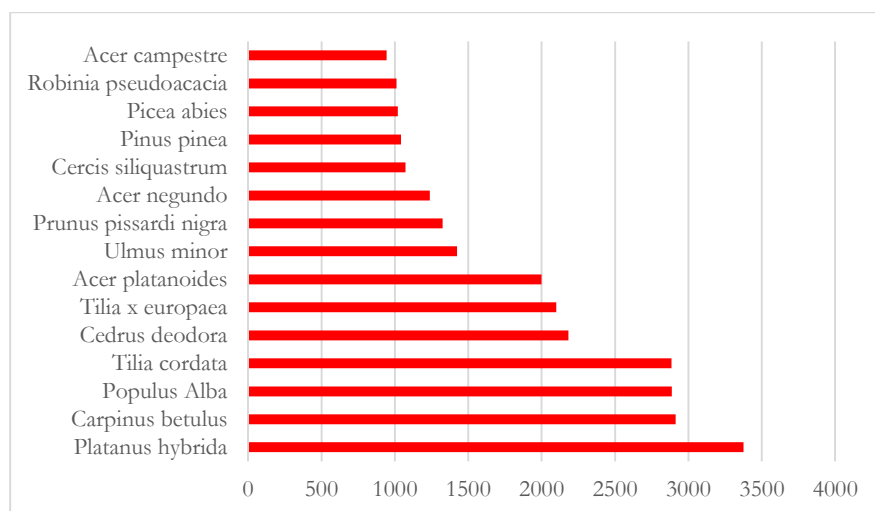


◀ **Figura 4.6**
Carbonio stoccato nelle
specie più significative (kg)

4.1.6 Sequestro di carbonio (gross carbon sequestration)

Le specie che contribuiscono singolarmente per almeno il 2% al sequestro annuale complessivo di carbonio sono rappresentate in Fig. 4.7. La specie più significativa è *Platanus hybrida* (8%), quarta specie per numerosità (188 individui, pari al 3.9%). Molto simili i valori delle tre specie successive (*Carpinus betulus*, *Populus alba* e *Tilia cordata*), intorno al 6.8%.

Come nel caso del carbonio stoccato, va evidenziato il contributo della specie *Ulmus minor* che, seppur poco rappresentata, fornisce un contributo in termini di sequestro annuale di carbonio pari al 3.4%.



◀ **Figura 4.7**
Carbonio sequestrato in un
anno da parte delle specie
più significative (kg/anno)

4.2 Specie a confronto

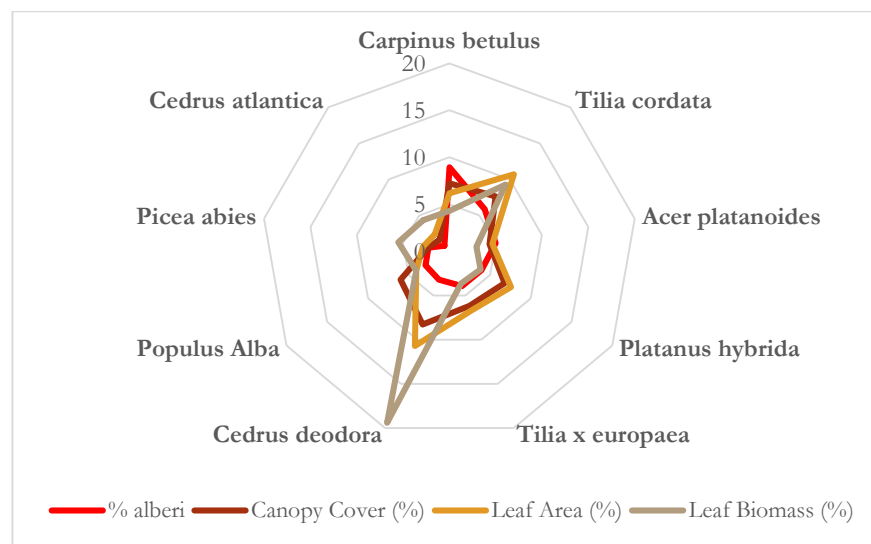
Di seguito vengono messe a confronto le caratteristiche delle specie più significative in termini di numerosità e superficie fogliare. Il tipo di rappresentazione scelta evidenzia il contributo delle diverse specie arboree alla determinazione dei valori dei singoli indicatori. Questa modalità di rappresentazione dei risultati è efficace per individuare le specie più significative nell'ambito dell'area di studio, aumentando il livello di conoscenza della componente arborea pubblica, utile per successive considerazioni di tipo ambientale e gestionale.

Le Fig. 4.8 e 4.9 mostrano in termini percentuali la rilevanza di alcune specie rispetto ad alcuni parametri elaborati dal modello matematico e descritti in precedenza.

Si nota che *Cedrus deodara* e *Tilia Cordata* rappresentano le specie più significative in termini di superficie e biomassa fogliare, mentre *Populus alba* e *Platanus hybrida* sono le specie più rilevanti per quanto concerne il sequestro e lo stoccaggio del carbonio.

E' importante evidenziare che le considerazioni sui risultati ottenuti dall'applicazione del modello sono riferite al contesto di studio e pertanto, essendo dipendenti dalle caratteristiche peculiari del popolamento arboreo considerato, hanno significato solamente nell'ambito del contesto territoriale analizzato.

Figura 4.8 ►
Rilevanza, in termini percentuali, degli indicatori fogliari (copertura della canopy, superficie e biomassa fogliare) riferiti alle specie arboree principali



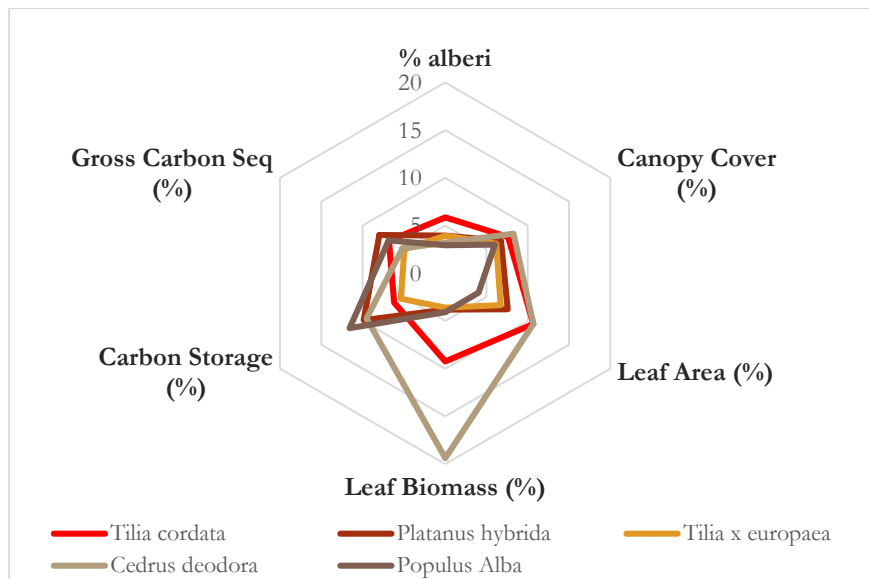


Figura 4.9
Rilevanza, in termini percentuali, degli indicatori elaborati dal modello (copertura della canopy, superficie e biomassa fogliare, carbonio stoccato e sequestrato) riferiti a 5 specie arboree

Di seguito sono evidenziati i punti di forza delle specie più significative. Nelle Figure 4.10-4.13 sono presentati i diagrammi dell'incidenza percentuale dei diversi indicatori per 4 specie arboree, scelte tra le più rappresentative del quartiere (100 rappresenta il popolamento arboreo complessivo)

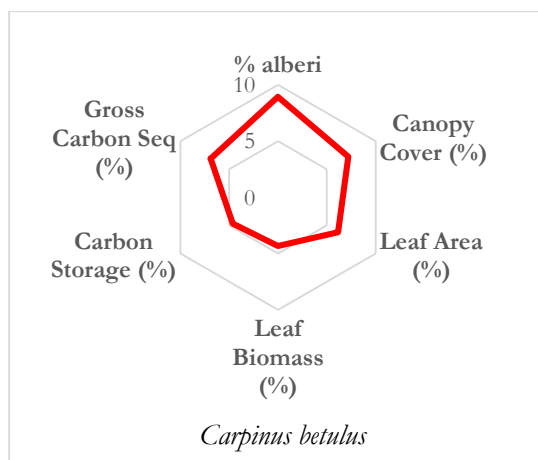


Figura 4.10 – *Carpinus betulus*

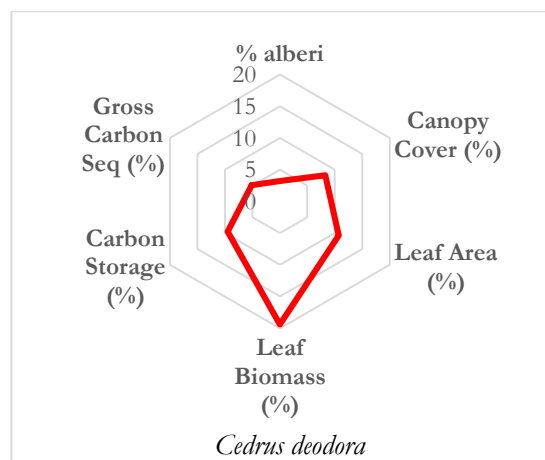
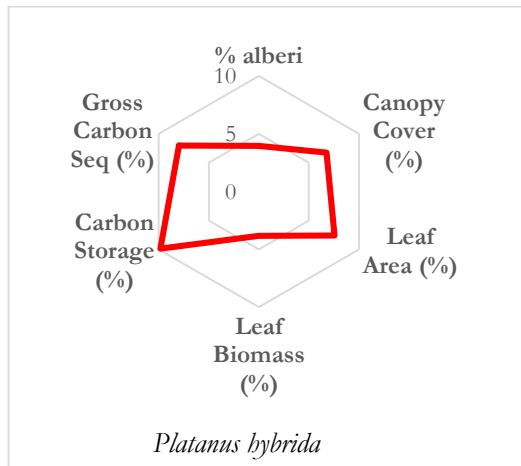
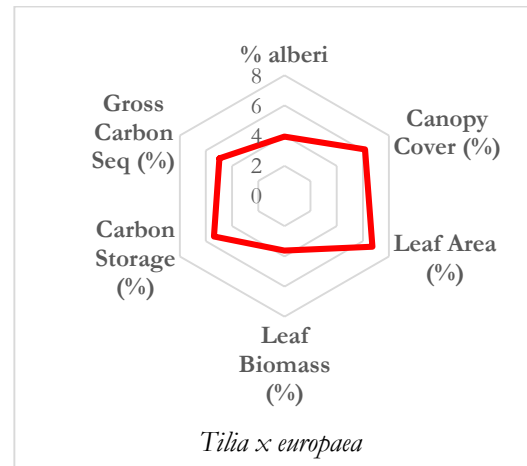


Figura 4.11 – *Cedrus deodara*

Figura 4.12 – *Platanus hybrida*Figura 4.13 – *Tilia x europaea*

Disponendo dell'informazione sulla localizzazione degli alberi, sono stati calcolati i valori degli indicatori distinguendo i due contesti: parchi/aree verdi e strade. I risultati sono presentati in Tab. 4.1

Contesto	N. alberi	Superficie canopy (m2)	Superficie fogliare (m2)	Biomassa fogliare (kg)	Stock carbonio (kg)	Tasso sequestro C (kg/yr)
Aree verdi	3.571	159.193	897.491	81.061	866.804	31.940
Strade	1.248	33.150	196.696	13.432	185.888	10.340
TOTALE	4.819	192.343	1.094.187	94.494	1.052.692	42.280

▲ Tabella 4.1

4.3 Indici della vegetazione arborea

Dai valori degli indicatori descritti in precedenza, sono elaborati gli indici di vegetazione in grado di fornire informazioni più significative sul popolamento arboreo dell'area studio.

Di seguito vengono descritti e calcolati alcuni indici ampiamente utilizzati in studi analoghi.

4.3.1 Indice di abbondanza relativa

Il valore dell'indice esprime in termini percentuali il grado di presenza di una specie rispetto al popolamento arboreo complessivo:

$$\text{Indice di abbondanza relativa} = \frac{\text{Numero individui specie } x}{\text{Numero individui popolazione}} * 100$$

La Tab. 4.2 mostra le specie presenti nell'area studio aventi un indice di abbondanza relativa superiore a 3.

Specie	Numero individui	Abbondanza relativa (%)
<i>Carpinus betulus</i>	425	8.93
<i>Tilia cordata</i>	279	5.86
<i>Acer platanoides</i>	238	5
<i>Platanus hybrida</i>	188	3.95
<i>Tilia x europeae</i>	187	3.93
<i>Cercis siliquastrum</i>	182	3.82
<i>Pinus pinea</i>	156	3.28
<i>Fraxinus ornus</i>	154	3.23
<i>Cedrus deodara</i>	153	3.21
<i>Prunus pissardi nigra</i>	143	3

◀ **Tabella 4.2**

Indice di Abbondanza relativa delle specie più significative (indice >3)

Si nota una predominanza della specie *Carpinus betulus*, i cui individui sono presenti per la maggior parte nelle aree verdi destinate a parco (foto). Questa specie autoctona presenta una buona resistenza ai fattori di stress e adattabilità ambientale, ha costi contenuti di manutenzione e per questo mostra caratteristiche favorevoli per l'utilizzo in ambiente urbano



Il valore di questo indice riflette la predominanza di una o più specie sull'intero popolamento arboreo e, di conseguenza, indica quali sono le specie più importanti per il mantenimento della consistenza del popolamento stesso.

Affinché un popolamento arboreo presenti condizioni di stabilità, è consigliabile evitare che il numero di esemplari di uno stesso Genere superi la soglia del 15% rispetto al popolamento complessivo, ovvero che il suo indice di abbondanza relativa superi tale valore percentuale (McPherson e Kotow, 2013).

Nell'area di studio tale condizione è rispettata.

4.3.2 Indice di dominanza relativa

L'indice esprime il peso del contributo di una specie rispetto all'intero popolamento arboreo considerando non solo il numero di individui (abbondanza relativa) ma anche le caratteristiche dimensionali medie degli esemplari arborei delle diverse specie. In effetti, ai fini dello studio dei servizi ecosistemici generati dai popolamenti arborei presenti in un territorio, è più significativo conoscere il loro potenziale contributo funzionale, dato dalle dimensioni degli esemplari, piuttosto che unicamente la loro numerosità.

Dominanza debole

Codominanza

Dominanza forte

La stabilità di un popolamento è maggiore in presenza di condizioni di dominanza debole (presenza di 5-10 specie dominanti), decresce in condizioni di codominanza (due specie superiori al 10% e la loro somma superiore al 25%), e giunge al minimo nel caso di dominanza forte (una specie oltre il 25% e le altre con indice molto basso) (McPherson e Kotow, 2013).

L'indice può essere espresso in riferimento alla superficie di suolo coperta dalla chioma (*canopy cover*), oppure alla superficie fogliare (*leaf area*)

$$\text{Area canopy specie } x / \text{Area canopy popolamento} * 100$$

$$\text{Superficie fogliare specie } x / \text{Superficie fogliare popolamento} * 100$$

Per gli obiettivi della ricerca, la determinazione delle quantità di inquinanti rimosse dall'atmosfera ad opera della vegetazione arborea, si è scelto di valutare l'indice di dominanza relativa rispetto alla superficie fogliare. La Tab.4.3 mostra le specie presenti nell'area studio con indice di dominanza relativa di superficie fogliare superiore a 2.

Tabella 4.3 ►

Indice di dominanza rispetto alla superficie fogliare per le specie arboree più significative di (indice >2)

Specie	Superficie fogliare (m2)	Dominanza relativa (%)
<i>Tilia cordata</i>	116.956	10.69
<i>Cedrus deodara</i>	116.936	10.69
<i>Platanus hybrida</i>	82.926	7.58
<i>Tilia x europeae</i>	73.585	6.73
<i>Carpinus betulus</i>	67.545	6.17
<i>Acer platanoides</i>	50.896	4.65
<i>Populus alba</i>	44.368	4.05
<i>Pinus pinea</i>	32.604	2.98
<i>Ulmus minor</i>	32.518	2.97
<i>Picea abies</i>	31.344	2.86
<i>Acer saccharinum</i>	28.993	2.65
<i>Cedrus atlantica</i>	26.206	2.4
<i>Acer negundo</i>	25.540	2.33
<i>Celtis australis</i>	23.236	2.12

L'ordine delle specie mostrato nella tabella anticipa alcune considerazioni sui risultati dello studio sulla rimozione degli inquinanti

presentati di seguito: *Tilia cordata* e *Cedrus deodara* sono le specie che presentano i valori maggiori dell'indice di dominanza rispetto alla superficie fogliare.

Con riferimento a quanto detto sopra, il popolamento arboreo considerato nel presente studio mostra una condizione di dominanza debole.

4.3.3 Indice di importanza

L'indice di importanza si calcola per ciascuna specie eseguendo la media dei valori degli indici di abbondanza e di dominanza relativa rispetto alla superficie fogliare (espressi in percentuale). Esso può assumere valori compresi nell'intervallo 0-100, dove 100 indica che l'esistenza del popolamento dipende da una sola specie.

L'indice identifica le specie principali del popolamento arboreo alle quali si devono i benefici funzionali relativi all'ambiente e agli ecosistemi.

La Tab. 4.4 riporta in ordine decrescente l'indice di Importanza delle specie arboree più significative presenti nell'area studio.

Specie	N. alberi	Abbondanza relativa (%)	Area fogliare(m ²)	Dominanza relativa (%)	Indice di importanza
<i>Tilia cordata</i>	279	5.86	116956	10.69	8.27
<i>Carpinus betulus</i>	425	8.93	67545	6.17	7.55
<i>Cedrus deodara</i>	153	3.21	116936	10.69	6.95
<i>Platanus hybrida</i>	188	3.95	82926	7.58	5.76
<i>Tilia x europaea</i>	187	3.93	73585	6.73	5.33
<i>Acer platanoides</i>	238	5	50896	4.65	4.83
<i>Populus alba</i>	140	2.94	44368	4.05	3.50
<i>Pinus pinea</i>	156	3.28	32604	2.98	3.13
<i>Picea abies</i>	108	2.27	31344	2.86	2.57

◀ **Tabella 4.4**
Indice di Importanza delle specie arboree più significative

Al primo posto si trova *Tilia cordata* con indice di importanza 8.27, dovuto principalmente al valore elevato della superficie fogliare (peso del 10.69% sul totale). Questa specie è molto presente nelle alberature stradali, con individui di dimensioni significative.

Osservando le caratteristiche medie delle specie localizzate lungo le strade, si rileva che il tiglio è tra le specie che presentano i valori più elevati di LAI (*leaf area index*) e biomassa fogliare. Si può quindi evidenziare l'importanza del contributo del verde stradale all'intero patrimonio arboreo pubblico del quartiere.

Al secondo posto si trova *Carpinus betulus* con un valore di 7.55. In questo caso la posizione di rilievo è dovuta alla numerosità degli

Gli alberi stradali hanno un peso rilevante nel conteggio della superficie fogliare complessiva del quartiere

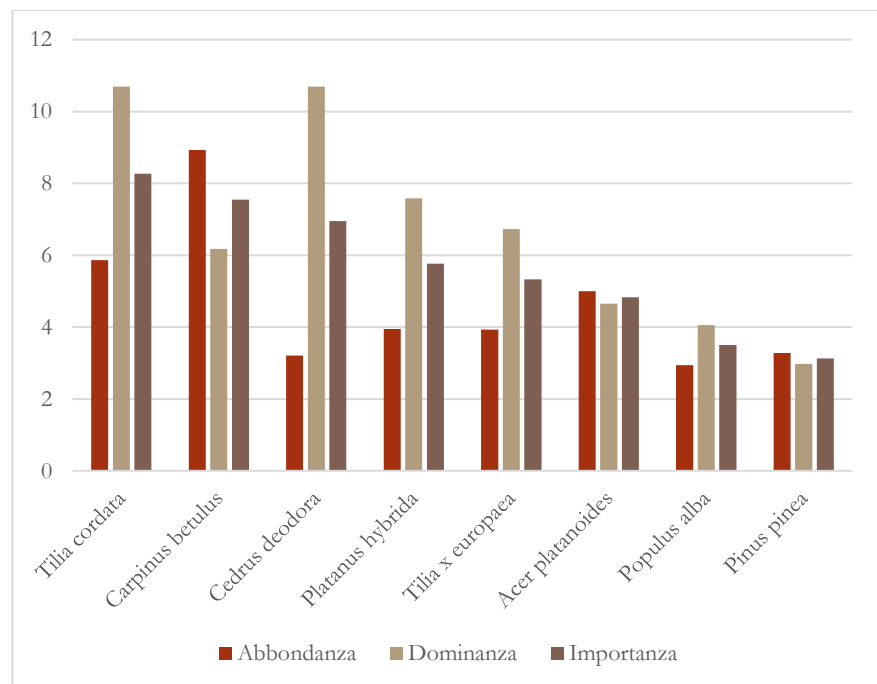
individui (8.93%), localizzati soprattutto nelle aree verdi, e non alle dimensioni degli alberi presenti.

In terza posizione si trova *Cedrus deodara* con un indice di 6.95, rappresentato da un numero limitato di individui (153 pari al 3.21%) con un elevato valore di superficie fogliare (10.69%), simile a quello di *Tilia cordata*. Questa specie è infatti rappresentata da individui messi a dimora alcune decine di anni fa, e che oggi hanno raggiunto dimensioni ragguardevoli. Essa rappresenta, nelle aree verdi, la specie con i valori medi più elevati dei parametri dendrometrici, come il diametro del tronco, se si escludono alcune specie scarsamente rappresentate. Trattandosi di una specie sempreverde, i cedri deodara costituiscono per il quartiere una risorsa ambientale significativa poiché i loro effetti sull'ecosistema urbano sono efficaci anche durante la stagione fredda.

La Fig.4.14 mette a confronto il valore dei tre indici per le specie più significative dell'area studio.

Determinare il valore degli indici può costituire un utile supporto informativo per la previsione degli effetti ambientali dovuti a fattori di stress esterni, come ad esempio l'attacco di agenti fitopatogeni.

Figura 4.14 ►
Confronto degli indici di abbondanza, dominanza e importanza per le specie arboree più significative nell'area studio (le specie ordinate per indice di importanza decrescente)



4.4 Inquinanti atmosferici rimossi ed emessi

4.4.1 *Contesto e sintesi dei risultati*

Uno dei risultati più interessanti prodotti dal modello è la determinazione delle quantità di inquinanti atmosferici rimossi in un anno dal verde arboreo pubblico presente nell'area di studio.

Va puntualizzato che il calcolo ha preso in considerazione solamente la componente arborea situata nelle aree verdi/parchi pubblici e lungo le strade, poiché la base informativa di riferimento per lo studio, fornita dal Comune, disponeva dei dati raccolti durante le attività di censimento delle alberature stradali e nei parchi. I valori presentati mostrano quindi un risultato parziale, riferito soltanto alla componente arborea pubblica.

Per completezza andrebbero conteggiati anche i contributi provenienti dalle altre tipologie di verde (siepi e prati) e, soprattutto, dal verde privato. In merito all'ultimo punto una stima del contributo per l'area di studio è riportata nella Parte III Capitolo 1.

Allo stesso modo, tuttavia, dovrebbero essere conteggiate le quantità di inquinanti immessi nell'atmosfera dalle operazioni di manutenzione del verde, come per esempio lo sfalcio delle superficie a prato, e le emissioni di microinquinanti organici da parte di alcune specie arboree.

Il contributo al miglioramento della qualità dell'aria viene espresso in termini di quantità di inquinante rimosso dalle piante in un anno; il dato è disponibile per ciascun individuo e può quindi essere aggregato per specie, per contesto ambientale o sulla base di altri criteri di analisi.

I risultati mostrati in Tab 4.5 mostrano che l'azione "depuratrice" degli alberi si svolge principalmente con la rimozione delle polveri sottili e dell'ozono troposferico. Il sequestro del biossido di azoto, pur essendo presente, è di entità assai minore, mentre trascurabili sono i contributi dovuti alla rimozione del biossido di zolfo e monossido di carbonio.

Ciò rispecchia la situazione dell'area di studio in termini di qualità dell'aria; al pari di molti contesti urbani, anche la città di Padova deve affrontare le criticità ambientali legate all'inquinamento atmosferico con superamento dei limiti normativi delle concentrazioni di polveri sottili e ozono nei periodi invernale e primaverile-estivo.

Poiché a parità di disponibilità di superficie fogliare le quantità di inquinanti rimosse sono proporzionali alle concentrazioni degli stessi inquinanti in atmosfera, il contributo della vegetazione al miglioramento della qualità dell'aria appare tanto più significativo quanto più critiche sono le condizioni di stato qualitativo dell'atmosfera.

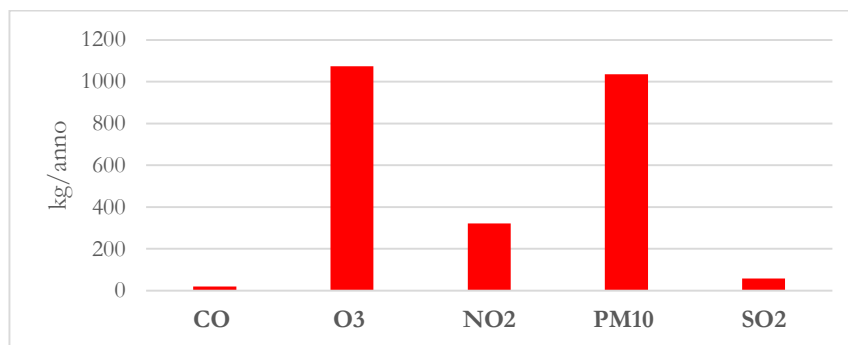
Tabella 4.5 ►

Quantità di inquinanti atmosferici rimossi ed emessi dalla componente arborea pubblica nel quartiere 2 Nord di Padova nel 2011

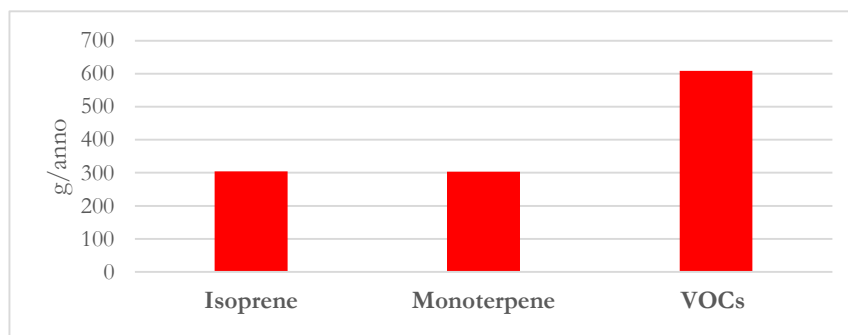
INQUINANTI SEQUESTRATI (kg/anno)					INQUINANTI EMESSI (g/anno)		
CO	O ₃	NO ₂	PM10	SO ₂	Isoprene	Monoterpene	COVs
20	1074	321	1036	58	304	304	608

Figura 4.15 ►

Quantità di inquinanti atmosferici rimossi nel 2011 (kg/anno)

**Figura 4.16** ►

Quantità di COV (composti organici volatili) emessi nel 2011 (g/anno) (VOC: volatile organic compounds)



Il contributo delle diverse specie arboree nel contesto di studio

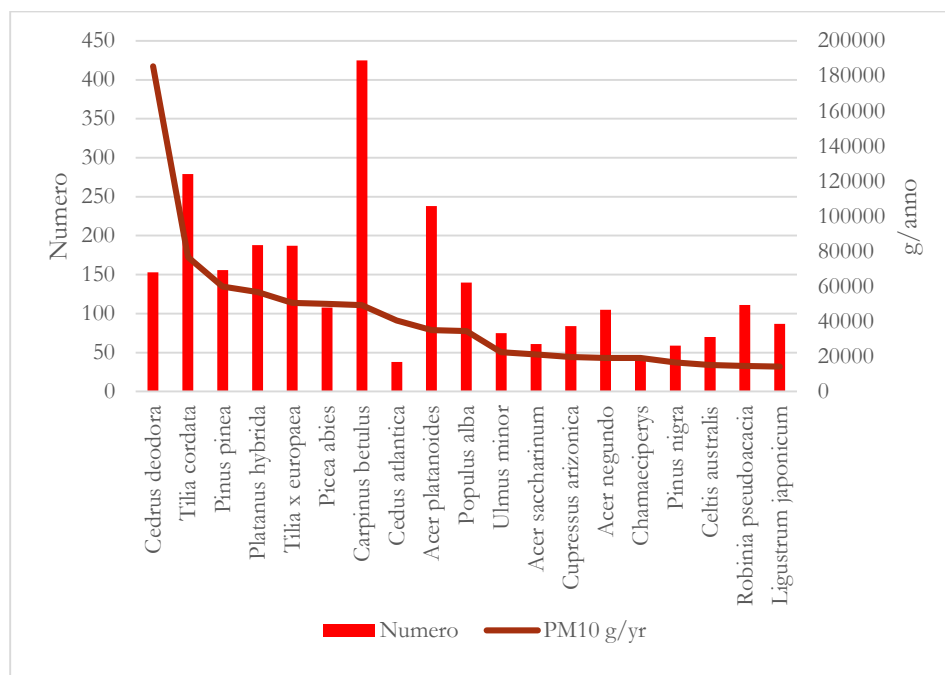
Specie diverse contribuiscono in modo differente alla rimozione degli inquinanti atmosferici. Per fare un esempio banale, le specie sempreverdi sono in grado di svolgere la loro funzione di “filtro atmosferico” anche nella stagione fredda, mentre le caducifoglie perdono la loro efficacia durante il periodo invernale. Inoltre è probabile che una specie risulti altamente performante nell’azione di rimozione degli inquinanti semplicemente per la sua numerosità o per le elevate dimensioni dei suoi individui, e non per le caratteristiche fisiologiche della specie.

Si ribadisce che i risultati si riferiscono al popolamento arboreo pubblico presente nell’area studio e quindi le considerazioni sono valide all’interno del contesto territoriale del quartiere 2 Nord.

4.4.2 Rimozione delle polveri sottili (PM10)

Il processo di rimozione delle polveri da parte degli alberi avviene per deposizione sulla superficie fogliare e avviene in misura maggiore se questa è formata da foglie tomentose, cioè dotate di peli superficiali.

In Fig. 4.17 sono riportate le specie più significative nel sequestro atmosferico di polveri sottili. In sovrapposizione all'elemento lineare, che mostra in ordine decrescente le quantità di polveri sottili rimosse da ciascuna specie, viene riportato in istogramma il numero di individui per specie; ciò evidenzia il contributo significativo fornito da specie con numerosità medio-bassa come il *Cedrus deodara* e *Cedrus atlantica* (Cedro di Atlante), quest'ultimo 36esimo per numerosità.



◀ **Figura 4.17**
Quantità di polveri sottili (PM10) rimosse dalle specie arboree più significative (grafico lineare espresso in g/anno) e numerosità delle specie (istogramma)

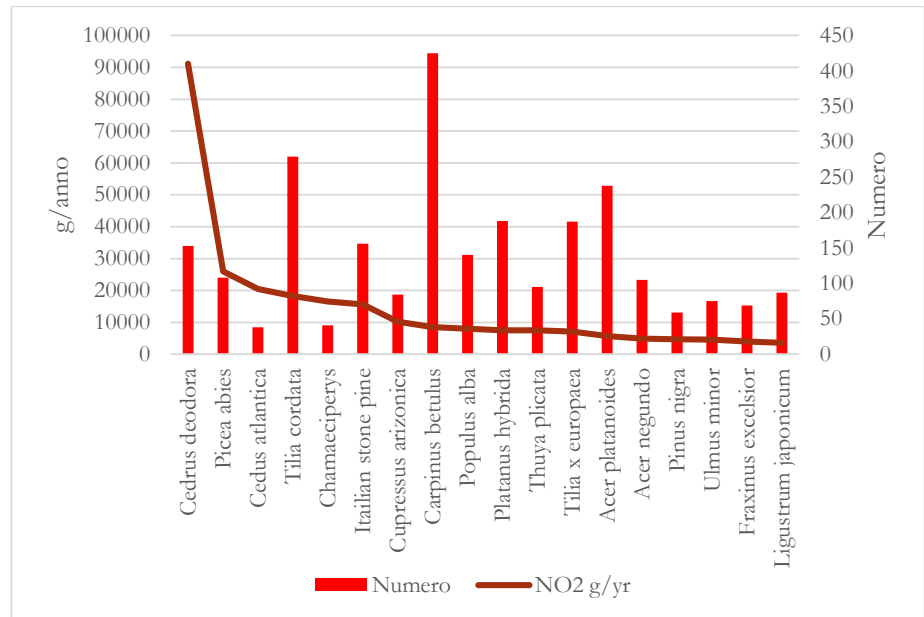
4.4.3 Rimozione del biossido di azoto (NO_2)

Il biossido di azoto (NO_2), così come gli altri inquinanti gassosi, viene rimosso dall'atmosfera per assorbimento. Il processo avviene sulla superficie fogliare grazie all'azione degli stomi che regolano i flussi di gas e vapore acqueo tra l'ambiente interno ed esterno alla pianta.

In Fig. 4.18 sono riportate le specie più significative in termini di quantità di biossido di azoto rimosso annualmente dall'atmosfera. In sovrapposizione al grafico lineare, che presenta in ordine decrescente le quantità di biossido di azoto rimosse da ciascuna specie, viene riportato in istogramma il numero di individui per specie per evidenziare il contributo significativo di alcune specie che non sono tra le più numerose, come il cedro dell'Himalaya (*Cedrus deodara*), il cedro di Atlantide e il *Chamaecyperis* (Cupressaceae). Il contributo significativo di *Picea abies* è dato principalmente dal numero di individui (14esimo per numerosità)

Figura 4.18 ►

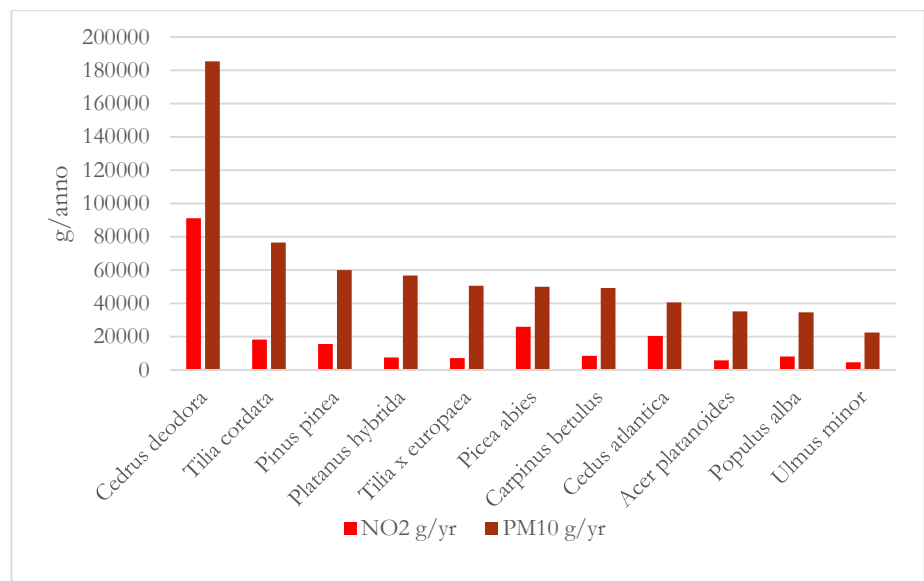
Quantità di biossido di azoto (NO_2) rimosso dalle specie arboree più significative (grafico lineare espresso in g/anno) e numerosità delle specie (istogramma). Le specie nel grafico forniscono un contributo individuale alla rimozione complessiva di NO_2 superiore allo 0.01%.



La Fig. 4.19 mostra il confronto tra le quantità di polveri sottili e di biossido di azoto rimosse dalle specie arboree più significative.

Figura 4.19 ►

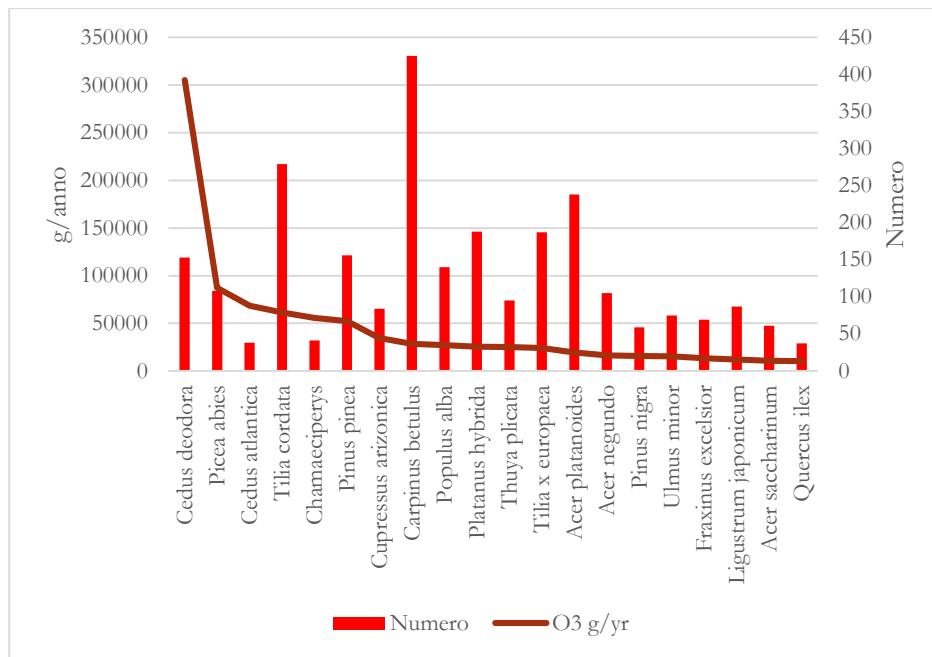
Quantità di PM10 e NO_2 rimosse annualmente dalle specie arboree più significative (g/anno)



4.4.4 Rimozione dell'ozono troposferico – O_3

In Fig. 4.20 il grafico lineare riporta in ordine decrescente le quantità di ozono rimosse dalle specie più significative dell'area studio, ovvero quelle che hanno sottratto all'atmosfera una quantità annua superiore ai 10 chilogrammi.

Viene riportato inoltre in istogramma il numero di individui arborei per specie per evidenziare il contributo di alcune specie che, pur non essendo tra le più numerose, hanno un peso significativo in questo processo. Anche in questo caso appare rilevante il contributo del *Cedrus deodara* (oltre 300 kg/anno)



◀ **Figura 4.20**
Quantità di ozono (O_3) rimosso dalle specie arboree più significative (grafico lineare espresso in g/anno) e numerosità delle specie (istogramma). Le specie nel grafico hanno sottratto all'atmosfera una quantità superiore a 10 kg/anno.

4.4.5 Emissione di composti organici volatili - COV

Alcune specie arboree rilasciano in atmosfera dei composti organici volatili che concorrono alla formazione dell'ozono troposferico. Nei contesti dove le concentrazioni di ozono nell'aria possono diventare critiche in alcuni periodi dell'anno, come per esempio i centri urbani, sarebbe opportuno limitare la presenza di specie che emettono COV.

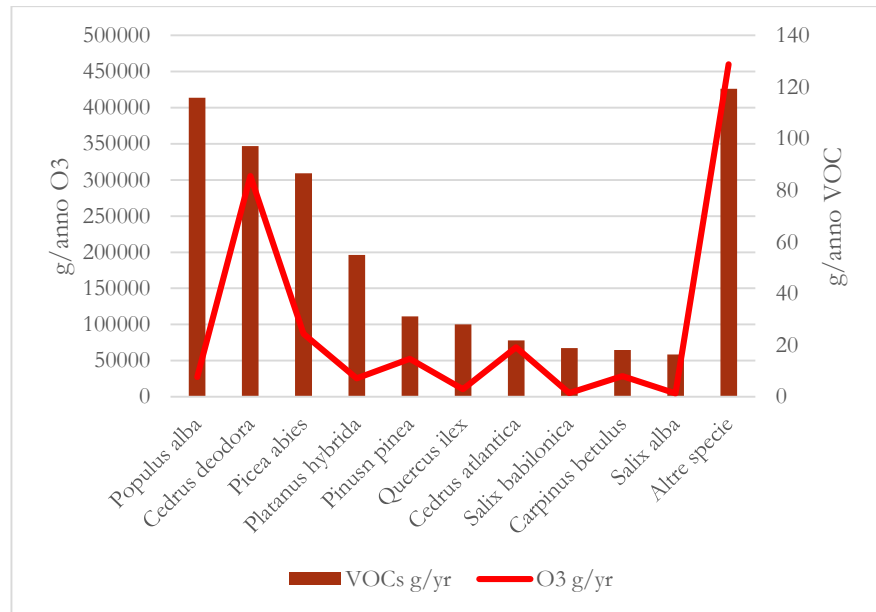
La Fig. 4.21 mostra in ordine decrescente le prime 10 specie più significative per quantità di COV rilasciate in atmosfera. Il grafico lineare riporta il contributo della specie nel sequestro di ozono. La voce "Altre specie" comprende le 83 specie dal contributo poco significativo.

Osservando la figura appare rilevante il contributo emissivo della specie *Populus alba*.

Va precisato che i dati sulle quantità di ozono sequestrato dalle diverse specie arboree sono al netto delle quantità di ozono prodotte dall'emissione dei precursori.

Questi dati possono essere utilizzati per orientare la scelta di specie più opportune, specialmente in ambiente urbano, dove l'azione combinata di COV e NO_x porta alla formazione di quantità di ozono che spesso nella stagione estiva superano i limiti della normativa per la tutela della salute umana e della vegetazione.

Figura 4.21 ►
Quantità di COV
emesse dalle specie
arboree più significative
e quantità di ozono
rimosso (entrambe in
g/anno)



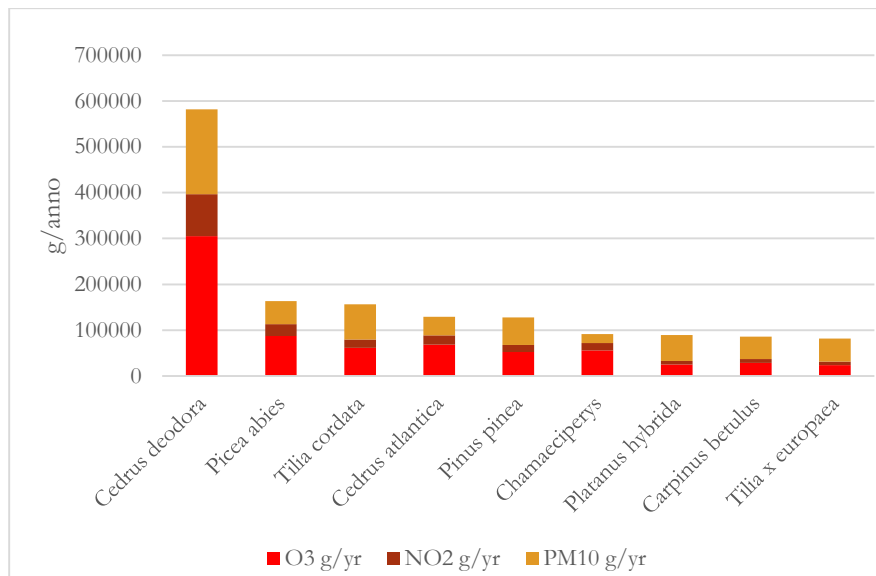
4.4.6 Dati complessivi e quadro d'insieme

I dati sulle quantità di inquinanti sequestrate dalle principali specie arboree presenti nell'area studio sono sintetizzati in Tab. 4.6. I dati relativi al monossido di carbonio e al biossido di zolfo, trattandosi di quantità trascurabili, non sono stati esplicitati ma sono stati considerati nel calcolo del totale.

Tabella 4.6 ►
Quantità di inquinanti
rimossi dall'atmosfera
dalle specie più
significative (g/anno)

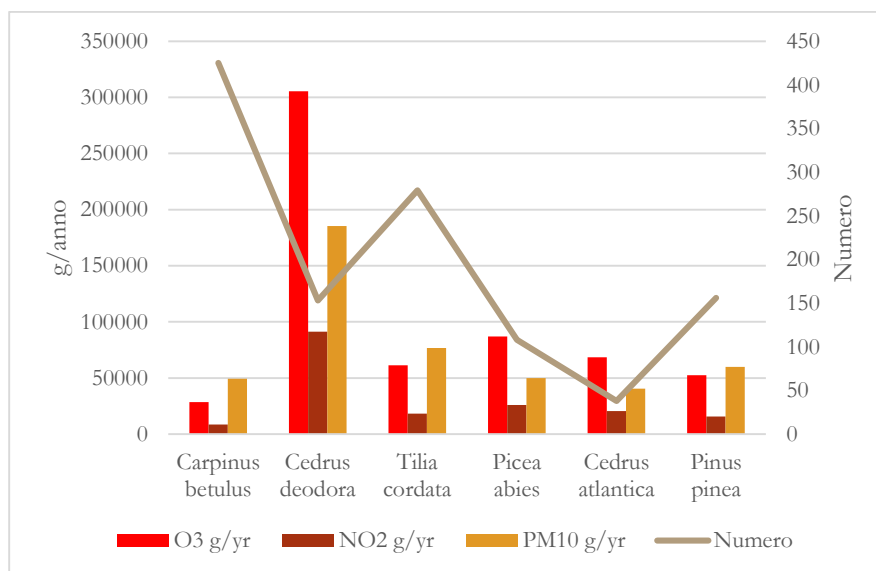
Nome specie	N. alberi	O3 g/anno	NO2 g/anno	PM10 g/anno	Somma dei 3 g/anno	Totale (+CO e SO2)
<i>Cedrus deodara</i>	153	305.361	91.135	185.376	581.873	604.042
<i>Picea abies</i>	108	87.108	25.997	50.013	163.118	169.442
<i>Tilia cordata</i>	279	61.233	18.275	76.581	156.089	160.535
<i>Cedrus atlantica</i>	38	68.434	20.424	40.562	129.420	134.389
<i>Pinus pinea</i>	156	52.394	15.637	59.866	127.898	131.702
<i>Chamaecyperis</i>	41	55.559	16.581	19.176	91.316	95.350
<i>Platanus hybrida</i>	188	25.310	7.554	56.710	89.574	91.411
<i>Carpinus betulus</i>	425	28.444	8.489	49.204	86.138	88.203
<i>Tilia × europaea</i>	187	23.923	7.140	50.625	81.687	83.424
<i>Populus alba</i>	140	26.967	8.048	34.543	69.559	71.517

Un quadro delle specie più significative in termini di quantità totale di inquinanti rimossi (ozono, PM10 e biossido di azoto) è mostrato in Fig.4.22.

◀ **Figura 4.22**

Quantità cumulata dei principali inquinanti (ozono, polveri sottili e biossido di azoto) rimosse dalle specie più significative (g/anno)

Gli istogrammi mostrano i contributi delle specie più significative alla rimozione di ozono, polveri sottili e biossido di azoto (in g/anno), mentre il diagramma lineare indica la numerosità.

◀ **Figura 4.23**

Quantità rimosse per tipo di inquinante per le specie più significative e loro numerosità

Un'analisi ulteriore dei dati ha riguardato il calcolo degli inquinanti rimossi dall'individuo arboreo "medio"²⁵ di ciascuna specie, distinguendo tra esemplari situati all'interno delle aree verdi e lungo le strade, con l'obiettivo di rilevare eventuali differenze di performance sia a livello di inquinante che di contesto ambientale. Disponendo in ordine decrescente per capacità individuali di sequestro le prime venti specie, si osserva che per le specie stradali tutti gli inquinanti, tranne le

²⁵ Per individuo arboreo medio si intende l'esemplare arboreo teorico di una determinata specie le cui performance di rimozione dei diversi inquinanti sono le medie aritmetiche dei valori di rimozione calcolati per tutti gli individui della specie appartenenti al contesto stradale o delle aree verdi.

polveri sottili in qualche caso, mostrano la stessa sequenza delle specie, mentre per le specie dei parchi si notano delle leggere differenze tra la sequenza di ozono e biossido di azoto e quella di biossido di zolfo e monossido di carbonio e una netta variazione della serie delle polveri sottili, ad esclusione delle prime tre posizioni, relative alle specie più significative.

In Tab. 4.7 sono riportati alcuni dati relativi agli individui arborei medi delle **specie stradali** più significative.

Tabella 4.7 ►
Quantità di inquinanti rimosse dagli individui “medi” delle specie stradali (g/anno)

Specie	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	Specie	PM10
<i>Pinus pinea</i>	325	97	17	6	<i>Pinus pinea</i>	379
<i>Picea abies</i>	255	76	14	5	<i>Tilia cordata</i>	293
<i>Tilia cordata</i>	238	71	13	4	<i>Paulownia tomentosa</i>	286
<i>Paulownia tomentosa</i>	185	55	10	3	<i>Ginkgo</i>	260

In Tab. 4.8 sono riportati alcuni dati relativi agli individui arborei medi delle **specie dei parchi** più significative.

Tabella 4.8 ►
Quantità di inquinanti rimosse dagli individui “medi” dei parchi (g/anno)

Specie	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	Specie	PM10
<i>Cedrus deodara</i>	1996	596	107	37	<i>Cedrus deodara</i>	1212
<i>Cedrus libani</i>	1904	568	102	36	<i>Cedrus libani</i>	1147
<i>Cedrus atlantica</i>	1801	537	97	34	<i>Cedrus atlantica</i>	1067
<i>Chamaecyperis</i>	1355	404	73	25	<i>sycamore spp</i>	678

4.4.7 Superficie fogliare e inquinanti rimossi

I risultati emersi dall'applicazione del modello UFORE vanno interpretati considerando le informazioni raccolte durante la fase di campionamento e quelle desunte dall'osservazione diretta e dalla conoscenza dell'area di studio.

E' importante ribadire che si tratta di una sperimentazione effettuata su un'area territoriale limitata, e pertanto i risultati e le conseguenti considerazioni hanno significato all'interno dell'area studio.

Il fatto che una determinata specie arborea contribuisca in modo significativo alla rimozione degli inquinanti atmosferici e allo stoccaggio del carbonio, e rappresenti quindi, al momento attuale, una componente rilevante per gli aspetti ambientali analizzati, non deve condurre ad attribuire a tale specie capacità assolute di sequestro degli inquinanti.

I valori elevati degli inquinanti rimossi, pur dipendendo in parte dalle caratteristiche intrinseche delle diverse specie, sono collegati

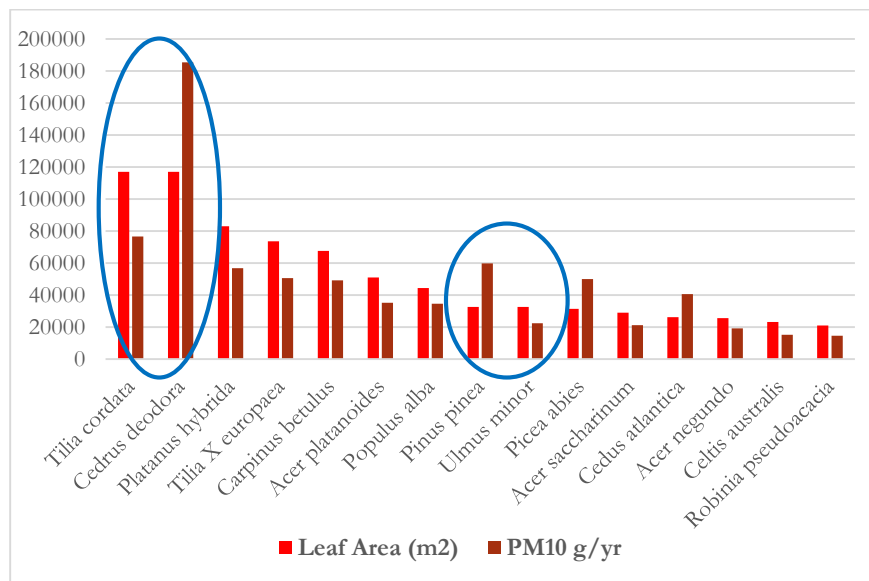
soprattutto alla dimensione degli individui presenti, al loro numero e al ciclo vegetativo (sempreverdi e decidue).

Per mettere in rilievo le specie più performanti, più efficienti nel processo di rimozione degli inquinanti atmosferici, sono state confrontate per alcune specie le quantità di inquinanti sequestrate e la superficie fogliare.

Considerando due o più specie aventi valori di superficie fogliare simili è possibile effettuare delle considerazioni di tipo comparativo sulle performance delle specie.

Evidente è il caso delle specie di *Cedrus deodara* e *Tilia cordata* che, pur avendo a disposizione una superficie fogliare comparabile, mostrano valori di rimozione degli inquinanti molto diversi. Altri casi riguardano la coppia *Pinus pinea* e *Ulmus minor* e il trio *Picea abies*, *Acer saccharinum* e *Cedrus atlantica*.

In tutti gli esempi riportati si nota che le specie più performanti appartengono alle sempreverdi e quindi sono in grado di esercitare i loro processi biochimici a livello fogliare durante tutto l'anno. Per questo motivo essi mostrano valori di sequestro più elevati, sia complessivamente che in relazione ai singoli inquinanti (Fig. 4.24, 4.25, 4.26).

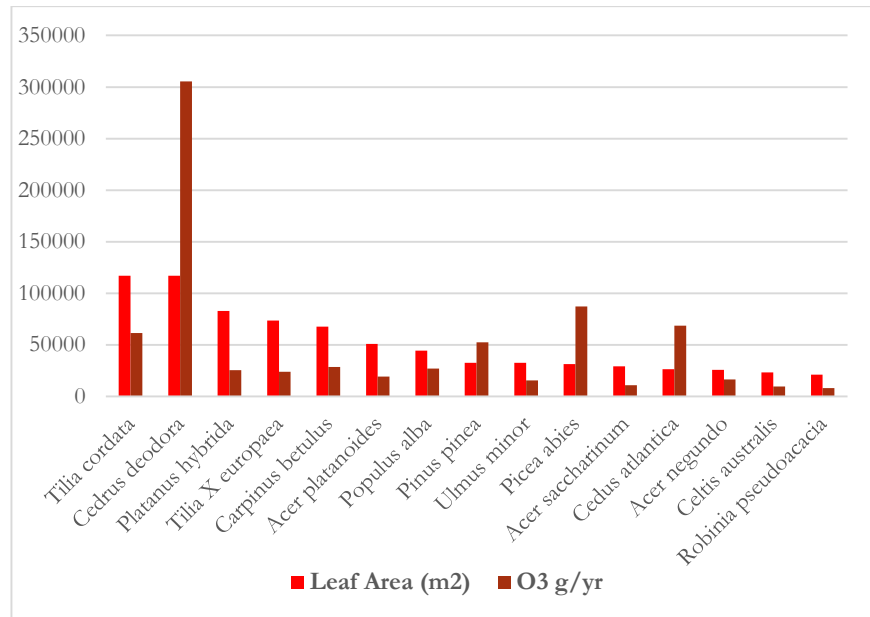


◀ **Figura 4.24**

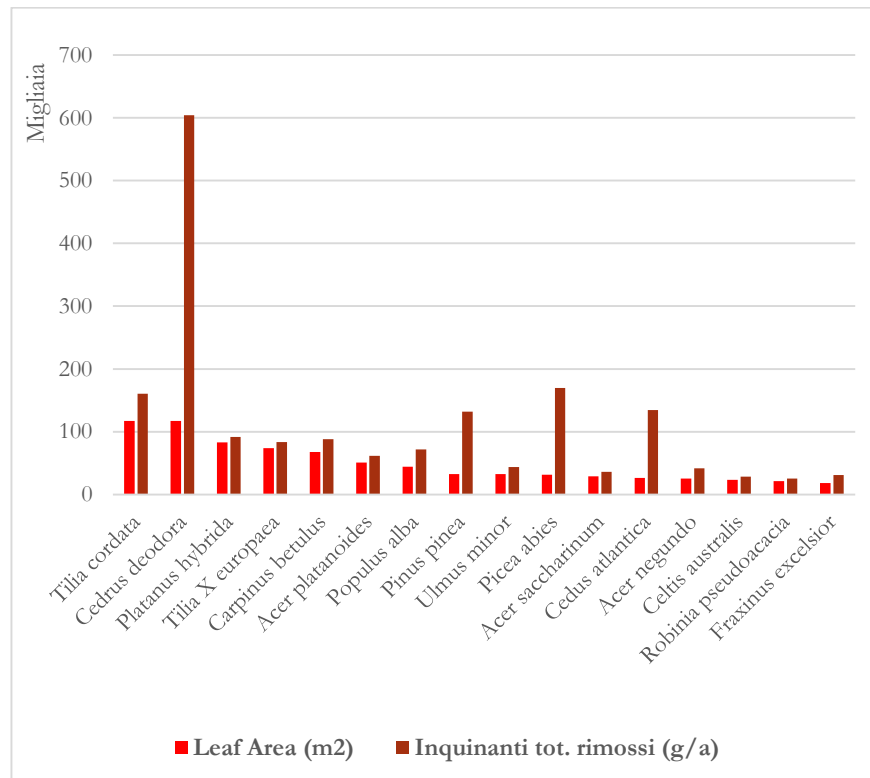
Confronto tra la superficie fogliare (m2) e la quantità di polveri sottili rimossa annualmente (g/anno) delle specie arboree più significative dell'area studio (le prime 16 per superficie fogliare)

Figura 4.25 ►

Confronto tra la superficie fogliare (m²) e la quantità di ozono rimossa annualmente (g/anno) delle specie arboree più significative dell'area studio (le prime 16 per superficie fogliare)

**Figura 4.26** ►

Confronto tra la superficie fogliare (m²) e la quantità di inquinanti totali rimossa annualmente (g/anno) delle specie arboree più significative dell'area studio (le prime 16 per superficie fogliare).



4.5 Indicatori di emissione²⁶

Per migliorare la comprensione dei dati quantitativi emersi dall'applicazione del modello matematico, relativi alle quantità di inquinanti rimossi dall'atmosfera in un anno, sono stati elaborati alcuni indicatori di emissione riferiti a contesto veneto, per tradurre i risultati riferiti al popolamento arboreo in emissioni equivalenti provenienti da fonti di pressione del contesto quotidiano.

I contesti scelti per costruire gli indicatori di confronto sono:

- le emissioni prodotte in un anno da diverse tipologie di impianti di combustione domestica della legna;
- le emissioni da traffico nel comune di Padova.

4.5.1 Emissioni di stufe domestiche a legna

Per l'elaborazione dell'indicatore è stato preso a riferimento uno studio che afferma che nel Triveneto il consumo medio di biomassa legnosa per il riscaldamento domestico nel 2006 era pari a 4,7 tonnellate all'anno. (APAT e ARPA Lombardia, 2008, tabella 5.3.1). Tale valore medio considerava gli utilizzatori frequenti, ovvero si riferiva alle abitazioni nelle quali la legna (o il pellet) veniva impiegata più di 4 volte all'anno.

La combustione del quantitativo medio annuale preso come riferimento genera un'emissione variabile a seconda dell'impianto domestico impiegato, poiché a seconda della tecnologia di combustione utilizzata corrispondono diversi fattori di emissione.

I fattori di emissione utilizzati sono desunti da INEMAR, l'applicativo utilizzato da ARPA Veneto finalizzato alla costruzione dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera (Box di approfondimento); quelli impiegati nell'ultima edizione dell'applicativo sono disponibili in uno dei wiki di progetto ²⁷.

Confrontando i dati degli inquinanti rimossi dalla vegetazione arborea nell'area studio (in t/anno) con l'emissione derivante dalla combustione della quantità media annuale per abitazione (4,7 t/anno) di legna o pellet, risultano i dati presentati in Tab. 4.9 che mostra valori differenti di inquinanti emessi a seconda della tecnologia di combustione utilizzata. Ad esempio l'entità del sequestro annuale di PM10 da parte degli alberi corrisponde a quanto emesso in un anno da 20 caminetti aperti o da 45 stufe a pellet.

²⁶ I dati utilizzati per la stesura del paragrafo sono stati forniti ed elaborati dall'Osservatorio Regionale Aria di ARPAV ed interpretati con il contributo di Laura Susanetti.

²⁷ www.inemar.eu/xwiki/bin/view/FontiEmissioni/RicercaMSA

Tabella 4.9 ►

Numero impianti corrispondenti per emissioni alla quantità di inquinanti sottratta dal verde arboreo

Tipologia di impianto domestico	CO	NO _x	PM10	SO ₂
Camino aperto tradizionale	0.1	52	20	73
Stufa tradizionale a legna	0.1	52	35	73
Camino chiuso o inserto	0.1	52	45	73
Stufa o caldaia innovativa	0.1	52	45	73
Stufa automatica a pellets, cippato, BAT legna	2	52	223	73
Altri sistemi (es. stufe caminetti cucine.)	0.1	105	20	73

4.5.2 Emissioni da traffico nel comune di Padova

I dati elaborati si riferiscono alle emissioni da traffico nel comune di Padova riferiti al 2005²⁸ in quanto al momento dell'elaborazione l'edizione 2007-08 si trovava in fase di public review.

Le quantità degli inquinanti sottratte all'atmosfera dall'azione della vegetazione sono state confrontate con le emissioni annuali prodotte dal traffico all'interno del territorio comunale. Si sono tralasciate le emissioni di monossido di carbonio (CO) e di biossido di zolfo (SO₂) in quanto poco significative.

Il confronto è stato effettuato prendendo in considerazione diverse tipologie di veicoli, di strade e di combustibili impiegati.

Per esempio la rimozione di PM10 pari a 1,03 t/anno equivale a ciascuna delle seguenti affermazioni:

- all'1% delle emissioni annuali di polveri sottili emesse da tutti i mezzi circolanti in tutte le strade del comune di Padova,
- al 2% delle polveri sottili emesse dalle sole automobili in un anno nell'intero comune,
- al 16% delle polveri sottili emesse da tutti i ciclomotori e moto di bassa cilindrata (inferiore a 50 cc) nelle strade urbane e extraurbane in un anno,
- al 64% delle polveri sottili emesse dai soli motocicli di cilindrata superiore ai 50 cc in tutte le strade del comune in un anno,
- al 5% delle polveri sottili emesse in tutte le strade urbane in un anno

²⁸ I dati si riferiscono al macrosettore 7 Corinair Trasporto su strada; le emissioni degli inquinanti CO, COV, NO_x, PM10, SO₂ sono articolate in settori e attività. La suddivisione delle emissioni viene effettuata in base alla tipologia di strada (autostrade, strade urbane, strade extraurbane) e al veicolo (autovetture, veicoli leggeri <3,5t, veicoli pesanti >3,5t e autobus, ciclomotori e motocicli < 50 cm³, motocicli > 50 cm³). E' disponibile inoltre la suddivisione delle emissioni per combustibile: benzina, diesel, gas.

- all'1% delle polveri sottili emesse da tutti i mezzi alimentati a diesel in un anno.

I fattori di emissione (FE) degli inquinanti CO, COV, NO_x, PM₁₀, SO₂ (espressi in mg/km) sono desunti dal software INEMAR; essi sono distinti per tipologia veicolare (settore), alimentazione (combustibile utilizzato) e classe COPERT di appartenenza (tipo legislativo) determinanti differenti FE a seconda dell'anno di immatricolazione.

Va evidenziato che i dati di emissione si riferiscono all'intero territorio comunale di Padova; per una valutazione corretta i dati andrebbero stimati solo per l'area di studio; così facendo il contributo della vegetazione alla riduzione delle emissioni darebbe risultati più rilevanti.

Un indicatore efficace per comprendere il fenomeno è il numero di chilometri percorsi annualmente da un'automobile per generare le emissioni equivalenti al sequestro degli stessi inquinanti da parte della vegetazione arborea.

Il risultato non è univoco perché dipende da diversi elementi come il tipo di automobile, di combustibile utilizzato, di percorso effettuato, oltre che da altri fattori poco quantificabili come per esempio lo stile individuale di guida.

La Tab. 4.10 mostra i fattori di emissioni riferiti a diverse tipologie di automobili caratterizzate da età e tipo di alimentazione differenti.

Combustibile	Tipo auto	Emissioni (g/1000 chilometri)				
		SO ₂	NO _x	COV	CO	PM ₁₀
benzina verde	Euro I	6.18	679.64	641.87	6511.84	28.73
	Euro IV	6.40	31.18	8.30	224.91	26.93
diesel	Euro I	6.33	705.41	64.72	475.19	101.21
	Euro IV	5.85	602.35	9.07	90.94	62.79
GPL	Euro I		359.75	277.04	2391.05	27.90
	Euro IV		45.65	6.51	840.14	27.01
metano	Euro I		334.04	254.53	2543.00	27.78
	Euro IV		57.68	5.75	958.54	25.99

◀ **Tabella 4.10**

Fattori di emissione relativi alle automobili EURO I (91/441/EEC), immatricolate tra gennaio 1993 e dicembre 1996 e EURO IV (98/69/EC Stage 2005), immatricolate tra gennaio 2005 e dicembre 2009.

Prendendo come riferimento un'auto a benzina, EURO IV immatricolata nel periodo 2005 -2009 ed utilizzando i relativi fattori di emissione per gli inquinanti emessi è stato calcolato, per tipo di combustibile usato, il numero delle automobili necessarie per produrre, ogni 1000 chilometri, le emissioni inquinanti equivalenti alle quantità di inquinanti sottratte dalla vegetazione arborea nell'area di studio (Tab. 4.11).

Tabella 4.11 ►

Numero di automobili che percorrendo una distanza di 1000 km emettono ogni anno una quantità di inquinanti equivalente a quelle sequestrate da tutti gli alberi pubblici dell'area studio.

Combustibile	SO ₂	NO _x	CO	PM ₁₀
N. auto a benzina	9032	10280	90	38470
N. auto a diesel	9881	532	222	16500
N. auto a GPL	0	7022	24	38357

Si nota che l'impatto maggiore si ha nella riduzione delle polveri sottili, per quanto i valori in gioco siano di entità ridotta.

A titolo di esempio vengono mostrati in tabella 4.12 le quantità di inquinanti sequestrate annualmente da due alberi di grandi dimensioni, un cedro dell'Himalaya e un tiglio selvatico.

Tabella 4.12 ►

Quantità di inquinanti sequestrate annualmente da due grandi esemplari di cedro deodora e tiglio selvatico

Nome specie	Quantità rimossa (g/anno)				
	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO	PM ₁₀
<i>Cedro dell'Himalaya</i>	146.7	813.3	2725.2	51.2	1705.0
<i>Tiglio selvatico</i>	13.4	74.6	249.9	4.7	307.2

Confrontando le quantità di inquinanti rimossi dal cedro dell'Himalaya con i valori riportati in tabella 4.11 si può affermare che un albero di questa specie di grandi dimensioni (diametro del tronco di 92 cm e altezza totale di 18 m) è in grado di rimuovere ogni anno una quantità di inquinanti pari a quelli emessi da un'automobile che percorre in un anno i chilometri riportati in Tab.4.13

Tabella 4.13 ►

Tipo	Combustibile auto	km/anno auto nuova
SO ₂	benzina/diesel	23.000
	benzina	26.000
NO _x	diesel	1.000
	GPL/metano	17.800
PM ₁₀	benzina	63.300
	diesel	27.000
	GPL/metano	63.000

Si posso fare le seguenti considerazioni:

- il monossido di carbonio (CO) rimosso è irrilevante rispetto a quello prodotto dalle automobili;
- le emissioni di COV (o VOC) prodotti dal traffico veicolare sono elevate rispetto alle quantità provenienti dai processi biochimici delle piante;
- l'ozono non viene emesso ma si crea come inquinante secondario dall'azione combinata di biossido d'azoto, COV e condizioni meteorologiche favorevoli alla sua formazione.

INEMAR²⁹

L'inventario delle emissioni in atmosfera è una raccolta dei valori delle emissioni generate dalle diverse attività naturali o antropiche riferita ad una scala territoriale e ad un intervallo temporale definiti. I dati forniti sono stime e non provengono da calcoli effettuati sulle singole fonti emissive; le emissioni sono riferite al livello comunale e, oltre che per tipo di attività, sono distinte per diversa tipologia di combustibile utilizzato.

Gli inquinanti considerati sono: composti organici volatili (COV), biossido di zolfo (SO₂), ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO₂), ammoniaca (NH₃), protossido di azoto (N₂O), metano (CH₄), polveri totali (PTS), polveri PM10 e PM2.5

L'inventario delle emissioni è utilizzato per la valutazione e la gestione della qualità dell'aria e per la pianificazione delle misure di intervento per la riduzione delle emissioni inquinanti contenute nel Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera, aggiornato nel gennaio 2013.

Lo strumento informatico per la raccolta e gestione dei dati è il software INEMAR (Inventario Emissioni Aria), realizzato nel 2003 dalle Regioni Lombardia e Piemonte e diffuso dal 2006 anche presso altre Regioni, tra cui il Veneto.

La procedura di redazione dell'inventario prevede, dopo la fase di popolamento e stima delle emissioni, due momenti di revisione e verifica dei dati inseriti. Nella fase di "revisione interna" vengono chiamati in causa ARPAV e gli enti competenti al rilascio delle autorizzazioni alle emissioni in atmosfera (Province e Regione), mentre nella fase successiva di "revisione esterna" i dati vengono pubblicati in rete (sito web della Regione Veneto o di ARPAV) per un periodo di tempo per essere consultati dal pubblico che può effettuare osservazioni e inviare eventuale documentazione integrativa.

La seconda edizione dell'inventario INEMAR Veneto raccoglie le stime a livello comunale dei principali macroinquinanti derivanti dalle attività naturali ed antropiche riferite al biennio 2007-2008.

²⁹ Informazioni tratte dal sito www.arpa.veneto.it

5. DISTRIBUZIONE OTTIMALE DEI POPOLAMENTI ARBOREI

5.1 Obiettivi dell'analisi

L'analisi che segue ha l'obiettivo di valutare se nell'area di studio esistono le condizioni affinché i servizi ecosistemici forniti dal popolamento arboreo pubblico, determinati con l'applicazione del modello matematico, possano essere garantiti nel medio-lungo periodo.

Si tratta di comprendere se le quantità attuali di inquinanti sottratti dall'atmosfera dall'azione della componente arborea, rappresentano una situazione stabile nel tempo, oppure sia prevedibile una loro variazione temporale, dovuta principalmente alla variazione quantitativa del popolamento arboreo. Per valutare lo stato del popolamento arboreo esistente (reale) è stato preso a riferimento uno scenario "ideale", mettendo a confronto le due situazioni per evidenziarne le differenze.

Partiamo dall'assunto che un popolamento arboreo sia in grado di mantenere costante nel tempo la fornitura dei servizi ecosistemici se esso mantiene complessivamente costante il valore dei suoi parametri strutturali e fisiologici (biomassa, copertura della chioma, superficie fogliare, stock di carbonio, ecc.).

Per mantenere tali valori costanti nel tempo, esso deve essere caratterizzato da una struttura cronologica tale da comprendere individui di età diversa, per creare le condizioni affinché gli individui senescenti siano sempre rimpiazzati da individui maturi in buone condizioni.

5.2 Metodologia

Un verde urbano composto da individui arborei di età diverse assicura un flusso costante di benefici generati dalla superficie coperta dalle chiome che resta stabile nel tempo. In altre parole contribuisce in modo importante alla stabilità del popolamento.

Secondo alcuni autori la distribuzione ottimale dell'età degli alberi per ottenere un popolamento arboreo stabile è quella riportata in Tab.5.1 (Richards 1982/1983) (MCPherson e Kotow, 2013).

Quota di individui	Classe diametro (cm)
40%	<20
30%	21-40
20%	41-60
10%	>60

I servizi ecosistemici forniti dal popolamento arboreo pubblico sono sostenibili nel lungo periodo?

Tabella 5.1 ►

Distribuzione ottimale dell'età degli alberi (identificata con la misura del diametro) per ottenere un popolamento arboreo stabile

Il valore più elevato associato agli alberi più giovani è necessario per bilanciare le perdite immediatamente successive alla fase di impianto.

Gli alberi di grandi dimensioni, che indubbiamente forniscono i benefici maggiori in termini di disponibilità di biomassa ed effetti ambientali associati, presentano anche il rischio maggiore di schianto e di gravità dei danni associati, nonché i maggiori costi di manutenzione e di eventuale rimozione.

Come si può notare, l'età degli alberi è valutata con metodo indiretto, mediante il valore del diametro del tronco, in virtù della correlazione positiva che intercorre tra queste due grandezze.

Tale metodo risente di alcuni limiti: il principale consiste nel fatto che alcune specie arboree possono presentare nell'arco del loro ciclo vitale valori di diametro non corrispondenti alle classi di età stabilite (e valide per la maggior parte degli individui).

Richiamando l'obiettivo dell'analisi, si è calcolato per ciascuna specie del popolamento reale, considerando il numero complessivo di individui, il numero ottimale di individui appartenenti a ciascuna classe diametrica (classe di età).

Dal confronto dei risultati relativi all'ipotesi ottimale con i dati numerici del popolamento reale, sono stati determinati per ogni specie e per ogni classe gli individui in eccesso o in difetto. Gli scostamenti/scarti sono stati accorpati in classi per consentire la visualizzazione del quadro d'insieme ed evidenziare le situazioni più critiche (Tab. 5.2).

Successivamente, disponendo dei dati sulle quantità di inquinanti atmosferici rimosse dai singoli alberi (applicazione modello UFORE), è stato calcolato il contributo teorico del popolamento ottimale al miglioramento della qualità dell'aria (quantità di inquinanti rimossi) e confrontato con il risultato relativo al popolamento reale.

Quali sono le classi di età in eccesso e in difetto per ciascuna specie?

Sarebbero rimossi più inquinanti atmosferici in presenza di un popolamento arboreo ottimale?

5.3 Risultati

Il quadro sinottico dei risultati sulle discrepanze del numero di individui per classe diametrica e per specie è riportato in Tab. 5.2. Al solo fine di aiutare il lettore nella valutazione dei dati riportati, ho scelto di rappresentare con colori diversi i dati ricadenti in 4 classi di scostamento del valore reale rispetto alla situazione ottimale. I valori soglia delle diverse classi sono stati identificati su base empirica, in seguito ad una valutazione del valore di scostamento "fisiologico" (+ e - 10 individui), del valore massimo riscontrato (+139). Gli intervalli scelti sono stati ritenuti idonei per fornire indicazioni dal punto di vista della gestione della foresta urbana.

Tabella 5.2 ►

Discrepanza (surplus e deficit) del numero di individui delle specie più significative(*) rispetto alla situazione ottimale (differenza tra il numero reale degli alberi di una data classe diametrica e il numero ipotetico in condizioni ottimali). I colori indicano il grado di discrepanza come riportato in legenda. (*) sono riportate solo le specie arboree con un numero

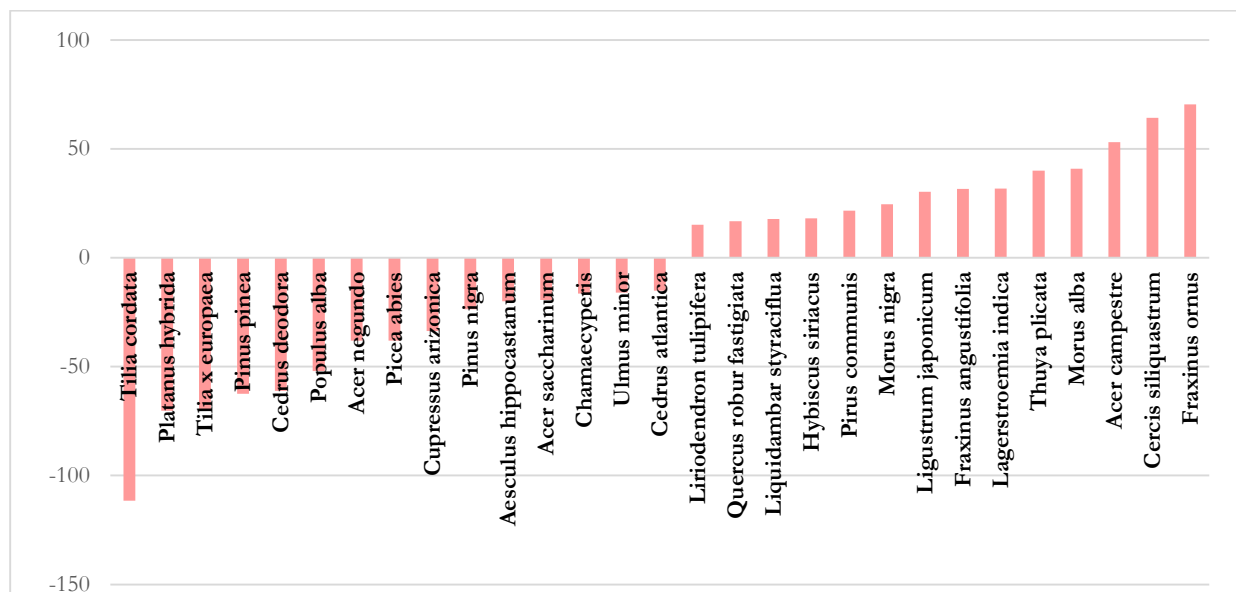
Specie arborea	Numero	Classi di diametro (cm)			
		0-20	21-40	41-60	>60
Hybiscus siriacus	30	18	-9	-6	-3
Ostrya carpinifolia	30	-4	13	-6	-3
Catalpa bignonioides	32	3	-5	5	-3
Pirus communis	36	22	-11	-7	-4
Quercus ilex	37	4	-10	10	-4
Cedrus atlantica	38	-15	-10	29	-4
Prunus spp	38	4	8	-8	-4
Sophora japonica	38	3	-11	12	-4
Chamaecyperis	41	-16	1	20	-4
Morus nigra	41	25	-12	-8	-4
Liriodendron tulipifera	42	15	-4	-7	-4
Aesculus hippocastanum	50	-20	35	-10	-5
Betula pendula	50	4	10	-9	-5
Lagerstroemia indica	53	32	-16	-11	-5
Ginkgo biloba	56	5	-1	1	-5
Prunus avium	56	-7	24	-11	-6
Liquidambar styraciflua	58	18	-2	-10	-6
Pinus nigra	59	-24	34	-5	-6
Acer saccharinum	61	-19	0	22	-2
Salix alba	63	-13	32	-13	-5
Fraxinus excelsior	69	-12	30	-12	-7
Celtis australis	70	3	-13	17	-7
Ulmus minor	75	-16	-7	-5	28
Morus alba	78	41	-17	-16	-8
Cupressus arizonica	84	-34	-16	58	-8
Ligustrum japonicum	87	30	-4	-17	-9
Thuya plicata	95	40	-15	-16	-10
Fraxinus angustifolia	101	32	-1	-20	-10
Acer negundo	105	-38	61	-12	-11
Picea abies	108	-38	14	35	-11
Robinia pseudoacacia	111	2	26	-16	-11
Acer campestre	140	53	-19	-20	-14
Populus alba	140	-52	-14	26	40
Prunus pissardi nigra	143	-12	55	-29	-14
Cedus deodara	153	-61	-46	-14	121
Fraxinus ornus	154	70	-24	-31	-15
Pinus pinea	156	-62	0	78	-16
Cercis siliquastrum	182	64	-10	-36	-18
Tilia x europaea	187	-70	-15	104	-19
Platanus hybrida	188	-70	67	-12	15
Acer platanoides	238	0	69	-45	-24
Tilia cordata	279	-112	0	139	-28
Carpinus betulus	425	5	91	-54	-43

	Lieve	Valore compreso tra -10 e +10
	Medio	Valore compreso tra -11 e -50 e tra +11 e +50
	Significativo	Valore compreso tra -51 e 99 e tra +51 e +99
	Molto significativo	Valore inferiore a -100 e maggiore di +100

Focalizzando l'attenzione sugli individui più giovani (classe diametrica 0-20 cm) emerge la situazione mostrata in Fig. 5.1. In ordinata è rappresentato il numero degli individui in difetto (parte sinistra) e in eccesso (parte destra) rispetto alla distribuzione ottimale.

I valori negativi delle specie collocate nella parte sinistra del grafico indicano la necessità di provvedere all'impianto di individui giovani per garantire la presenza della specie anche in futuro. E' importante agire in modo preventivo per evitare che con la scomparsa degli individui di grandi dimensioni, giunti al termine del loro ciclo vitale, si crei una situazione di "vuoto" a carico delle specie che attualmente sono rappresentate soprattutto o addirittura esclusivamente da esemplari maturi o senescenti.

La presenza di esemplari arborei giovani consente il mantenimento della specie nel tempo



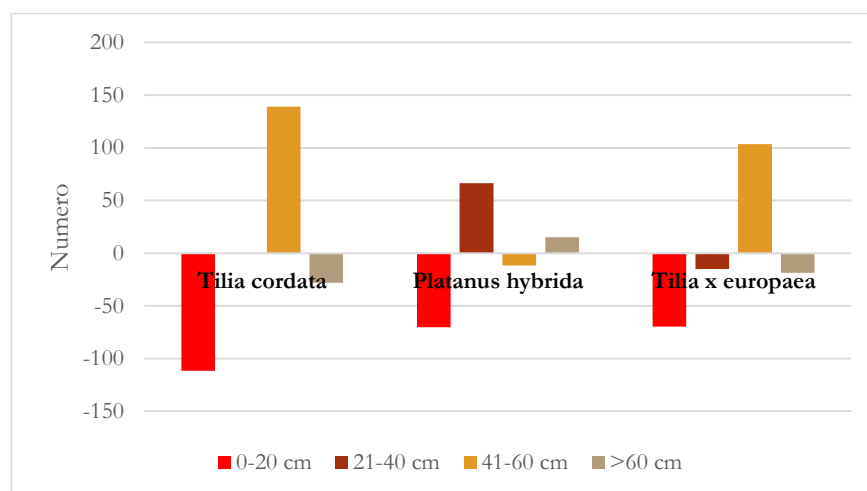
Va evidenziato che, nell'area di studio, le specie che mostrano un deficit maggiore nella classe diametrica più bassa sono quelle che attualmente forniscono il contributo più significativo alla rimozione delle sostanze inquinanti dall'atmosfera e al sequestro del carbonio. Per valutare lo stato complessivo delle tre specie caratterizzate dal deficit maggiore nella classe inferiore (parte sinistra della Fig. 5.1), sono rappresentati i dati degli individui in eccesso e in difetto riferiti alle 4 classi diametriche (Fig. 5.2).

▲ Figura 5.1

Differenza tra il numero di individui arborei attuali e previsti dalla distribuzione cronologica ottimale per la classe diametrica 0-20 (individui giovani)

Figura 5.2 ►

Numero di individui arborei in eccesso e in difetto per classi diametriche, relativi alle specie *Tilia cordata*, *Platanus hybrida* e *Tilia x europaea*



5.3.1 Specie nei parchi e lungo le strade

La valutazione dello scostamento dalla distribuzione ottimale delle specie presenti nell'area studio è proseguita distinguendo gli esemplari posizionati lungo le strade da quelli situati nelle aree verdi e nei parchi urbani.

Nei parchi urbani e nelle aree verdi si trovano le specie caratterizzate soprattutto da esemplari di dimensioni medio-grandi, ad uno stadio avanzato del loro ciclo vitale. In Tab. 5.3 sono riportate le specie che mostrano all'interno dell'area studio, il deficit maggiore di individui giovani. Se deficit è riscontrato anche nella classe diametrica superiore, la sostenibilità nel tempo della singola specie diventa più difficile. Le specie più interessate dal deficit di individui giovani sono *Cedrus deodara*, *Populus alba*, *Tilia x europaea*, *Pinus pinea*, *Cupressus arizonica*.

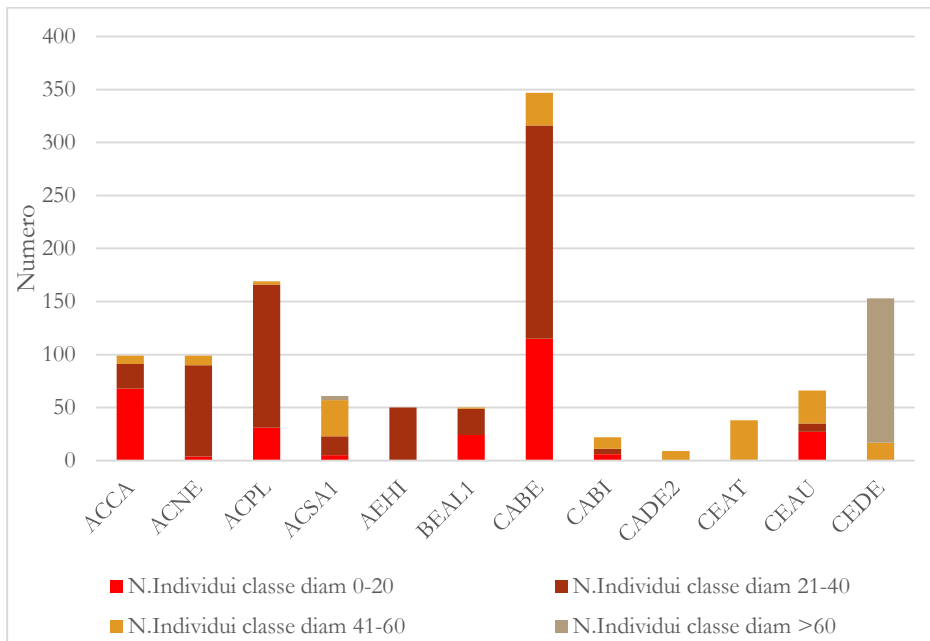
Specie nei parchi e nelle aree verdi

Tabella 5.3 ►

Deficit di individui arborei delle classi diametriche 0-20 e 20-40 per le specie presenti nei parchi. Le specie sono elencate in ordine decrescente di deficit della classe 0-20.

Specie	0-20 cm	21-40 cm
<i>Cedrus deodara</i>	-61	-46
<i>Platanus hybrida</i>	-57	70
<i>Populus alba</i>	-54	-13
<i>Picea abies</i>	-41	15
<i>Tilia x europaea</i>	-41	-27
<i>Pinus pinea</i>	-39	-8
<i>Tilia cordata</i>	-38	11
<i>Acer platanoides</i>	-37	84
<i>Acer negundo</i>	-36	56
<i>Cupressus arizonica</i>	-34	-16
<i>Carpinus betulus</i>	-21	95
<i>Aesculus hippocastanus</i>	-20	35
<i>Acer saccharinum</i>	-19	0
<i>Prunus pissardi nigra</i>	-19	37
<i>Fraxinus excelsior</i>	-17	27

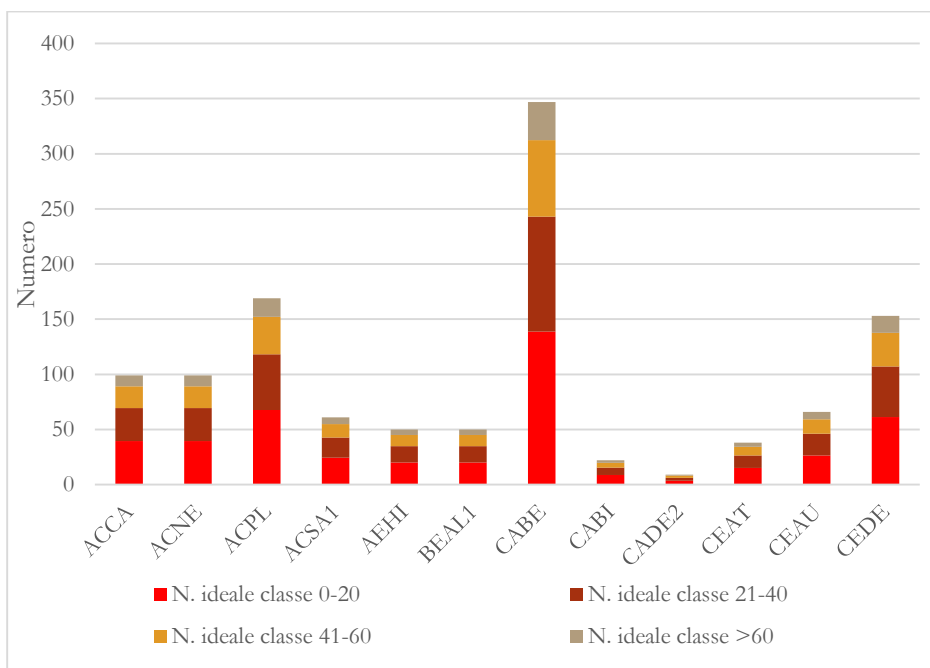
Le Fig. 5.4 e 5.5 mettono a confronto le distribuzioni reale e ottimale di alcune specie arboree presenti nei parchi, mentre la Fig. 5.6 mostra il caso specifico della specie *Acer campestre* in controtendenza rispetto alle altre. I colori identificano le quattro classi diametriche.



◀ **Figura 5.4**

Distribuzione cronologica reale di alcune specie arboree presenti nei parchi e aree verdi

ACCA: *Acer campestre*
 ACNE: *Acer negundo*
 ACPL: *Acer platanoides*
 ACSA1: *Acer saccharinum*
 AEHI: *Aesculus hippocastanum*
 BEAL1: *Betula pendula*
 CABE: *Carpinus betulus*
 CABI: *Catalpa bignonioides*
 CADE2: *Calocedrus decurrens*
 CEAT: *Cedrus atlantica*
 CEAU: *Celtis australis*
 CEDE: *Cedrus deodara*

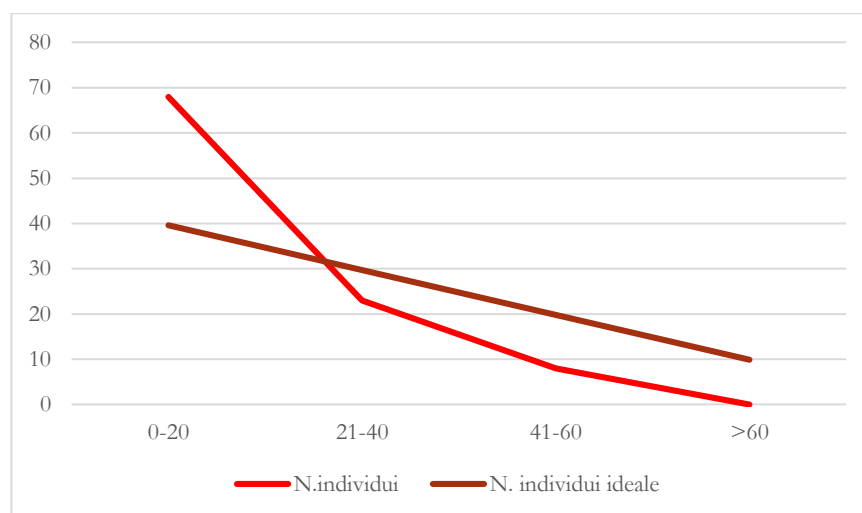


◀ **Figura 5.5**

Distribuzione cronologica ottimale delle specie di Fig. 5.4

Figura 5.6 ►

Distribuzioni cronologiche reale e ottimale degli individui di *Acer campestre* situati in parchi e aree verdi



Per quanto riguarda gli alberi situati lungo le strade, in Tab. 5.4 sono elencate le specie che presentano un deficit di individui giovani. Così come evidenziato per le aree verdi, vanno valutate con maggior attenzione le specie che mostrano un deficit di individui anche nella classe successiva (20-40), come ad esempio *Tilia cordata*. Questa specie attualmente è tra le più significative dell'area di studio, in termini di numerosità e di servizi ecosistemici forniti. Diverso lo stato delle specie *Tilia x europaea* e *Pinus pinea* in cui i valori negativi relativi alla classe 0-20 sono compensati dal surplus di esemplari appartenenti alla classe successiva.

Tabella 5.4 ►

Deficit di individui delle classi diametriche 0-20 e 20-40 cm per le specie arboree stradali. Le specie sono elencate in ordine decrescente di deficit della classe 0-20.

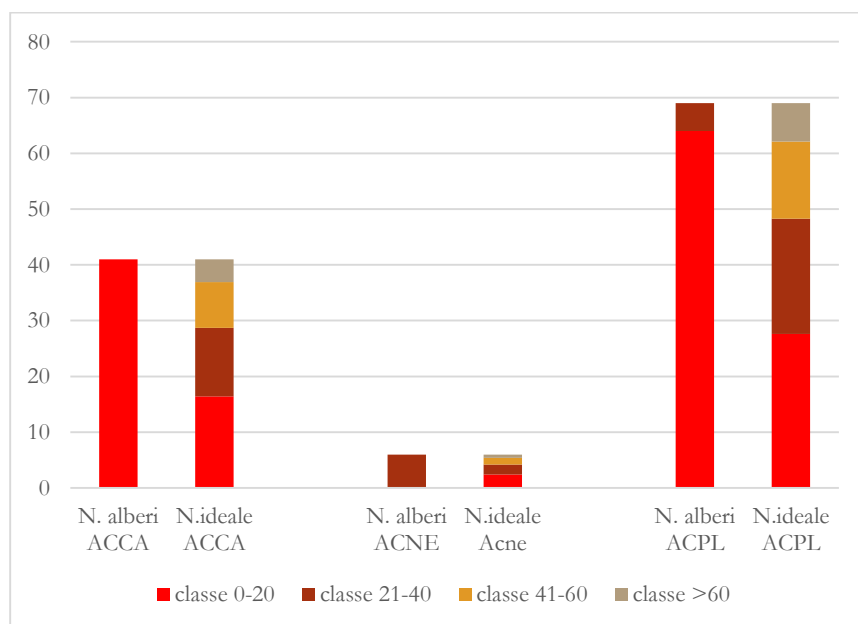
Specie	0-20	21-40
<i>Tilia cordata</i>	-74	-11
<i>Tilia x europaea</i>	-28	12
<i>Pinus pinea</i>	-24	8
<i>Platanus hybrida</i>	-13	-3
<i>Ostrya</i>	-9	15
<i>Pinus nigra</i>	-8	14
<i>Ginkgo</i>	-8	1
<i>Acer negundo</i>	-2	4
<i>Paulownia tomentosa</i>	-1	-1

Analizzando le specie stradali sono in numero maggiore quelle che presentano un surplus di individui nella classe inferiore e un deficit nelle altre classi, ad indicare che la maggior parte delle specie sono composte da alberi giovani (Tab. 5.5). A titolo di esempio, in Fig. 5.7 vengono messe a confronto le distribuzioni reale e ottimale degli individui stradali appartenenti al genere *Acer*.

Specie	0-20	21-40	41-60	>60
<i>Picea abies</i>	3	-2	-1	-1
<i>Quercus ilex</i>	4	-2	-1	-1
<i>Gleditsia triacanthos</i>	5	-2	-2	-1
<i>Fraxinus excelsior</i>	5	3	-5	-3
<i>Prunus avium</i>	6	-2	-3	-1
<i>Robinia pseudoacacia</i>	6	-2	-3	-2
<i>Catalpa bignonioides</i>	6	-3	-2	-1
<i>Prunus pissardi nigra</i>	7	18	-16	-8
<i>Lagerstroemia indica</i>	10	-5	-3	-2
<i>Liriodendron tulipifera</i>	11	-5	-4	-2
<i>plum spp</i>	11	-6	-4	-2
<i>Ligustrum japonicum</i>	11	-1	-7	-3
<i>Cornus mas</i>	14	-7	-5	-2
<i>Hybiscus siriacus</i>	18	-9	-6	-3
<i>Pirus communis</i>	19	-9	-6	-3
<i>Fraxinus angustifolia</i>	19	-9	-6	-3
<i>Acer campestre</i>	25	-12	-8	-4
<i>Carpinus betulus</i>	26	-4	-15	-7
<i>Fraxinus ornus</i>	28	-14	-9	-5
<i>Morus alba</i>	32	-16	-11	-5
<i>Acer platanoides</i>	36	-16	-14	-7
<i>Cercis siliquastrum</i>	57	-14	-29	-14

◀ **Tabella 5.5**

Valori relativi alle specie
situate lungo le strade

◀ **Figura 5.7**

Distribuzioni reali e ottimali
degli individui delle tre specie
arboree stradali

ACCA: *Acer campestre*,

ACNE: *Acer negundo*

ACPL: *Acer platanoides*.

I colori identificano le 4
classi diametriche

5.3.2 Inquinanti rimossi dal popolamento ottimale

L'obiettivo dell'analisi è stimare le quantità potenziali di inquinanti rimosse dall'atmosfera nel caso il popolamento arboreo si trovi nello stato ottimale e confrontare i risultati con i dati emersi dal modello, relativi al popolamento arboreo pubblico esistente al 2012.

Quale quantità di inquinanti atmosferici sarebbero rimossi dal popolamento arboreo ottimale per distribuzione cronologica?

Un popolamento arboreo pubblico strutturato secondo una distribuzione cronologica "ottimale" dovrebbe presentare nel medio-lungo termine costi di gestione minori rispetto a quelli di altri scenari. Tale struttura, infatti, potrebbe assicurare nel tempo il mantenimento dei servizi ecosistemici forniti dalla componente arborea, che verrebbe gestita secondo il principio della sostenibilità.

Per il calcolo delle quantità degli inquinanti rimossi dal popolamento arboreo pubblico ottimale sono stati utilizzati i dati sulle quantità di inquinanti rimosse dai singoli alberi (output del modello UFORE) e quelli sul numero teorico di individui arborei per specie e per classe di età (di diametro) calcolati al punto precedente.

Per ciascuna specie arborea, in corrispondenza alle quattro classi diametriche sono stati assegnati i valori degli inquinanti rimossi, calcolati con il modello, relativi ad un individuo arboreo (o alla media di più individui appartenenti alla stessa classe) della stessa specie e appartenente alla stessa classe.

Tali quantità unitarie sono state successivamente moltiplicate per il numero di individui arborei corrispondenti alla distribuzione ottimale, ottenendo così le quantità di inquinanti per classe diametrica.

Come è stato risolto il problema della mancanza di individui rappresentativi per alcune classi di diametro?

In alcuni casi, tuttavia, il dato unitario sulle quantità di inquinanti rimosse non era disponibile poiché, nella situazione reale, non tutte le specie sono rappresentate da individui arborei appartenenti alle 4 classi diametriche. Anzi, la situazione nell'area studio è opposta: sono poche le specie che dispongono di un set di individui eterogeneo che copre l'intero intervallo delle classi diametriche.

Per coprire le lacune delle classi diametriche non rappresentate sono state adottate due strategie:

1) i dati relativi agli individui situati lungo le strade sono stati utilizzati per gli individui situati nelle aree verdi e nei parchi (a parità di specie e di classe diametrica) e viceversa;

2) i dati relativi agli individui delle classi diametriche mancanti sono stati calcolati utilizzando il modello *i-Tree.Street*, applicativo della suite *i-Tree*. Tale modello, meno articolato di *i-Tree Eco*, si basa sui dati di specie e diametro del tronco per stimare il valore della superficie fogliare (*leaf area*) e calcolare le quantità di inquinanti atmosferici rimossi dai singoli individui.

Per calcolare i dati delle classi diametriche mancanti è stato utilizzato il modello *i-Tree Street*

Nel caso in esame, tuttavia, è stato necessario effettuare alcune elaborazioni preliminari prima di poter utilizzare i dati di rimozione individuale (per specie e per classe) nel procedimento descritto sopra.

Nonostante il modello fornisca i dati individuali di rimozione degli inquinanti, si è valutato di non utilizzarli per lo studio in quanto frutto di un procedimento di elaborazione basato su condizioni diverse da quelle dell'area studio, come ad esempio il contesto meteorologico.

Si è deciso, quindi, di considerare come punto di partenza per la determinazione delle quantità rimosse il dato sulla superficie fogliare individuale generato da *i-Tree Street*.

Va specificato che il modello *i-Tree Street* è stato applicato, per ciascuna specie, non solo alle classi diametriche mancanti (cioè non presenti nell'area studio), ma anche ad almeno una classe presente sul territorio di cui si dispone delle informazioni sulla superficie fogliare e sulle quantità di inquinanti rimossi. Questo al fine di permettere un confronto tra i risultati generati dai due modelli e una "taratura" dei dati prodotti da *i-Tree Street* per renderli confrontabili con quelli di *i-Tree Eco*, applicativo che richiede in input un set di dati e informazioni ben più corposo.

Applicando i criteri di proporzionalità tra i dati sulla percentuale di copertura della canopy di ciascun individuo, sulla copertura totale della canopy e sul valore complessivo per specie della superficie fogliare, si è calcolato il valore di superficie fogliare per singolo individuo.

Applicando, all'interno della stessa specie, la proporzione

$$Leaf\ Area\ x : Q.tà\ rimossa\ Inq.\ x = Leaf\ Area\ y : Q.tà\ rimossa\ Inq.\ y$$

dove x e y rappresentano due diverse classi diametriche, si sono ricavati i valori mancanti delle quantità di inquinanti rimosse da individui di diverse dimensioni (età).

Una volta completato il calcolo delle quantità di inquinanti rimossi per le quattro classi diametriche delle specie stradali e di quelle presenti nelle aree verdi, e moltiplicato tali valori per il numero di individui ottimali relativi a ciascuna classe e specie, si sono calcolati i valori complessivi delle quantità di inquinanti potenzialmente rimosse dal popolamento. (Tab. 5.6). Infine i risultati ottenuti sono stati messi a confronto con i dati relativi alla situazione reale, calcolati con il modello UFORE (Tab. 5.7).



Si è presa a riferimento la superficie fogliare (leaf area) e applicata la proporzione con i valori delle quantità rimosse

Tabella 5.6 ►

Quantità di inquinanti rimosse dal popolamento ottimale nei due contesti ambientali e nell'area di studio(g/anno)

Contesto ambientale	Quantità rimossa dall'atmosfera (g/anno)					
	CO	O ₃	NO ₂	PM10	SO ₂	TOT
Parchi/aree verdi	14.362	764.748	228.239	788.024	41.159	1.836.532
Strade	2.777	147.879	41.234	203.569	7.436	402.895
Area studio	17.139	912.627	269.473	991.593	48.595	2.239.428

Tabella 5.7 ►

Confronto tra le quantità di inquinanti rimosse dal popolamento arboreo del caso studio (reale) e da quello ottimale (kg/anno)

Popolamento	Quantità rimossa dall'atmosfera (kg/anno)					
	CO	O ₃	NO ₂	PM10	SO ₂	TOT
Reale	20	1.074	321	1.036	58	2.509
Ottimale	17	913	270	992	49	2.239
Scostamento %	15%	15%	16%	4%	15%	11%

Il popolamento ottimale rimuoverebbe una quantità di inquinanti minore dell'11% rispetto alla situazione attuale

Dai risultati mostrati in Tab.5.7 si evince che il popolamento arboreo pubblico attualmente presente nell'area studio fornisce un contributo al miglioramento della qualità dell'aria superiore dell'11% rispetto a quello prodotto da un popolamento arboreo con una distribuzione cronologica ottimale.

Nel secondo caso, tuttavia, il contributo stimato proviene da un popolamento arboreo “sostenibile”, in cui la perdita degli esemplari più vecchi è rimpiazzata dalla presenza di individui giovani, e pertanto si può assumere, a livello teorico ed escludendo l'intervento di fattori esterni, che tale risultato possa essere mantenuto costante nel tempo.

A tal proposito sarebbe interessante valutare l'evoluzione dei due scenari (reale e ideale) in un arco di tempo decennale e determinare mediante un'analisi costi/efficacia, lo scenario migliore. Si può già affermare, tuttavia, che un popolamento arboreo non soggetto a forti variazioni cicliche, che mantiene nel tempo le caratteristiche strutturali e funzionali, presenta dei punti di forza anche sul piano della gestione economica della risorsa del verde urbano.

Analisi costi/efficienza dei due scenari con proiezione decennale

5.4 Considerazioni e proposte

Dall'analisi dei dati sulla distribuzione cronologica ottimale e sulla variazione del contributo del verde al miglioramento della qualità dell'aria, si possono avanzare alcune considerazioni e proposte.

Da un primo sguardo, osservando il quadro sinottico delle specie arboree riportato in Tab. 5.2 la situazione generale non appare lontana dalla situazione ottimale, infatti la maggior parte delle specie presenta deboli valori di scostamento.

Il numero di specie che presentano forti criticità è esiguo, tuttavia si tratta delle specie più numerose presenti nell'area di studio.

E' necessario focalizzare l'attenzione sulle specie arboree che al momento attuale sono rappresentate prevalentemente da individui di dimensioni medio-grandi e che contribuiscono in modo significativo alla rimozione degli inquinanti atmosferici e, in generale, ai servizi ecosistemici. Mediante l'analisi della distribuzione delle classi di età, si potranno valutare le condizioni affinché questo contributo si mantenga significativo nel tempo, ed eventualmente individuare le misure da adottare.

Integrare il popolamento con individui giovani

Nel caso siano poco o per nulla rappresentate le classi degli individui arborei giovani (classe diametrica 0-20), come succede per le specie presenti soprattutto nei parchi e nelle aree verdi, è importante valutare, caso per caso a seconda della specie, la reale opportunità/utilità di impianto di individui giovani. Il principio della distribuzione cronologica ottimale degli individui adottato per l'analisi precedente, non può e non deve essere l'unico criterio da adottare per assicurare il mantenimento dei servizi ecosistemici. Le scelte gestionali devono basarsi anche su considerazioni riguardanti la provenienza della specie (autoctona/alloctona), la sua adattabilità alle condizioni ambientali del contesto urbano, la resistenza agli agenti patogeni e altre. Per questi motivi potrebbe risultare più efficace sostituire gli individui di una specie che hanno terminato il proprio ciclo di vita con individui giovani di altre specie più adatte o più opportune.

Scegliere le specie più adatte

I numeri degli individui identificati dalle prime due classi diametriche 0-20 e 20-40, così come quelli appartenenti alle ultime due classi degli individui adulti, per alcune specie devono essere valutati insieme. Nel caso degli individui giovani e maturi (classi 0-20 e 21-40) può risultare opportuno, a seconda del contesto, privilegiare l'impiego di individui della classe inferiore o, al contrario, ripristinare il popolamento con individui già maturi. Nel caso, invece, delle classi superiori relative agli individui adulti, va evidenziato che alcune specie non raggiungono mai le dimensioni del diametro assegnato all'ultima classe. Pertanto, anche in questo caso, è importante nel caso di alcune specie arboree, interpretare i risultati numerici in modo corretto, "personalizzando" il significato quando opportuno.

Interpretare i risultati numerici adattandoli alle diverse specie

Le specie che hanno evidenziato un importante deficit di individui nelle classi inferiori, e che sono ritenute idonee per il contesto urbano, andrebbero reintegrate mediante nuovi impianti. La scelta delle aree pubbliche idonee e il numero di individui da mettere a dimora dovranno tenere in considerazione anche la dimensione delle piante durante le diverse fasi dello sviluppo e lo spazio necessario per garantire loro condizioni ambientali adeguate.

Parte III

Nuove tecnologie e strumenti sociali per l'aumento della conoscenza

1. ELABORAZIONE DI IMMAGINI PER IL VERDE ARBOREO PRIVATO

1.1 Opportunità delle nuove tecnologie

1.1.1 Portatori di interesse

Nel capitolo viene trattato l'impiego di alcune tecnologie innovative per lo studio del verde urbano e la misura di parametri dimensionali e funzionali della componente arborea. Gli obiettivi principali dell'uso delle nuove tecnologie, alcune disponibili a costi sempre più accessibili, consistono nell'ottimizzazione delle attività di rilevamento sia in termini di aumento dell'efficienza (registrazione di una maggiore quantità di informazioni in minor tempo), che di miglioramento della qualità delle misure.

I principali soggetti interessati alle potenzialità di questi strumenti sono quindi le istituzioni pubbliche e gli enti locali deputati alla gestione del verde pubblico in ambito urbano. Tuttavia, l'utilizzo di tali tecnologie può aprire nuove opportunità di studio e di partecipazione per altri soggetti, impegnati nelle attività indicate di seguito:

- fornire supporto nell'attività periodica di censimento del verde pubblico, in base alle disposizioni della L.10/2013, nella semplificazione delle operazioni di acquisizione, verifica e aggiornamento dei dati;
- fornire uno strumento conoscitivo di supporto alle decisioni e di indirizzo per la gestione del verde pubblico (siti di nuovi impianti, manutenzione periodica e straordinaria);
- semplificare e accelerare il processo di acquisizione dati utilizzati per il calcolo di indicatori ambientali e di fruibilità del verde;
- determinare gli indici di valutazione dello stato di salute della vegetazione urbana, sia pubblica che privata (NDVI);

- acquisire dati e misure puntuali sugli alberi, sia in aree pubbliche che private, per la stima del contributo ambientale del verde sulla rimozione di alcuni inquinanti e dell'anidride carbonica dall'atmosfera.
- elaborare nuovi indicatori ambientali del verde urbano relativi anche alla componente privata che in molti contesti urbani costituisce una quota consistente del patrimonio verde;
- approfondire lo studio della componente privata della vegetazione in ambito urbano, identificando i tipi e le specie vegetali.

Il verde privato

Ad oggi non sono disponibili dati sulla componente privata del verde urbano, pur riconoscendo che in alcuni contesti tale componente può contribuire al verde complessivo con una quota rilevante, che si riflette anche nei servizi ecosistemici forniti. L'interesse dei Comuni per approfondire le nuove tecnologie per lo studio, la determinazione e l'indagine sul verde privato potrebbe avere i seguenti obiettivi:

- aumentare consapevolezza del peso del verde privato sul totale verde pubblico (incidenza %);
- definire il “punto zero” per avviare sistemi di monitoraggio periodico;
- opportunità di rilevare ed evidenziare particolari situazioni di pregio del popolamento arboreo (dimensioni, specie, ecc.);
- opportunità per effettuare campagne informative “mirate” sulle modalità e sui tempi di manutenzione del verde, utilizzo verde tecnologico (pareti, giardini pensili) per aumentare l'efficienza dei servizi ecosistemici e contrastare gli impatti dei cambiamenti climatici.
- possibilità di coinvolgimento dei cittadini nella produzione di mappe collaborative del verde urbano attraverso la localizzazione delle specie arboree e arbustive presenti nel proprio giardino (utile anche per un'eventuale mappa delle potenziali emissioni polliniche allergeniche)

1.1.2 Strumenti e tecnologie

Un filone di ricerca già consolidato studia da tempo le potenzialità offerte dalle tecniche di elaborazione di immagini digitali da remoto e ha messo a disposizione un'ampia bibliografia sull'argomento che conferma il fatto che questi strumenti possono costituire un valido supporto sia a fini di ricerca che per scopi operativi e gestionali.

LiDAR

L'integrazione dei dati delle immagini rilevate da remoto con altri tipi di tecnologie fornisce ulteriori possibilità di analisi della vegetazione; alcune delle quali sono oggetto del caso applicativo presentato in seguito.

Una tecnologia innovativa è costituita dall'impiego dei dati rilevati con il sistema LiDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*)

Il LiDAR è un sistema laser che emette impulsi e ne misura i tempi di ritorno; conoscendo la velocità della luce, è possibile trasformare i tempi di ritorno degli impulsi in distanze e generare le cosiddette “nuvole di punti” (*point clouds*).

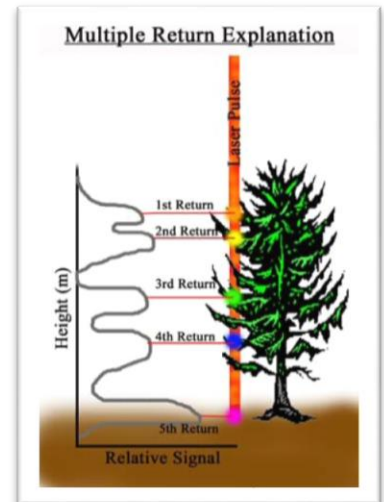
Le nuvole di punti provenienti dai rilievi aerei permettono di ricostruire dei modelli digitali del terreno (DTM – *Digital Terrain Model*) e della superficie (DSM – *Digital Surface Model*). Il primo esprime l'andamento della superficie geodetica (altimetria del livello del suolo - *ground*), epurato dagli elementi antropici e naturali che si appoggiano su di esso, mentre il secondo considera tutte le altimetrie degli elementi del paesaggio, ricostruendo una superficie che include la vegetazione, gli edifici e altri manufatti.

Una seconda tecnologia per acquisire informazioni sulle caratteristiche dimensionali della vegetazione presente in ambito urbano è rappresentata dall'utilizzo di sistemi MMS (*Mobile Mapping System*). Questa tecnologia, nata per il rilievo stradale, rappresenta un sistema innovativo ed efficiente per acquisire grandi moli di dati georiferiti in un lasso di tempo breve. Il sistema è composto da un veicolo dotato di telecamere metriche, un sistema di posizionamento GPS differenziale, una IMU (Stazione inerziale) e un odometro. Gli MMS possono essere impiegati, sia per la raccolta speditiva di nuove informazioni sul verde urbano, sia per produrre aggiornamenti successivi in tempi rapidi. Oltre alle informazioni di base sulla localizzazione e sulle dimensioni degli esemplari arborei, lo strumento permette di ottenere una visione 3D degli alberi inseriti nel contesto urbanizzato, assieme alle altre componenti dell'ambiente urbano, fornendo un'informazione completa e utile per la gestione del verde urbano.

Un aspetto interessante consiste nel fatto che l'immagine può essere trasformata in modelli geo-referenziati 3D che possono essere integrati con altri modelli per effettuare analisi spaziali e migliorare la presentazione dei dati.

I dati rilevati con questa tecnologia si sono dimostrati di buona qualità e adatti al loro impiego per fini gestionali, pur con qualche limitazione dovuta per esempio alla eccessiva vicinanza della strada percorsa dal mezzo rispetto alle alberature stradali. In tal caso la rilevazione dei dati relativi all'altezza dell'albero e alle dimensioni della chioma non rispetta i requisiti necessari per ottenere un risultato valido. (Shiu *et al.*, 2012)

Anche tra le applicazioni per *smartphone* e *tablet*, ve ne sono molte inerenti attività connesse con la vegetazione. Gli ambiti di applicazione sono vari: dal riconoscimento delle specie vegetali, alla misurazione di altezze e distanze, alla localizzazione di alberi censiti dagli enti



Mobile Mapping System

App per smartphone e tablet e piattaforme web per la condivisione dei dati

Maggiore il numero delle bande, migliore la definizione della componente vegetale

competenti, alla possibilità di segnalare all'amministrazione eventuali situazioni di pericolo o disservizio. L'uso di piattaforme web di condivisione delle informazioni permette alle amministrazioni pubbliche non solo di diffondere i propri dati, ma anche di raccogliere le informazioni fornite dai cittadini, con il duplice obiettivo di integrare il quadro di conoscenze di base sul territorio e di fornire ai cittadini uno strumento innovativo per interagire con l'amministrazione. Lo studio della vegetazione mediante tecniche di remote sensing (*earth observation* - EO) comprende vari strumenti e metodologie e può essere condotto a diversi livelli di dettaglio. A seconda delle caratteristiche dei dati acquisiti dalle piattaforme di rilevamento per l'osservazione della terra è possibile effettuare elaborazioni ed indagini conoscitive con diversi gradi di approfondimento.

La situazione più favorevole è rappresentata dall'impiego di immagini multispettrali rilevate dalle piattaforme satellitari ed aeree dotate di sensori digitali multispettrali, come ad esempio Worldview 2, che permettono di discriminare le risposte della vegetazione nei diversi intervalli dello spettro elettromagnetico, fornendo maggiori possibilità di composizione delle diverse bande per estrarre informazione. L'impiego di strumenti di questo tipo consente di valutare, con un sufficiente grado di affidabilità, tipi vegetazionali (conifere, caducifoglie) e specie arboree diverse.

1.2 Remote sensing

L'analisi effettuata nell'area di studio è descritta successivamente, utilizza i fondamenti teorici dell'elaborazione delle immagini telerilevate.

Pur presentando caratteristiche diverse, le due piattaforme di acquisizione, aerea e satellitare, mostrano delle analogie di tipo radiometrico e geometrico.

Per meglio comprendere il significato delle operazioni svolte nelle fasi di elaborazione descritte in seguito, si ritiene opportuno tracciare un quadro sintetico delle basi scientifiche a supporto del metodo adottato e introdurre il significato di alcuni concetti e terminologie utilizzati.

Uno dei principi fondamentali su si basa dei sistemi di remote sensing è che l'energia incidente (E_i), proveniente dal sole o da una fonte esterna (sensori attivi) viene riflessa (E_r), trasmessa (E_t) e assorbita (E_a) dagli oggetti presenti sulla superficie a seconda della tipologia e condizioni.

In termini radiometrici la relazione è espressa dalla formula

$$\dot{q}_{inc} = \dot{q}_a + \dot{q}_r + \dot{q}_t$$

Dividendo ciascun termine per l'energia incidente, si ottiene

$$\frac{\dot{q}_{inc}}{\dot{q}_{inc}} = \frac{\dot{q}_a}{\dot{q}_{inc}} + \frac{\dot{q}_r}{\dot{q}_{inc}} + \frac{\dot{q}_t}{\dot{q}_{inc}} = 1$$

Ponendo

$$a = \frac{\dot{q}_a}{\dot{q}_{inc}}; \quad r = \frac{\dot{q}_r}{\dot{q}_{inc}}; \quad t = \frac{\dot{q}_t}{\dot{q}_{inc}}$$

Si ottiene

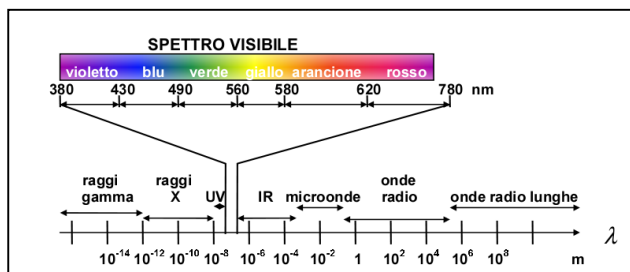
$$a + r + t = 1$$

dove:

a = coefficiente di assorbimento o assorbanza

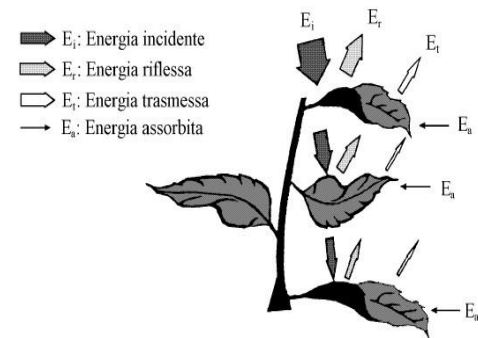
r = coefficiente di riflessione o riflettanza

t = coefficiente di trasmissione o trasmittanza



Ponendo in un grafico la radiazione riflessa (% riflettanza) di un corpo in funzione della lunghezza d'onda si ottiene la “firma spettrale” della superficie.

Ne deriva che due o più oggetti sono tanto più riconoscibili e “separabili” quanto più le loro firme spettrali mostrano, a corrispondenti valori di lunghezza d'onda, diversi valori di riflettanza. In Fig. 1.2 sono rappresentate le firme spettrali di alcune superfici.

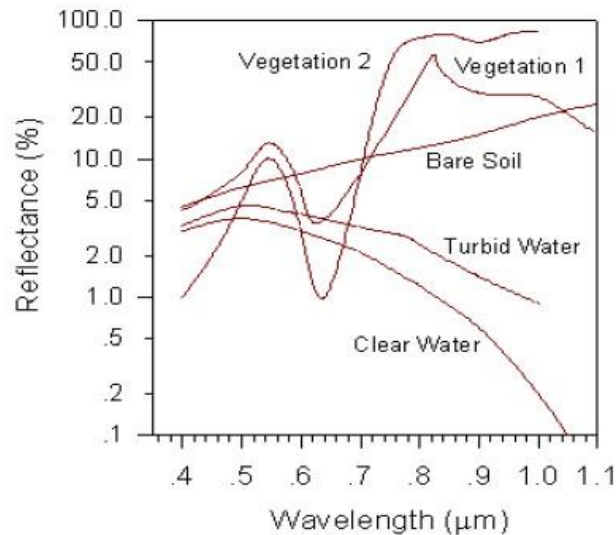


◀ **Figura 1.1**

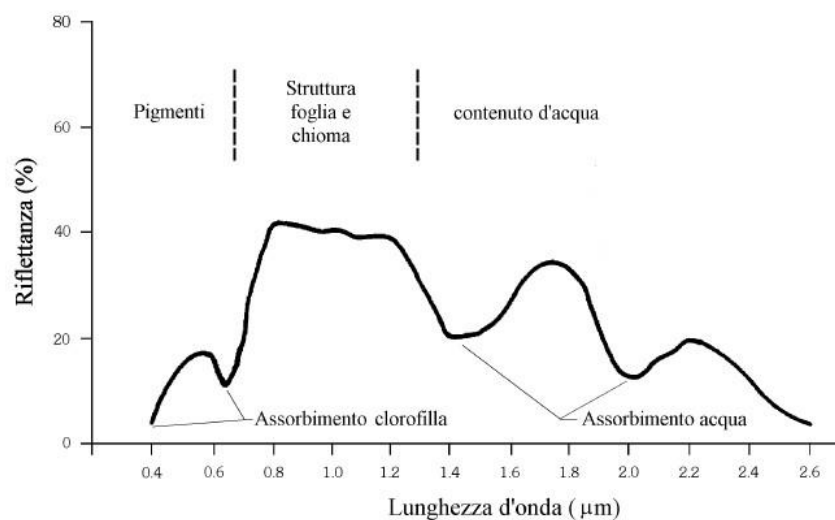
Spettro elettromagnetico: sono evidenziate le lunghezze d'onda comprese nella porzione del visibile

Figura 1.2 ►

Firme spettrali di alcune superfici: suolo nudo, acqua limpida e torbida, due tipi di vegetazione



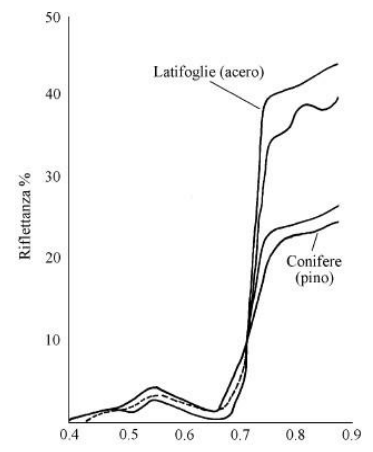
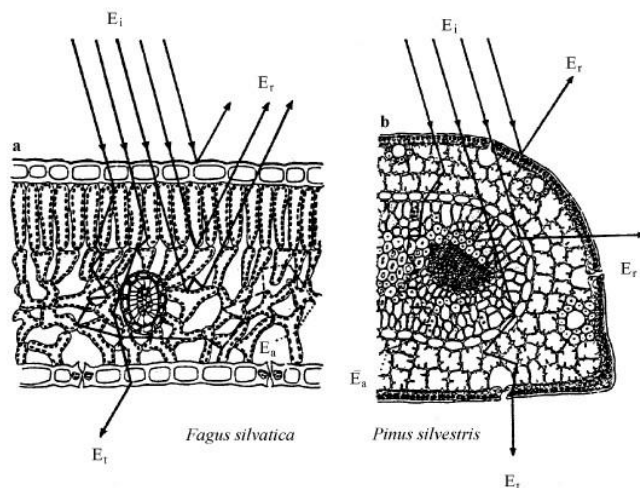
La firma spettrale della vegetazione, pur mostrando un andamento tipico, non è univoca poiché il suo andamento può variare in funzione di vari fattori come il tipo, la densità, lo stato fitosanitario e il contenuto di umidità. L'andamento della curva di riflettanza interessa le bande del visibile, del vicino e del medio infrarosso, i cui valori sono influenzati rispettivamente dal contenuto e tipo di pigmenti fogliari, dalla struttura fogliare e dal contenuto in acqua, come mostrato in Fig.1.3 (Gomarasca, 1997).

Figura 1.3 ►

L'energia riflessa nel campo del visibile ($0,4 - 0,7 \mu\text{m}$) è legata alla presenza di pigmenti fogliari (clorofilla, xantofilla e carotene). La clorofilla assorbe la radiazione nel blu e nel rosso e riflette nel verde l'8-15% dell'energia incidente.

La struttura fogliare (mesofillo) determina il comportamento spettrale nelle bande dell'infrarosso vicino ($0,70 - 1,35 \mu\text{m}$) generando valori di riflessione elevati, tra il 30 e 70% dell'energia incidente. La quota residua della radiazione incidente viene soprattutto trasmessa, una parte minima viene assorbita. Questo aspetto è di fondamentale importanza per l'analisi della vegetazione con le tecniche del telerilevamento. Poiché lo sviluppo del mesofillo varia a seconda delle condizioni di salute della pianta, della specie e dello stadio fenologico, l'analisi della riflettanza nell'infrarosso vicino può essere utilizzata per distinguere specie diverse e per identificare eventuali fitopatologie all'interno di un popolamento vegetale omogeneo (Fig. 1.4).

Il contenuto in acqua della foglia influenza la risposta spettrale nel dominio dell'infrarosso medio ($1,35 - 2,70 \mu\text{m}$); in caso di stress idrico aumenta la quota di radiazione riflessa, in misura diversa a seconda della banda di assorbimento.

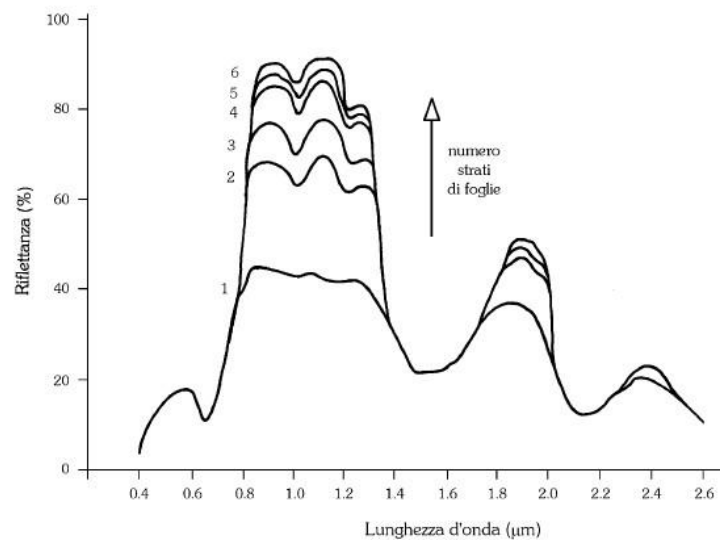


◀▲ Figure 1.4 (a,b,c)

Comportamento di riflessione della radiazione incidente in funzione della struttura fogliare: a) latifolia b) conifera

Poiché la presenza di più strati fogliari determina un aumento, seppur debole, del valore della radiazione riflessa, si può affermare che la risposta spettrale delle diverse specie vegetali non è causata solo da differenze a livello fogliare ma dipende anche dalla struttura della pianta (Fig. 1.5).

Figura 1.5 ►
Aumento della riflettanza
all'aumentare degli strati
fogliari



Analizzando i comportamenti spettrali e applicando algoritmi basati sul rapporto tra bande di assorbimento e riflessione, è possibile definire relazioni tra i dati telerilevati e le informazioni fenologiche, espresse ad esempio dagli indici di vegetazione.

Gli indici di vegetazione

Gli indici di vegetazione sono combinazioni algebriche di misure di riflettanza in due o più canali spettrali nell'infrarosso vicino e nel rosso e vengono utilizzati per valutare lo stato della biomassa vegetale; essi sono correlati con i parametri della vegetazione associati allo stato di salute e alla produttività (densità, copertura, biomassa verde, indice di clorofilla, LAI) (Clevers e Leeuwen, 1996, Rondeaux *et al.*, 1996).

Molto utilizzato è l'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) che fornisce una prima indicazione sulla distribuzione spaziale della vegetazione e permette il confronto fra immagini riprese in tempi diversi.

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*

L'indice NDVI è dato dal rapporto tra la differenza e la somma dei valori di riflettanza nelle bande dell'infrarosso vicino (NIR) e del rosso (RED). In queste due bande, infatti, la radiazione riflessa dalla vegetazione è molto diversa: massima in corrispondenza del NIR e minima nel RED, dove la radiazione viene in gran parte assorbita.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

L'indice è adimensionale e può assumere valori compresi tra -1 e +1; valori inferiori allo 0 indicano superfici non vegetate (o coperte da neve, acque o aree cementificate), mentre valori vicini all'unità corrispondono ad aree vegetate con intensa attività fotosintetica ed elevata presenza di biomassa.

1.3 Sperimentazione³⁰

1.3.1 Obiettivi

I risultati emersi dall'applicazione del modello UFORE (Urban Forest Effect), relativi alla sola componente arborea del verde pubblico, hanno prodotto risultati parziali perché non considerano:

1. le altre componenti del verde urbano, quali arbusti e prati, situate nelle aree pubbliche;
2. il verde presente nelle aree private.

Per quanto riguarda il primo punto non è stato possibile calcolare il contributo prodotto dagli arbusti poiché mancavano le informazioni sulla specie e sulla localizzazione delle piante (o siepi). La loro identificazione non compare nel dataset fornito dal Comune prodotto dalle attività di censimento del verde pubblico. In merito alle superfici a prato, invece, si evidenzia che esse richiedono maggiori interventi di manutenzione rispetto alla componente arborea. Durante la stagione primaverile-estiva (vegetativa), gli interventi periodici di sfalcio (almeno 2-3) presuppongono l'impiego di mezzi e macchinari che emettono gas di scarico inquinanti; pertanto il calcolo dei benefici ambientali prodotti dalle superfici a prato non può prescindere dalla stima delle quantità di inquinanti e di carbonio emesse nel corso degli interventi di manutenzione.

Per determinare il contributo ambientale del verde privato sono percorribili più strade, che si differenziano a seconda delle tecniche di elaborazione utilizzate, delle risorse informative disponibili e del livello di precisione del risultato richiesto.

Il procedimento utilizzato nel presente lavoro ha impiegato tecniche di analisi di immagini multispettrali, integrate con la nuvola di dati rilevati con tecnologie laser, entrambe acquisite con specifiche campagne aeree.

La metodologia è stata sperimentata nell'area del quartiere 2 Nord e viene presentata di seguito.

L'obiettivo principale è valutare la consistenza del patrimonio arboreo privato situato nell'area di studio, per stimare il suo contributo al miglioramento della qualità dell'aria. L'applicazione del modello UFORE mediante *i-Tree Eco*, descritta nella Parte II dell'elaborato, ha riguardato esclusivamente la quota di verde arboreo pubblico (di competenza comunale) situato lungo le strade, nei parchi e nelle aree verdi.

Obiettivi

Completare la determinazione delle quantità di inquinanti atmosferici rimossi dalla vegetazione arborea nell'area di studio

Sperimentare l'utilizzo di strumenti innovativi per la costruzione di indicatori ambientali

³⁰ Questa parte è stata realizzata con la gentile collaborazione di Stefano Picchio che mi ha assistito nelle fasi di indirizzo ed elaborazione dei dati.

Le considerazioni effettuate sulla struttura del popolamento arboreo del quartiere 2 Nord e sui servizi ecosistemici generati, presentati mediante indicatori ed indici di vegetazione, sono dunque parziali perché considerano solamente una parte del verde arboreo. La quota di verde arboreo presente nei giardini e aree private e altre aree di competenza non comunale resta esclusa dal processo di elaborazione e, di conseguenza, il suo contributo ambientale non viene conteggiato.

Scopo di questa parte del lavoro è sperimentare l'utilizzo di alcuni strumenti innovativi per la determinazione della componente privata del verde arboreo, per determinare il contributo ambientale complessivo del verde arboreo presente nell'area studio.

1.3.2 Fonti informative e strumenti utilizzati

Per lo svolgimento della procedura di elaborazione dei dati e il calcolo degli indicatori sono state utilizzate le due basi informative rilasciate dal Comune di Padova, Settore Servizi Informatici e Telematici:

- Ortofoto digitale CIR (infrarosso colore), risoluzione spaziale pixel: 8 cm lato Sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest Rilievo eseguito da Blom CGR Spa, con camera digitale Vexcel Ultracam D, volo del 23-24 settembre 2007.
- Rilievo Lidar, volo del 23-24 settembre 2007, risoluzione di 1,1 punti/m², già fornito con quote ortometriche, sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest ³¹

L'intero procedimento di elaborazione si può suddividere in due fasi caratterizzate dall'impiego di tecniche e strumenti diversi.

Nella prima parte della sperimentazione è stato impiegato uno strumento di analisi di immagini telerilevate, il software eCognition 8.9 licenza Evaluation, per individuare nell'ortofoto all'infrarosso le porzioni di territorio coperte da vegetazione e individuare mediante l'elaborazione dei dati LiDAR le diverse classi di altezza della vegetazione allo scopo di isolare la componente arborea.

Nella seconda parte è stato impiegato un software open source per l'elaborazione dei dati geografici (Quantum GIS o QGIS) per effettuare alcune operazioni sul file vettoriale prodotto al termine della fase

³¹ Si evidenzia che essendo entrambe le basi informative disponibili nel sistema di riferimento Gauss Boaga fuso ovest, non è stato necessario effettuare operazioni di riproiezione (correzione geometrica) nel caso di sovrapposizione degli stati informativi. Per l'utilizzo di immagini telerilevate in associazione con fonti informative cartografiche è necessario eseguire un processo di correzione che renda l'immagine geometricamente congruente con la carta (o un'altra immagine) scelta come riferimento. Il metodo di ortorettifica è un sistema adottato di frequente per compiere le correzioni di precisione che, oltre ad eseguire quanto indicato sopra, corregge l'effetto dovuto all'orografia.

precedente, come la determinazione dei poligoni da considerare nei calcoli successivi e la determinazione delle superfici.

1.3.3 Procedimento di elaborazione

L'attività preliminare ha riguardato la predisposizione delle basi informative (ortofoto e rilievo Lidar) per la successiva elaborazione delle immagini.

Attività preliminare

I dati forniti dal Comune di copertura completa dell'area studio sono organizzati in 9 file (*tiles*) che inquadrano parti diverse dell'area di studio.

Per comporre il quadro di unione dell'area di studio si utilizzano i rilievi LiDAR i cui dati essendo nativamente georiferiti possono essere utilizzati per costruire le *bounding box*; a differenza delle ortofoto che presentano delle sovrapposizioni tra i fotogrammi per permettere la mosaicatura e la stereoscopia.

Partendo dalla porzione di territorio coperta dalla mosaicatura delle *tiles*, si è proceduto estraendo l'area di studio (il quartiere 2 Nord), mediante la funzione che consente di intersecare il poligono che delimita il quartiere con l'immagine dell'ortofoto. Ridimensionando poi i confini del poligono così ottenuto (*bounding box*) si esclude dal processo di elaborazione la porzione di territorio esterna all'area studio; questa operazione permette di alleggerire il carico per processamento dei dati e minimizzare quindi il tempo per l'elaborazione.



◀ **Figura 1.6**
Immagine a falsi colori
dell'area di studio

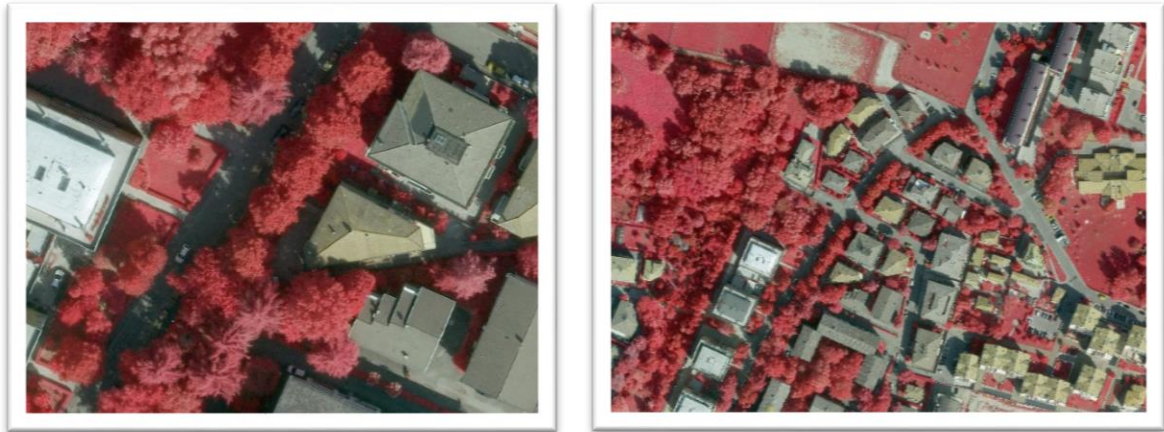
Composizione RGB a falsi colori

Figure 1.7 ▼

Immagini di dettaglio dell'area di studio

La composizione RGB a falsi colori (pseudo color) combina le risposte di due bande della porzione visibile dello spettro elettromagnetico (Red e Green) con la banda dell'infrarosso vicino (NIR – Near InfraRed) rispettivamente nei canali RGB (Red, Green, Blu)³²

Questo tipo di visualizzazione evidenzia le aree coperte da vegetazione che appaiono di colore rosso. Il canale Red viene infatti utilizzato per



visualizzare la risposta nella banda dell'infrarosso, intervallo di frequenza in cui la risposta della vegetazione è massima.

Le diverse tonalità di rosso possono fornire informazioni sullo stato di salute della vegetazione legato all'attività fotosintetica presente a livello fogliare.

Fase 1: segmentazione dell'immagine e calcolo dell'indice NDVI

Il procedimento descritto di seguito è stato replicato su ogni scena componente il territorio dell'area studio³³.

Nella prima fase di elaborazione è stata utilizzata l'ortofoto all'infrarosso ad alta risoluzione, con l'obiettivo di discriminare le superfici vegetate da quelle urbanizzate.

L'immagine è stata sottoposta al processo automatico di segmentazione (*multiresolution segmentation*) che la suddivide in tante porzioni omogenee dal punto di vista spettrale e geometrico. Con il processo di segmentazione dell'immagine raster di partenza si ottiene uno strato vettoriale.

³² nella composizione Composite la banda NIR si visualizza sul rosso, la RED sul verde e il GREEN sul blu.

³³ Per impostare il processo di elaborazione di questa esperienza si è utilizzato come riferimento e guida pratica il tutorial predisposto da Christian Weise della Community di eCognition

L'algoritmo procede, a partire dall'elemento elementare pixel, fondendo, o meno, poligoni adiacenti in funzione del cambiamento di eterogeneità osservabile tra i due poligoni originari e il nuovo poligono generato: se il cambiamento di eterogeneità è minore del fattore di scala definito dall'utente avviene l'unione, altrimenti i poligoni rimangono separati (Camporese, 2012).

La classificazione ad oggetti si basa sull'analisi delle caratteristiche spettrali di un gruppo di pixel che rappresentano un oggetto. In questo modo viene valorizzato il contenuto informativo della componente geometrica dell'immagine.

Dopo alcuni test orientativi sono stati utilizzati i seguenti parametri di processo:

fattore di scala: 50

fattore di forma (*shape*): 0,3

compactness: 0,5

Successivamente è stato calcolato l'indice NDVI per distinguere le aree verdi dalle superfici non vegetate come gli edifici, le strade, i ponti e i corsi d'acqua.

Il valore minimo di NDVI, al di sotto del quale non si ritiene sia presente alcuna copertura vegetale di interesse, è pari a 0,12. Il valore massimo di NDVI è pari a 0,82.

Identificate ed evidenziate le aree coperte da vegetazione ($NDVI > 0,12$) si è proceduto analizzando la tipologia di copertura, distinguendo le classi di vegetazione a seconda della altezza. Il procedimento adottato ha utilizzato il contenuto informativo dei dati della nuvola di punti (*point clouds*) acquisiti da piattaforma aerea con tecnologia LiDAR.

La vegetazione è stata suddivisa nelle classi di altezza:

- H inferiore a 3 metri (esclusa dalle analisi successive);
- H compresa tra 3 e 7 metri;
- H compresa tra 7 e 15 metri;
- H compresa tra 15 e 20 metri;
- H superiore a 20 metri.

In Fig. 1.8 le diverse tonalità di verde utilizzate per definire i poligoni indicano classi differenti di altezza della vegetazione arborea. Di seguito è riportata la *rule set table*, la sequenza dei comandi e delle regole utilizzate per l'elaborazione.

Classificazione ad oggetti

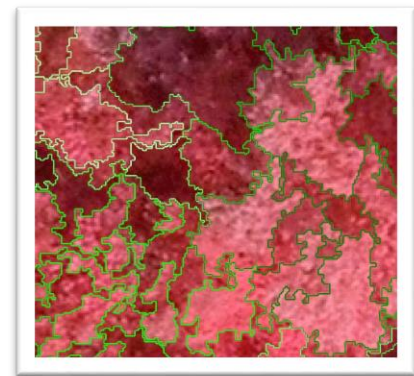
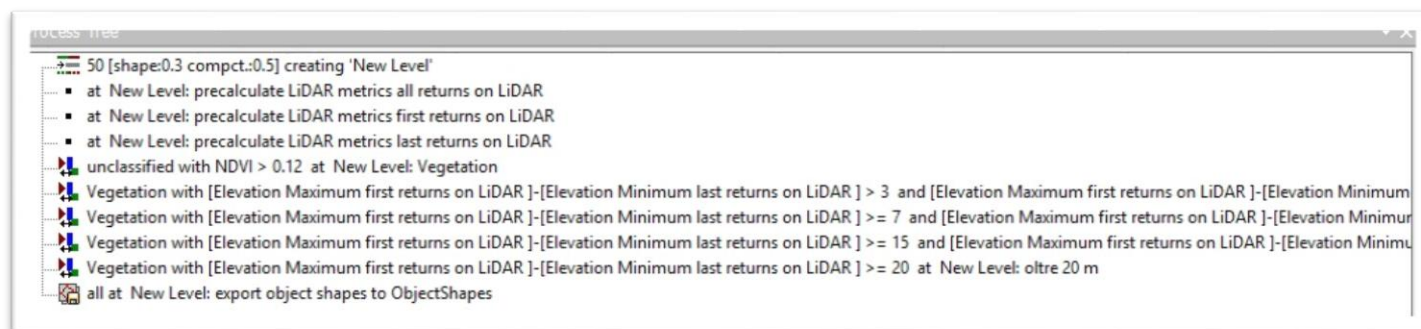


Figura 1.8 ▲



Al termine del procedimento è stato prodotto in output il file vettoriale contenente per ciascun poligono i seguenti attributi

Coordinate del poligono

Numero totale dei ritorni laser (all)

Rapporto tra tutti i ritorni (all)/ultimi ritorni (last)

Numero dei primi ritorni (first)

Numero degli ultimi ritorni (last)

Quota media degli ultimi ritorni

Quota minima degli ultimi ritorni (terra)

Quota massima dei primi ritorni - quota minima degli ultimi ritorni. (H tot)

Quota media dei primi ritorni

Quota media di tutti i ritorni

Quota massima dei primi ritorni

Valore medio di riflettanza nella banda del verde

Valore medio di riflettanza nella banda dell'infrarosso vicino

Valore medio di riflettanza nella banda del rosso

Valore dell'indice NDVI

Fase 2: calcolo delle superfici e classi di altezza

Non tutti gli attributi del file vettoriale in output sono stati utilizzati per le successive elaborazioni; tuttavia si è ritenuto opportuno mantenere l'informazione in vista di eventuali ulteriori utilizzi.



◀ **Figura 1.9**

Porzione di territorio dell'area studio in cui viene evidenziato lo stato informativo vettoriale creato dall'elaborazione dei dati dell'ortofoto all'infrarosso con i dati LiDAR

Poiché l'obiettivo dell'analisi è identificare la componente privata del verde arboreo presente nell'area di studio, di tutti i poligoni identificati in precedenza vengono considerati solo quelli ricadenti in aree non pubbliche e che presentino un valore di altezza superiore ai 3 metri (minima altezza di riferimento della componente arborea). Si ricorda che il file vettoriale contiene i poligoni che mostrano un valore di NDVI maggiore di 0,12 soglia precedentemente identificata per discriminare la superficie verde da quella impermeabile (edifici, strade, altre infrastrutture).

Anche in questo caso il processo di elaborazione della nuvola di punti riferita all'area di studio viene suddiviso in 9 sottoprocessi corrispondenti alle porzioni territoriali identificate, con il medesimo obiettivo di "alleggerire" la procedura di elaborazione.

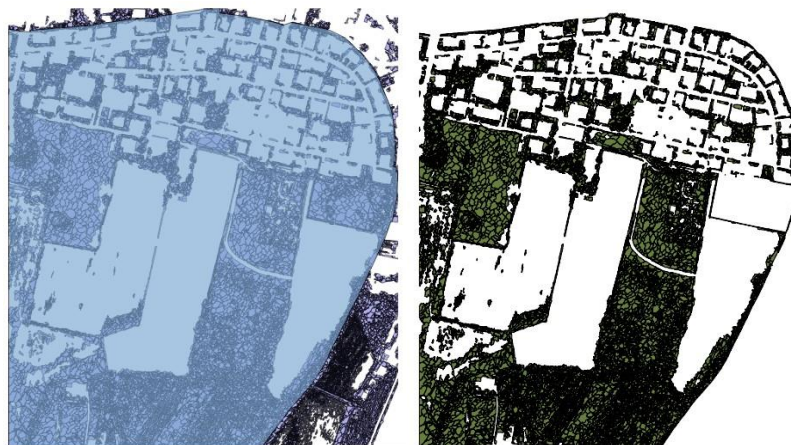
Le figure mostrate di seguito si riferiscono alla porzione nord est del quartiere 2 (area 6), una delle nove scene che compongono l'area studio complessiva.

Partendo dal file vettoriale in output (Object Shape) è stato calcolato per tutti i poligoni l'attributo AREA. Successivamente sono stati eliminati i poligoni ricadenti all'esterno dell'area studio utilizzando il tool *clip* tra i file vettoriali Object Shape e Confini Q2, ottenendo un nuovo file vettoriale.

Descrizione del
procedimento operativo
effettuato con il software
QGIS

Figura 1.10 ►

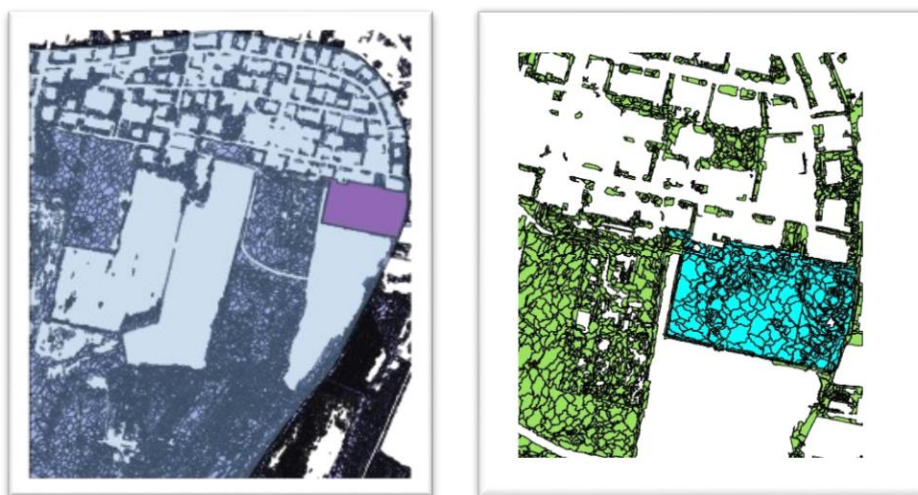
Con il tool *clip* si eliminano i poligoni esterni all'area di studio.



In seguito sono stati eliminati i poligoni ricadenti nelle aree pubbliche, per escludere dal calcolo la vegetazione arborea appartenente alle aree comunali, il cui valore di estensione della canopy è stato calcolato mediante *iTree-Eco*. Questa operazione è stata svolta utilizzando il tool “selezione per posizione” (*select by location*) tra il file vettoriale generato dal passaggio precedente e lo shapefile delle aree verdi pubbliche presenti nel quartiere fornito dal Comune. Infine, mediante il processo che inverte la selezione sono stati esclusi dalla scena i poligoni identificati al punto precedente e mantenuti quelli esterni alle aree pubbliche.

Figura 1.11 ►

Porzione a nord est nell'area studio e, in evidenza, un'area pubblica sottratta alla scena



Al termine del processo si ottiene il file vettoriale formato dai poligoni riferiti alle superfici con copertura vegetale localizzati nella porzione di area studio, non ricadenti nelle aree pubbliche comunali.

Per considerare solo i poligoni riferiti alla vegetazione arborea, considero l'attributo che indica l'altezza della vegetazione e pongo su di esso la condizione "maggiore di 3 metri". In questo modo prendo in considerazione esclusivamente le porzioni di territorio interessate da copertura vegetale superiore a 3 metri; è presumibile che tale vincolo selezioni esclusivamente la componente arborea.

L'attributo "altezza" è espresso da un parametro calcolato dalla nuvola di punti ottenuta dal rilievo LiDAR. In particolare si tratta di un algoritmo che calcola la differenza tra la quota del valore massimo dei primi ritorni (punto più alto della chioma) e la quota del valore minimo degli ultimi ritorni (suolo).

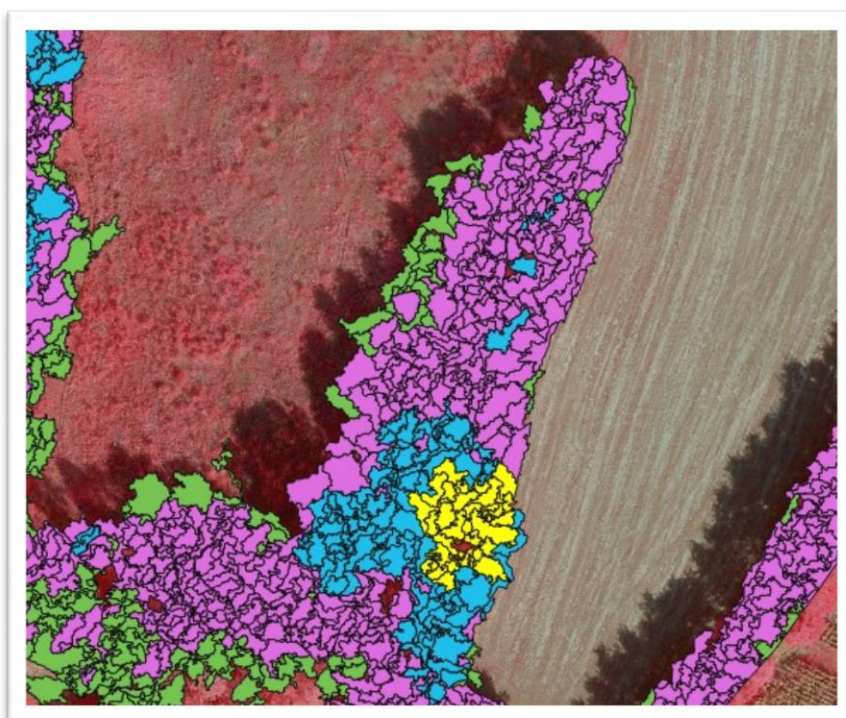
Eseguendo le interrogazioni sul file vettoriale, impostando come condizioni valori diversi di altezza della chioma, si ottiene una stratificazione della vegetazione arborea in 4 classi di altezza.



▲ **Figura 1.12** Nei quattro riquadri sono evidenziati i poligoni appartenenti alle 4 classi di altezza della vegetazione nell'area 6, in ordine crescente.

Figura 1.13 ►

Porzione di vegetazione arborea: i colori indicano le diverse classi di altezza. In ordine crescente: verde, rosa, azzurro, giallo.

**▼ Tabella 1.2**

Superfici coperte dalla vegetazione arborea escluse le aree pubbliche comunali, suddivisa per porzione territoriale e classe di altezza. I dati di superficie sono espressi in m²

I risultati delle selezioni vengono salvati in nuovi file vettoriali ed esportati in un foglio di calcolo dove è possibile calcolare l'estensione della superficie territoriale coperta dalla chioma per le diverse classi di altezza.

Come già affermato, la procedura di elaborazione sopra descritta è stata replicata per ciascuna sotto-area, ottenendo i dati per l'intera area di studio mostrati in Tab. 1.2

Classi H	Area 5	Area6	Area9	Area10	Area11	Area16	Area17	Area23	Area24	TOTALE (m2)
3-7	58.678	16.546	16.262	131.546	17.330	75.453	119.658	27.127	34.445	497.045
7-15	63.561	14.147	22.478	141.915	12.676	101.093	145.415	34.995	54.339	590.619
15-20	15.597	2.055	1.607	23.062	1.603	12.020	21.869	5.231	9.120	92.164
>20	7.948	296	284	11.536	813	1.447	5.485	1.140	4.283	33.232
Totale	145.784	33.044	40.631	308.059	32.422	190.013	292.427	68.493	102.187	1.213.160

L'applicazione della metodologia sopra descritta ha permesso di giungere ad un risultato che, per quanto perfetibile, fornisce una prima indicazione della superficie coperta dalla componente arborea privata, o meglio non gestita dall'amministrazione comunale. Il valore di 1.213.160 m², approssimato a 1,21 km² non è definitivo poiché ad esso deve essere sottratto il valore della superficie coperta dalle chiome degli alberi stradali, conteggiati precedentemente nel calcolo del contributo del verde pubblico.

Il dato di copertura al suolo delle chiome degli alberi stradali è fornito dall'applicazione precedente della suite *i-Tree Eco*

Componente arborea pubblica	Superficie coperta dalla chioma
Alberi nei parchi	159.193 m ² (0,16 km ²)
Alberi stradali	33.150 m ² (0,03 km ²)
Totale alberi pubblici	192.343 m ² (0,19 km ²)

◀ **Tabella 1.3**

Superficie di territorio dell'area di studio coperta dalla chioma di alberi in aree pubbliche.

Elaborazioni *i-TreeEco*

Sottraendo al risultato mostrato in Tab. 1.2 (1.213.160 m²) il valore della copertura della chioma degli alberi stradali riportato in Tab.1.3 pari a 33.150 m², si ottiene il dato definitivo della superficie di copertura della chioma arborea della componente "privata" del verde urbano dell'area di studio, pari a **1.180.010 m²**

1.3.4 Risultati

Per stimare le quantità di inquinanti atmosferici rimosse dal verde privato, prendendo come riferimento i risultati dell'applicazione del software *i-Tree Eco* al verde pubblico, viene applicato il procedimento seguente:

- 1) dai dati relativi al verde pubblico, viene calcolata la quantità di inquinanti totali rimossi dall'unità superficie di copertura della chioma (quantità complessiva di inquinanti rimossi dagli alberi pubblici/superficie della chioma degli alberi pubblici). Tale valore rappresenta il valore del coefficiente unitario di rimozione e si esprime in g/m² (grammi totali rimossi per m² di copertura chioma);
- 2) il coefficiente di rimozione unitario viene moltiplicato per la superficie di copertura della chioma relativa alla componente privata del verde presente nell'area di studio, ottenendo la quantità di inquinanti complessivi rimossi.

Verde pubblico (alberi parchi e strade)		Coefficiente unitario	Verde privato (vegetazione > 3m)	
Superficie canopy (m ²)	Inquinanti tot. rimossi (g/anno)	g/m ²	Superficie canopy (m ²)	Inquinanti tot. rimossi (g/anno)
192.343	2.509.000	13,04	1.180.010	15.392.528

◀ **Tabella 1.4**

Valore di sequestro degli inquinanti dell'unità di copertura della chioma e stima del contributo del verde arboreo privato.

Come appare in Tab.1.4, a fronte di una maggiore copertura della canopy del verde privato, ne consegue una capacità di sequestro degli inquinanti atmosferici superiore di oltre 6 volte quella relativa alla componente pubblica, pari ad oltre 15 tonnellate/anno.

La quantità stimata si riferisce alla somma degli inquinanti considerati dal modello (polveri sottili, biossido di azoto, ozono, biossido di zolfo e monossido di carbonio); non disponendo dell'informazione relativa alla composizione specifica del verde arboreo privato, non è stato possibile aumentare il dettaglio dello studio.

1.3.5 Limiti e potenzialità

Il valore stimato presenta alcuni limiti dovuti al metodo impiegato e alle approssimazioni effettuate nel procedimento di calcolo.

1) Viene assunta come ipotesi di base che la copertura verde delle aree private mostri una composizione in specie arboree paragonabile alle aree verdi pubbliche.

2) La procedura si basa sul valore della superficie della chioma e non sul volume, dato che riflette la capacità di sequestro degli inquinanti in quanto connesso alla superficie fogliare. Questo limite potrebbe essere in parte superato raffinando la procedura di calcolo e ripetendo la procedura più volte considerando separatamente le diverse classi di altezza della vegetazione. Esiste, tuttavia, un problema legato al diverso periodo temporale delle due basi dati; le immagini all'infrarosso e i dati LiDAR usati si riferiscono all'anno 2007, mentre il censimento delle alberature e i rilievi per le misure dei parametri dendrometrici sono del 2012;

3) La definizione degli oggetti su cui si basa il processo di calcolo della superficie coperta da verde privato, dipende dalla scelta in fase iniziale di alcuni parametri di processo e del limite minimo del valore dell'indice NDVI oltre il quale sono stati considerati gli oggetti identificati. La definizione di queste grandezze ha un certo margine di soggettività e solo l'esperienza e la competenza dell'operatore può garantire che vengano operate le scelte migliori;

4) Il dato della superficie coperta dagli alberi situati lungo le strade proviene dalle elaborazioni effettuate con *i-TreeEco*;

5) Il procedimento utilizzato per la stima del contributo ambientale del verde privato non ha considerato i risultati delle superfici coperte dalle diverse classi di altezza della vegetazione arborea del quartiere. L'informazione sulla consistenza della copertura nelle diverse classi di altezza, non essendo riferita a singoli individui arborei, ma ai poligoni identificati dal processo di segmentazione, non è risultata utile per migliorare la stima del valore.

I risultati ottenuti dalla sperimentazione descritta aprono nuove opportunità e prospettive per analisi future. Alcune di queste sono elencate di seguito.

Fattori da considerare per la valutazione del risultato finale

- 1) Valutare i valori dell'indice NDVI della vegetazione situata in diversi contesti ambientali per valutare lo stato di salute degli alberi situati nei parchi urbani e di quelli lungo le strade potenzialmente soggetti a fattori di stress più rilevanti come l'inquinamento dell'aria, il limitato spazio vitale, la maggiore probabilità di subire urti e menomazioni e di sofferenza per stress idrico e termico.
- 2) Valutare la differenza dei valori di indice NDVI tra gli alberi di grandi e piccole dimensioni e confrontare i valori stimati di efficienza nel sequestro di inquinanti e nella rimozione del carbonio.
- 3) Affinare l'identificazione delle specie arboree e accorpare quelle che presentano una firma spettrale simile per distinguere diversi potenziali contributi al miglioramento della qualità dell'aria. Risultati più accurati si avrebbero anche solo distinguendo la quota di alberi sempreverdi e caducifoglie, considerando che i primi svolgono la loro funzione sulla qualità dell'aria anche nella stagione fredda.
- 4) Utilizzando i dati della nuvola di punti del rilievo LiDAR, le risorse informative del Comune sul censimento degli alberi e le informazioni reperite durante i rilievi sul campo, determinare alcuni parametri dendrometrici degli alberi situati in aree private per affinare il calcolo del contributo ambientale.
- 5) Affinare l'analisi dei dati LiDAR per sfruttare al meglio le potenzialità degli indicatori calcolati. Nel caso studio è stata utilizzata unicamente l'informazione sull'altezza dell'oggetto, calcolata come differenza tra la quota massima e minima dei ritorni laser, per effettuare la classificazione della vegetazione. Altre informazioni disponibili sui valori statistici del impulsi totali, dei primi (first) e degli ultimi (last) ritorni, possono fornire importanti indicazioni per caratterizzare la forma e il volume della chioma degli alberi, aspetti essenziali per valutare il loro contributo ambientale.

Aperture per il futuro

2. STRUMENTI DI PARTECIPAZIONE PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

2.1 Concetti generali del fenomeno partecipativo

Se la natura stessa dell'essere umano spinge gli individui a condividere, collaborare e creare dei gruppi di vario genere nel corso della loro vita, è altrettanto vero che negli ultimi anni abbiamo assistito ad un'esplosione di nuove forme e tipologie di aggregazione (Shirky, 2009).

Questo fenomeno è dovuto in gran parte al potenziamento e alla diffusione delle nuove piattaforme di comunicazione (il web e la rete di telefonia cellulare) e allo sviluppo continuo di strumenti costruiti per tali reti (applicazioni e *device* per smartphone, social network, servizi web) che permettono agli utilizzatori di creare gruppi sociali con “imbarazzante facilità” (Paquet, 2002)³⁴

Prima di approfondire l'argomento vale la pena soffermarsi sul significato di alcuni termini che distinguono i diversi livelli di partecipazione (Shirky, 2009) e (Tapscott e Williams, 2010).

Condivisione: i partecipanti mettono a disposizione della comunità le proprie informazioni/dati/opere, senza nutrire delle aspettative per l'azione svolta; viene quindi lasciata ampia libertà al partecipante, le cui scelte non interferiscono con la vita del gruppo (assumendo che il processo di condivisione avvenga in modo consapevole da parte del soggetto attivo).

Collaborazione: questo livello implica che i diversi partecipanti al gruppo modifichino il loro comportamento per “sincronizzarsi” con gli altri componenti. Il gruppo non è più il risultato dell'aggregazione dei singoli ma ha una sua identità. Quando le attività di un gruppo sono finalizzate alla realizzazione di un progetto e alla creazione di conoscenza che necessita della partecipazione di un elevato numero di individui si parla di produzione collaborativa. E' evidente che questa forma di partecipazione richiede più energia e impegno del precedente

³⁴ Paquet ha integrato la legge di Reed “*il valore di una rete di gruppi cresce in maniera esponenziale al numero di persone nella rete*” con la frase “*e in proporzione inversa rispetto allo sforzo richiesto per dare vita ad un gruppo*”.

Sebastien Paquet , Making Group-Forming Ridicolously Easy, 2002
<http://radio-weblogs.com/0110772/2002/10/09.html>

Le diverse forme della partecipazione

Condivisione
 Collaborazione
 Azione collettiva

poiché le scelte decisionali fatte dal gruppo fanno emergere il contrasto a volte esistente tra gli obiettivi del gruppo e quelli personali dei partecipanti.

Azione collettiva: questo modello implica il coinvolgimento attivo dei partecipanti per realizzare di un obiettivo comune e conferisce alle decisioni prese dal gruppo un valore vincolante rispetto a quelle del singolo; il grado di coesione del gruppo è un fattore determinante per il successo, poiché ciò che viene messo in condivisione è la responsabilità delle decisioni e delle azioni (es. partiti politici e governi). Un problema noto riguardo all'azione di gruppo è quello definito dal biologo Garrett Hardin “la tragedia dei commons” (Hardin, 1968) ³⁵

Investire sul capitale sociale e la conoscenza condivisa per migliorare l'ambiente e la qualità della vita.

La diffusione delle nuove tecnologie di comunicazione ha reso disponibili nuovi strumenti che permettono di aumentare l'efficienza delle azioni partecipate. L'azione dei social network e del web permette di coinvolgere una enorme quantità di persone in poco tempo, producendo nuova conoscenza condivisa a partire dai contributi dei singoli, che oggi posso diventare molto numerosi.

Già nel 2007 Goodchild parlando di “sensori umani” (human as sensors) si riferisce alla possibilità che le persone possano costituire un network di sensori per la conoscenza (e mappatura) del territorio, sfruttando la capacità di movimento, gli organi di senso e l'intelligenza per interpretare ciò che percepiscono. Questa particolare rete di sensori può contare su un numero molto elevato di potenziali componenti, ciascuno in grado di sintetizzare e interpretare l'informazione a livello locale. In presenza di strumenti e tecnologie abilitanti come il web 2.0 e la banda larga, la rete di sensori umani potrebbe dare origine all'informazione geografica volontaria (VGI - *volunteered geographic information*) (Goodchild, 2007) ³⁶

Human as sensors

³⁵ La locuzione indica un tipo di comportamento molto diffuso quando si ha a che fare con il bene comune: se da una parte tutta la comunità potrebbe trarre beneficio dal rispetto delle regole (es. pagamento delle tasse, rispetto della natura, ecc.), dall'altra il perseguimento degli interessi personali, che porta ad un comportamento contrario, gioca a sfavore del risultato complessivo a livello globale. Il testo integrale è disponibile all'indirizzo www.garretthardinsociety.org/articles/art_tragedy_of_the_commons.html

³⁶ Goodchild affronta il tema dell'informazione geografica prodotta attraverso l'azione collaborativa di utenti su base volontaria, definisce l'espressione VGI e ne analizza, con sapiente lungimiranza, le prospettive. Questo fenomeno, che rappresenta un caso particolare del più ampio fenomeno del UGC (user-generated content) ha provocato un cambio di prospettiva destabilizzante rispetto al passato, poiché evidenziando l'imminente sviluppo e diffusione di strumenti e servizi rispondenti a questo nuovo modello di conoscenza, ha messo in discussione il ruolo centrale degli enti istituzionali deputati da sempre alla gestione dell'informazione geografica.

Crowdsourcing
e crowdmapping

Poco prima della pubblicazione dell'articolo di Goodchild venne definito un altro termine che indicava il processo di creazione di nuovo sapere condiviso a partire dalla conoscenza diffusa individuale di cittadini non provvisti di qualifiche o titoli formali: il *crowd sourcing*.

Poiché successivamente alla prima definizione di Jeff Howe del 2006³⁷, ritenuta da alcuni generica, ne sono state elaborate molte altre, si riporta in nota una definizione recente emersa dall'analisi di oltre quaranta versioni (Estellés e González, 2012)³⁸

Oggigiorno esistono una miriade di applicazioni e servizi che forniscono informazioni al pubblico grazie al contributo volontario di persone “comuni”; e un numero sempre crescente di questi strumenti utilizza le mappe geografiche come supporto di visualizzazione del singolo contributo informativo e come strumento di ricerca e di analisi dei dati raccolti.

Citizen science

Con *citizen science* si intende il contributo fornito da una comunità o da reti di cittadini che agiscono da osservatori/rilevatori in qualche ambito scientifico (censimento dell'avifauna, osservazioni atmosferiche e della volta celeste, e altre). Un aspetto da considerare in questi progetti è la qualità dei risultati e quindi il livello di attendibilità dei dati raccolti dal personale volontario. Per questo motivo iniziative di questo tipo richiedono di solito che i partecipanti possiedano un certo livello di competenza ed esperienza. (Goodchild, 2007).

L'obiezione più comune che viene fatta a questi sistemi è legata alla qualità dei dati raccolti, alla loro attendibilità e usabilità.

Per migliorare questo aspetto, in alcuni strumenti è previsto che l'utente, prima di inserire il proprio contributo, prenda visione di tutorial formativi o compili un questionario con quesiti tecnici a punteggio, il cui superamento fornisce all'utente l'abilitazione a fornire contributi.

³⁷ Jeff Howe “The rise of Crowdsourcing” Wired Magazine, Issue 14.06 June 2006 www.wired.com/wired/archive/14.06/crowds_pr.html

³⁸ Il crowdsourcing è una tipologia di attività online partecipativa nella quale una persona, istituzione, organizzazione non a scopo di lucro o azienda propone ad un gruppo di individui, mediante un annuncio aperto e flessibile, la realizzazione libera e volontaria di un compito specifico. La realizzazione di tale compito, di complessità e modularità variabile, e nella quale il gruppo di riferimento deve partecipare apportando lavoro, denaro, conoscenze e/o esperienza, implica sempre un beneficio per ambe le parti. L'utente otterrà, a cambio della sua partecipazione, il soddisfacimento di una concreta necessità, economica, di riconoscimento sociale, di autostima, o di sviluppo di capacità personali, il crowdsourcer d'altro canto, otterrà e utilizzerà a proprio beneficio il contributo offerto dall'utente, la cui forma dipenderà dal tipo di attività realizzata. (Estellés e González, 2012)

Altre volte, invece, l'accesso è aperto a tutti indistintamente; in alcuni casi il singolo ha la facoltà anche di modificare e correggere il contributo inserito da altri. In questo caso prevale l'idea che all'interno della comunità di partecipanti vi siano dei meccanismi virtuosi per cui all'aumentare degli utenti i contenuti tendono comunque a migliorare in qualità.

Non cambiano gli obiettivi della mobilitazione, ma gli strumenti a disposizione; con le nuove tecnologie si può contare su una diffusione dell'informazione più rapida ed estesa e sulla condivisione di risultati e informazioni che permettono analisi più a larga scala dell'intero fenomeno.

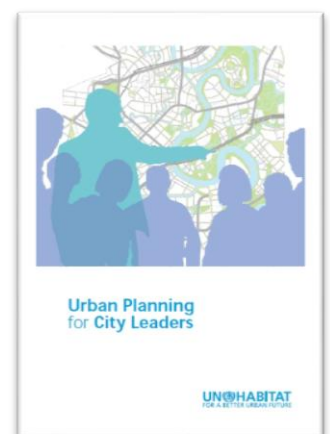
Osservando le esperienze di partecipazione sulle questioni ambientali, si può affermare che le iniziative sono ormai molto numerose e riguardano temi quali i cambiamenti climatici e la riduzione di emissione di gas serra (Carbonrally³⁹), l'acquisizione di dati meteorologici per la predisposizione di modelli predittivi (progetto Valle d'Aosta), la qualità dell'aria e delle acque (EEA-EyeOnEarth⁴⁰, LaMiaAria⁴¹), la predisposizione di mappe di inquinamento acustico (Noisetube), la segnalazione di siti degradati e soggetti all'abbandono dei rifiuti.

Osservando i pochi esempi citati emerge che queste esperienze di partecipazione cittadina esistono su scala globale e locale, e che comprendono sia iniziative promosse e coordinate da istituzioni o enti/organizzazioni sensibili al fenomeno, attente a soddisfare un bisogno, espresso o meno, dei cittadini, sia da gruppi autogestiti ad organizzazione reticolare.

La necessità di un nuovo approccio anche nella pianificazione urbana, che avvicini gli amministratori e i tecnici delle istituzioni alle reali necessità quotidiane dei cittadini utilizzando in modo efficace le capacità e il know-how proveniente dalle comunità, dai professionisti e dal settore privato, è evidenziata anche nel recente rapporto delle Nazioni Unite (UN-Habitat, 2013). Il coinvolgimento diretto dei cittadini nel processo di definizione degli spazi urbani è promosso dall'UN-Habitat attraverso la campagna *"I'm a City Changer"* che mira ad aumentare la consapevolezza e la partecipazione dei cittadini nello sviluppo urbano sostenibile.

La quantità fa la differenza

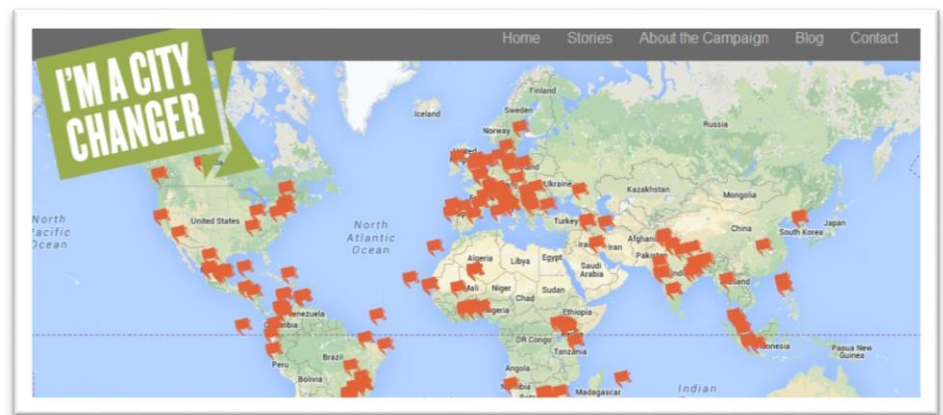
Il fisico Philip Anderson in un articolo del 1972 su *Science*, notò come le aggregazioni, di qualsiasi entità fossero, dagli atomi alle persone, presentassero un comportamento complesso che non poteva essere previsto dalla semplice osservazione delle singole componenti. (...) Questo comportamento degli aggregati, che mostrano nuove caratteristiche rispetto alle singole parti, è proprio anche delle persone. (Shirky, 2009)



³⁹ <http://www.carbonrally.com/>

⁴⁰ <http://www.eyeonearth.org/en-us/Pages/Home.aspx>

⁴¹ <http://www.lamiaaria.it/>



2.2 Aree verdi e spazi pubblici

Focalizzando l'osservazione sull'oggetto "verde urbano" va detto che le forme di partecipazione per il miglioramento delle aree verdi pubbliche, e più in generale nel recupero degli spazi pubblici degradati e abbandonati, non sono un fenomeno recente; tralasciando i riferimenti di alcuni autori che riconoscono alcune caratteristiche dei fenomeni partecipativi già nel XVII secolo, un episodio significativo a livello internazionale è la vicenda del People's Park di Berkeley, California del 1969. A partire da quell'anno prese forma un modo inedito di concepire l'occupazione dello spazio, dettato non solo da bisogni impellenti come quello di nutrirsi, ma anche dall'esigenza di creare luoghi per la socialità, che non fossero solo utili, ma anche belli. Quest'atteggiamento era ovviamente frutto di un nuovo clima culturale e politico, che ebbe il suo epicentro proprio a Berkeley (Ferrari, 2010).

Un altro esempio di queste manifestazioni, sempre in ambito statunitense, sono i *community gardens* del Lower East Side di Manhattan, giardini spesso realizzati con mezzi di fortuna (Pasquali, 2008).

Queste esperienze, come altre descritte in seguito, conferiscono agli spazi verdi urbani un valore sociale oltre che ambientale, e le azioni della comunità veicolano anche messaggi di carattere socio-politico.

A tal proposito si fa riferimento al movimento Guerrilla gardening⁴², presente negli Stati Uniti e in Europa, che si propone di riqualificare i lotti di terreno abbandonati delle città, rivitalizzando le aree depresse e cementificate. Attraverso la pratica del giardinaggio "radicale" in aree pubbliche gli attivisti intendono migliorare l'estetica della città nelle aree più grigie migliorando la vivibilità, oltre che rivendicare il diritto dei cittadini ad occuparsi dello spazio pubblico come bene comune. Alcuni gruppi di Guerrilla gardening compiono le loro azioni (attacchi) durante la notte, in relativa segretezza, per seminare e prendersi cura di una nuova area abbandonata, mentre altri agiscono più apertamente,

Guerrilla gardening

⁴² guerrillagardening.org e guerrillagardening.it

cercando di coinvolgere le comunità locali. Il movimento è presente dal 2009 anche nel Veneto con epicentro nella città di Vicenza⁴³

Il coinvolgimento dei cittadini nelle iniziative di partecipazione può essere dettato da diverse motivazioni:

- il desiderio della comunità di riappropriarsi di spazi urbani pubblici non utilizzati o lasciati al degrado e abbandono;
- testimoniare con azioni concrete l'interesse dei cittadini per una città più verde, più bella e più vivibile;
- dimostrare che le azioni dei singoli cittadini possono dare risultati visibili e significativi;
- trasmettere alle istituzioni, seppur attraverso iniziative costruttive di giardinaggio, un messaggio provocatorio a sfondo politico e sociale.

Allo stesso modo anche il ruolo delle istituzioni può variare a seconda del contesto e dell'iniziativa; esistono progetti partecipativi sostenuti e realizzati con l'appoggio degli enti istituzionali competenti e altri condotti in modo autonomo dalle comunità.

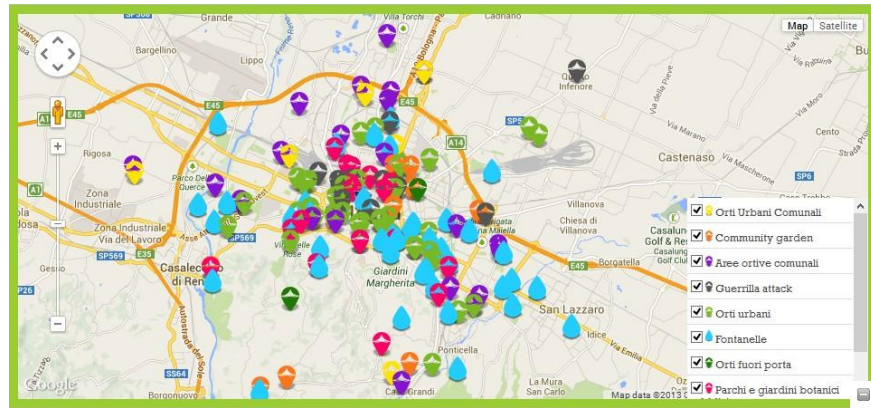
Un progetto partecipativo di crowdmapping avente come oggetto gli spazi verdi pubblici di Bologna è Gramigna.

Gramigna

L'obiettivo principale del progetto è la mappatura da parte di cittadini interessati di orti urbani, giardini pubblici, community garden, giardini e terrazze private, zone verdi dismesse, situate nell'area urbana all'interno di un sistema unico condiviso geolocalizzato per far emergere le dinamiche collettive su scala più ampia.

Il progetto sfrutta i nuovi mezzi di espressione e comunicazione (la rete, i social network, le mappe online per la geolocalizzazione degli interventi) per rendere visibili i risultati della partecipazione collettiva attorno ad un tema che interessa i cittadini.

⁴³ Una analisi approfondita della genesi del movimento, degli aspetti sociali legati al suo sviluppo, al contesto locale e ad altre caratteristiche è condotta in Ferrari M. *Guerrilla gardeners tra gli scarti urbani: nuovi attori del movimento ecologista?* (2010) Tesi di laurea - Università degli Studi di Padova, Facoltà di scienze politiche a.a. 2009-2010



www.gramignamap.it

Tra gli obiettivi del progetto vi è anche la promozione delle relazioni sociali, la costituzione di un punto di riferimento per l'Amministrazione per eventuali progetti futuri di verde urbano e l'incentivazione di pratiche ambientali, sociali ed economiche innovative (come ad esempio gli orti didattici e la coltivazione biologica ed ecocompatibile).

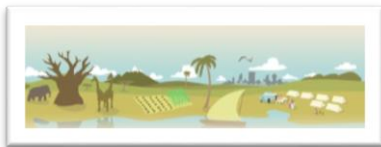
2.3 Crowdmapping: la piattaforma Ushahidi

La piattaforma open-source Ushahidi permette di sviluppare strumenti per la segnalazione e la condivisione di informazioni utili alla collettività, mettendo a disposizione un'interfaccia semplice e intuitiva.⁴⁴

L'obiettivo è fornire a chiunque voglia contribuire uno strumento per costruire e migliorare l'informazione su temi di interesse collettivo, intorno ai quali le attività delle istituzioni e delle organizzazioni in genere si sono dimostrate in passato insufficienti o inefficaci.

Ciò che caratterizza la maggior parte delle iniziative di crowdsourcing è la consapevolezza che nonostante in Italia siano presenti sul territorio sia le istituzioni che la componente del volontariato, persistano delle criticità che ostacolano la formazione di sinergie tra i soggetti portatori di interesse. Tra i principali fattori limitanti si trovano appunto la mancanza di condivisione delle informazioni e delle conoscenze, di linguaggi condivisi, di formati standard per la raccolta e lo scambio delle informazioni, di sistemi interoperabili e di facile utilizzo.

Riconoscere queste criticità ha evidenziato la necessità di impiegare nuove strategie di comunicazione flessibili, basate su flussi informativi orizzontali e decentrati, raggiungibili anche grazie ad un uso efficace



⁴⁴ La piattaforma open-source Ushahidi (che in lingua Swahili significa 'testimone') è nata nel 2008 in Kenya durante un'ondata di scontri per monitorare e 'mappare' gli episodi di violenza.

delle nuove tecnologie dell'informazione e della comunicazione, in particolare attraverso simili applicazioni di crowdsourcing.

Le iniziative di crowdmapping realizzate mediante Ushahidi sono molte; tra le più interessanti si segnala MioTerritorio che consente di raccogliere dagli utenti segnalazioni sulle situazioni di degrado riscontrate sul territorio italiano (discariche abusive, rifiuti abbandonati, edifici pericolanti, buche, frane, e altri) e di geolocalizzarle su una mappa associando un colore diverso a seconda del tipo di criticità ambientale evidenziata per fornire una lettura immediata dell'informazione.

Un'altra è Open Foreste Italiane⁴⁵, progetto-pilota per la prevenzione e la gestione dei rischi causati da incendi boschivi che si fonda sull'allarme precoce lanciato "dal basso" attraverso la segnalazione delle vulnerabilità locali da parte delle comunità di cittadini volontari e delle strutture istituzionali competenti. Il principale obiettivo del progetto è l'*Early Warning* ossia la possibilità di fare in modo che individui e comunità locali possano agire nei tempi e nei modi più adeguati per ridurre il rischio di perdita di vite umane e di danni materiali e ambientali derivanti da un incendio.

Va sempre evidenziato che l'impiego di strumenti di questo tipo non deve sostituirsi alle attività delle istituzioni esistenti, ma rappresenta un'opportunità per raccordare l'attività delle organizzazioni con l'azione dal basso dei cittadini, formando delle sinergie che producono risultati finali più efficaci.

2.3.1 Censimento del verde privato

Uno strumento di questo tipo potrebbe essere utilizzato dall'amministrazione comunale per raccogliere informazioni sul verde privato; in particolare sul numero, le dimensioni e la specie degli alberi presenti nei giardini.

La conoscenza delle specie arboree presenti nelle aree private consentirebbe di completare il quadro conoscitivo del verde all'interno del contesto territoriale comunale utile a:

- identificare e localizzare le specie arboree potenzialmente soggette ad attacchi patogeni per suggerire le misure di prevenzione e controllo e indicare trattamenti/interventi adeguati per evitare la diffusione dell'infezione (e minimizzare il rischio di caduta dell'albero stesso);
- valutare la diversità biologica, la quantità di specie poco resilienti, calcolare gli indici di abbondanza e dominanza riferiti all'intero popolamento arboreo (e non solo pubblico) per la stima della sua stabilità.;



La piattaforma di crowdmapping Ushahidi per raccogliere i contributi dei cittadini sul verde privato

⁴⁵ <http://www.openforeste.com/>

- valutare il contributo degli alberi privati al miglioramento della qualità dell'aria e alla fornitura degli altri servizi ecosistemici;

Attraverso l'uso di una piattaforma di crowdmapping i cittadini potrebbero individuare sulla mappa il proprio giardino privato e inserire alcuni dati e informazioni precedentemente codificate:

- numero degli alberi presenti nell'area verde privata;
- famiglia botanica (scelta tra le 10 principali più un campo testo per specificare la voce "altro")
- classe di altezza (m): 3-7; 7-15; 15-20; >20
- classe di diametro (cm): <20; 20-40; 40-60; >60

Un'altra opportunità consiste nel coinvolgimento diretto degli istituti scolastici che potrebbero coordinare le attività di raccolta delle informazioni sfruttando l'occasione per affrontare i temi didattici legati alle scienze naturali e alle tecnologie ICT.

2.4 La piattaforma Qcumber

Un altro strumento da segnalare per il suo carattere innovativo non solo sul fronte "social" ma anche per le capacità di analisi e valutazione dei dati raccolti e dei conseguenti impatti ambientali e sanitari è la piattaforma Q-Cumber, basata sul sistema DC-GIS (Dynamic Computational G.I.S.).



Q-Cumber è un GeoSocialForum, accessibile a chiunque sia interessato a sviluppare "strategie collaborative di sostenibilità; Il valore di Q-Cumber consiste anche nell'utilizzo di applicazioni che, mediante sistemi informativi geografici a computazione dinamica, consentono di valutare un impatto ambientale sia dal punto di vista qualitativo (DC-GIS Screening Tool) che quantitativo DC-GIS Scoping Tool).

Punto di forza è la capacità di valutare gli impatti sul territorio in modo integrato, affiancando alla cosiddetta "algebra delle esposizioni" dispositivi di geo-rappresentazione e strumenti interattivi per sviluppare un sistema di valutazione basato sui concetti di esplorazione, monitoraggio, comunicazione, consultazione, dialogo, negoziato e decisione vincolata (Magro e Patassini, 2013).

Come si legge sul sito web di Qcumber⁴⁶ la sua mission è *"la promozione della Sostenibilità attraverso la conoscenza, la condivisione e la collaborazione. La Sostenibilità è il processo di ricerca di un nuovo equilibrio nell'ecosistema delle relazioni sociali, in grado di conciliare necessità individuali e collettive attraverso la*

⁴⁶ www.q-cumber.org

condivisione dei problemi e delle opportunità, in cui le tecnologie della rete possono esprimere potenzialità enormi”.



L'obiettivo della piattaforma è l'aumento dell'efficienza ed efficacia della comunicazione sugli impatti e sui rischi legati all'ambiente, in modo da orientare comportamenti e azioni dei soggetti portatori di interessi e di diritti verso nuovi modelli sociali di partecipazione e condivisione. Attraverso questo strumento collettivo tutti possono condividere le proprie esperienze, segnalare criticità e potenzialità del territorio, dare un contributo concreto alla costruzione della conoscenza.

Gli utenti possono accedere al Geodatabase per consultare gli elementi di *stressor*, di vulnerabilità e i dispositivi di controllo situati nel territorio, analizzare il territorio in un intorno di tre km di raggio rispetto al punto di localizzazione dell'utente (luogo di vita o di interesse stabilito dall'utente stesso) e segnalare direttamente sulla mappa:

- situazioni/luoghi che creano disagi o problemi per l'ambiente (cursore rosso);
- situazioni/luoghi di pregio che richiedono particolare tutela (cursore verde);
- problematiche relative agli odori molesti con indicazioni dettagliate sul livello di odore percepito, ora della rilevazione e inserendo eventuale documentazione fotografica.



Il sistema DC-GIS è una metodologia basata sull'analisi degli impatti ambientali determinati da un insieme di componenti (*stressor*) generati da fonti di pressione antropiche. L'applicazione prevede l'impiego di un sistema GIS (Geographic Information System) di tipo computazionale; l'analisi degli impatti sul territorio viene realizzata con

la caratterizzazione dei livelli d'interazione dinamica tra gli elementi di *stressor* e le componenti di vulnerabilità ambientale. Il sistema consente il calcolo georiferito degli indici d'impatto specifico e cumulativo e questa caratteristica fa del sistema uno strumento innovativo e potente in grado di soddisfare i requisiti richiesti dalla normativa europea.

Il sistema è dotato di strumenti e applicativi per l'identificazione, l'analisi e la valutazione degli impatti ambientali da parte di utenti diversificati quali Istituzioni ed Enti di controllo, professionisti, aziende e cittadini. Un primo risultato è l'integrazione dell'informazione ambientale proveniente dagli enti istituzionali con quella prodotta da altri soggetti che vivendo in una determinata area, dove sono localizzate le fonti di impatto, possono collaborare fornendo il loro piccolo ma prezioso contributo.

Fin dal 2006 il sistema DC-GIS ha conseguito importanti riconoscimenti a livello internazionale ed è stato utilizzato come metodologia innovativa per la valutazione ambientale e sistema di supporto alle decisioni in molti contesti formativi (per esempio presso le Agenzie governative di controllo ambientale inglese e irlandese (EPA) e nell'ambito del progetto di definizione delle Nuove Linee Guida nazionali sulla VAS del MATTM. L'ambito di utilizzo del sistema comprende alcuni Istituti universitari (Università di Bologna, Università IUAV di Venezia, Università di Parma, Università Statale di Brescia, Università di Modena e La Sapienza di Roma), Istituzioni ed Enti di controllo (Nucleo Operativo Ecologico dei Carabinieri (NOE), il Corpo Forestale dello Stato (CFS) e alcune Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA). Dal 2009 il DCGIS costituisce il sistema di supporto operativo per la verifica e l'analisi delle istanze di VIA e di VAS nell'Amministrazione provinciale di Brescia.

2.5 Monitoraggio partecipato locale: il Progetto APA

Nella città di Padova, l'amministrazione comunale promuove diverse iniziative di partecipazione cittadina, alcune delle quali hanno come oggetto di intervento il patrimonio verde (Parte V). Gli obiettivi sono diversi e vanno dalla riqualificazione degli spazi urbani, all'utilizzo di aree verdi per la produzione alimentare e la socializzazione (progetto Orti urbani), al miglioramento estetico delle aree pubbliche (Adotta un'area verde), al coinvolgimento dei cittadini nel rendere più bello e gradevole l'ambiente di vita quotidiano (concorso Padovafiorisce). Non si rilevano, al momento, iniziative di partecipazione legate al patrimonio arboreo, se non la possibilità per il cittadino di segnalare

La situazione nel comune di Padova: verso una gestione partecipata del verde urbano?

attraverso il sito web del comune la presenza di situazioni di rischio per l'incolumità di cose e persone.

Una iniziativa di partecipazione per incentivare la collaborazione della comunità cittadina alle attività di controllo, gestione e di conoscenza del patrimonio arboreo cittadino è il progetto APA, Alberi che Puliscono l'Aria, descritto di seguito.

2.5.1 Obiettivi

L'iniziativa ha il duplice scopo: integrare la ricerca di dottorato con i risultati di un'esperienza partecipativa realizzata all'interno del contesto territoriale dell'area di studio e sperimentare, all'interno dell'ARPAV, questo strumento innovativo di monitoraggio dell'ambiente per valutare possibili applicazioni anche in altri ambiti di competenza dell'Agenzia.

Dal punto di vista dell'amministrazione comunale il progetto può costituire uno strumento per avvicinare la comunità al proprio territorio attraverso la frequentazione delle aree verdi del quartiere e la consapevolezza del loro valore ambientale. Inoltre l'iniziativa ha anche l'obiettivo di creare un'occasione di incontro e condivisione tra gli abitanti del quartiere, caratterizzato da un'alta percentuale di residenti stranieri, partendo dal presupposto che la condivisione consolida la comunità (Shirky, 2009 p.21)

2.5.2 Proposta

Il progetto nasce dall'opportunità di sfruttare le mie competenze maturate nell'utilizzo della software suite *i-Tree Eco*, maturate nell'ambito dello studio dei popolamenti arborei dell'intero quartiere 2 Nord, per avviare un'iniziativa di partecipazione pubblica, a livello di quartiere, finalizzata al calcolo del contributo, in termini di miglioramento della qualità dell'aria, generato dagli alberi di un parco urbano.

L'idea di coinvolgere i cittadini nelle attività di misura dei dati sul campo è suggerita dallo stesso applicativo che mette a disposizione una serie di strumenti per incoraggiare la partecipazione.

Oltre allo strumento informatico che permette a più rilevatori facenti capo ad un unico referente, di utilizzare *device* e modalità di registrazione dei dati diversi, nel sito web è disponibile ampia documentazione che fornisce indicazioni di tipo organizzativo e metodologico per pianificare questo genere di attività, oltre ad esempi di casi studio realizzati.

Il soggetti coinvolti nel progetto sono ARPAV, IUAV (Dottorato NT&ITA) e Comune di Padova (Consiglio di Quartiere 2 Nord).

i-Tree Eco fornisce strumenti e indicazioni su come realizzare campagne di misura partecipate

I promotori

La scelta dell'ambito territoriale del quartiere dovrebbe consentire un più rapido svolgimento delle procedure formali burocratico-amministrative relative all'avvio del progetto, considerando che la struttura organizzativa del quartiere gestisce l'attività tecnico-amministrativa in materia di: impianti e attività sportive, attività culturali e educative, attività socio-ricreative, attività di informazione ai cittadini, servizi di base.

La finalità esplicita dell'iniziativa consiste nell'impiego di personale volontario (cittadini, associazioni, studenti, e altri) residente nell'area di riferimento, per effettuare le misure dei parametri dendrometrici e delle altre caratteristiche degli esemplari arborei presenti all'interno di un parco urbano, ai fini della determinazione del loro contributo al miglioramento della qualità dell'aria.

Le successive fasi di predisposizione e upload dei dataset in *i-Tree Eco* ed elaborazione dei risultati sono in carico a chi scrive, configurate nell'ambito delle attività del dottorato.

Destinatari del progetto

I destinatari del progetto sono quindi i cittadini, singoli o in associazioni, interessati ad intraprendere un'attività di partecipazione per fornire un contributo concreto al rilevamento di dati ambientali finalizzati alla conoscenza dello stato dell'ambiente. Unici requisiti posti per la partecipazione:

- età superiore a 14 anni (inferiore solo se l'attività è svolta sempre in associazione con un adulto, come per esempio in ambito scolastico);
- disponibilità ad effettuare i rilievi la mattina o il primo pomeriggio, quando le condizioni di illuminazione sono ottimali;
- disponibilità a svolgere il lavoro in coppia.

La scelta delle aree verdi su cui attivare il progetto è ricaduta sui due parchi più estesi del quartiere: il parco Morandi e il parco Milcovich, comprendenti in tutto circa 700 alberi.

Il periodo indicato per effettuare i rilevamenti è quello compreso tra i mesi di aprile – ottobre poiché gli alberi si trovano nella fase vegetativa ed è possibile rilevare tutti i parametri richiesti per l'applicazione del modello matematico. Per questo motivo le attività di rilievo previste dal progetto dovevano svolgersi nel periodo aprile – luglio 2013, per consentire di produrre i risultati delle elaborazioni entro l'anno.

2.5.3 Attività svolte

L'idea di predisporre il progetto è emersa nel dicembre del 2012, durante un incontro con i colleghi dell'ARPAV. Nel corso del 2013 sono stati realizzati diversi incontri di presentazione del progetto e di organizzazione delle attività coinvolgendo i diversi soggetti interessati.

Va evidenziato che tutti i soggetti interpellati si sono dimostrati favorevoli all'iniziativa che è stata accolta con entusiasmo.

- 21 gennaio - incontro tecnico ARPAV per valutare l'ipotesi di estendere l'iniziativa anche al quartiere 5, dotato anch'esso dei dati del censimento del verde;
- 25 gennaio - incontro di presentazione del progetto al presidente del Consiglio di quartiere 2 Nord
- 6 febbraio – sopralluogo presso le aree verdi del quartiere 5 per individuare le più idonee
- 8 febbraio – incontro di presentazione al Direttore Generale dell'ARPAV
- 21 marzo – incontro di presentazione del progetto al responsabile Commissione Verde del Consiglio di quartiere 2. Nord
- 11 aprile – presentazione del progetto alla Commissione Verde del quartiere 2
- 16 aprile – sopralluogo al Parco Milcovich per l'aggiornamento della mappa degli alberi da predisporre per i rilevatori volontari
- 27 maggio – presentazione del progetto al Dirigente del Settore Verde del Comune di Padova

Durante il periodo di lavoro è stato prodotto del materiale informativo utilizzato per le presentazioni del progetto ai vari soggetti istituzionali incontrati e didattico da utilizzare durante gli incontri con i volontari, mai effettuati.

2.5.4 Criticità e attività future

Da alcune riflessioni sul progetto, effettuate a posteriori, sono state riscontrate alcune criticità:

- l'obiettivo di reclutare rilevatori volontari nell'ambito dei cittadini residenti o comunque "orbitanti" nel quartiere, ha limitato le opportunità di scelta dei potenziali collaboratori;
- l'obiettivo di coinvolgere i cittadini del quartiere seguendo un approccio istituzionale, ha comportato il coinvolgimento del Consiglio dei quartiere che, nonostante l'interesse espresso, non ha predisposto nei tempi necessari le iniziative di diffusione e comunicazione dell'iniziativa finalizzate alla costituzione della rete di rilevatori volontari;
- il verificarsi di condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli nei mesi primaverili del 2013 ha reso necessario prorogare più volte le attività di misurazione dei parametri dendrometrici sul campo fino all'arrivo della stagione estiva, poco adatta al coinvolgimento del personale delle istituzioni pubbliche.



▲ Il Parco Milcovich, in giallo sono evidenziati gli alberi presenti
Google Earth

- Un ulteriore fattore che può aver causato difficoltà alla realizzazione del progetto APA è riportato sul sito del Comune Padovanet:

“Lavori di realizzazione del nuovo campo da allenamento presso il parco Milcovich -dal 4 dicembre 2012: a seguito di una convenzione tra il Comune di Padova e la Parrocchia di S. Antonio d’Arcella si è provveduto alla rettifica di confine dell’area destinata all’attività sportiva ed alla realizzazione di un piccolo fabbricato per spogliatoi. Per la realizzazione di questo intervento, in parte già eseguito, sono stati tolti a suo tempo alcuni alberi, poi sostituiti con 19 nuovi esemplari. Nei prossimi giorni si provvederà alla rimozione di una siepe di cipressi e degli ultimi 11 alberi che occupano l’area da sistemare. Per il prossimo anno è previsto l’ampliamento del Parco Milcovich su una nuova superficie di 10.000 metri quadrati. Il progetto, frutto di un processo di progettazione partecipata, prevede la sistemazione dell’area e la messa a dimora di più di 50 nuovi alberi. I lavori nell’area sportiva inizieranno da martedì prossimo”.

Per il futuro, verificato l’interesse delle istituzioni al proseguimento del progetto, si rende opportuno un maggiore coinvolgimento dell’ARPAV, in particolare della struttura destinata ai temi dell’educazione ambientale, affinché la proposta venga diffusa presso gli istituti scolastici del quartiere per coinvolgere gli studenti delle scuole di secondo grado.

Parte IV

Verde urbano: quali rischi?

Anche il verde urbano può costituire una potenziale fonte di impatto negativo sull'uomo e l'ecosistema. Di seguito vengono approfonditi i temi degli aspetti sanitari derivanti dalle emissioni polliniche di specie vegetali allergeniche, per i risvolti di tipo epidemiologico, e dei rischi da introduzione di agenti fitopatogeni e da “invasione biologica” per i potenziali impatti sulla biodiversità.

1. ASPETTI SANITARI

1.1 Pollini e contesto urbano

Il capitolo approfondisce alcuni temi legati ad un aspetto potenzialmente negativo del verde urbano: l'impatto delle emissioni polliniche delle piante allergeniche sulla salute della popolazione sensibile.

Se il verde urbano costituisce un elemento fondamentale per la qualità della vita, soprattutto negli ambiti urbani densamente popolati, esso può costituire un elemento di potenziale disagio per i soggetti sensibili agli allergeni prodotti da alcune specie vegetali durante la fase della pollinazione.

Va tuttavia evidenziato che attribuire esclusivamente alla presenza dei pollini aerodispersi la responsabilità degli effetti negativi sulla salute dei soggetti sensibili indica un approccio parziale, se non addirittura scorretto, al tema in questione.

Numerosi studi e ricerche hanno comprovato, infatti, che l'azione “irritante” degli agenti pollinici e il loro impatto sulla salute degli individui dipende dalla combinazione di numerosi fattori, derivanti dal patrimonio genetico individuale, dallo stile di vita e dal contesto ambientale. Secondo la teoria dell'igiene (*Hygiene Hypothesis*), formulata da Strachan nel 1989, il rapido aumento dell'incidenza di queste patologie potrebbe dipendere da un ridotto contatto con agenti infettivi durante la prima infanzia, determinato anche dalla progressiva diminuzione del numero di componenti familiari nei paesi sviluppati (Scolozzi *et al.*, 2008).

Secondo i dati riportati in ambito nazionale ed europeo le malattie allergiche sono ai primi posti per numerosità di soggetti colpiti e, aspetto più allarmante, sono in continuo aumento. I disturbi più seri



▲ **Figura 1.1**
Tipi di polline al
microscopio elettronico
Fonte: Wikipedia

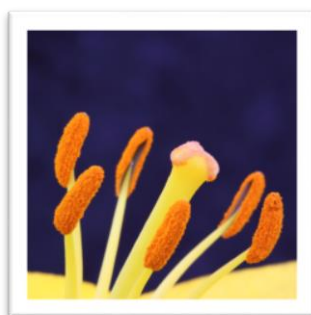
Impatti delle emissioni
polliniche in ambiente
urbano

generati dall'allergia ai pollini (pollinosi) si manifestano a carico dell'apparato respiratorio e colpiscono soprattutto i bambini e i giovani.

Ricerche a livello europeo e mondiale mostrano una correlazione tra l'aumento dei soggetti che soffrono di questa patologia, la scarsa qualità dell'aria in ambito urbano (aumento delle concentrazioni di alcuni inquinanti atmosferici) e i cambiamenti climatici (aumento delle temperature e delle occorrenze degli eventi meteorologici estremi). (D'Amato *et al.*, 2000), (Ziska *et al.*, 2011), (Jouret, 2013).

I centri urbani maggiori in Italia presentano spesso situazioni di inquinamento atmosferico da polveri sottili, biossido di azoto e ozono che superano i livelli di concentrazione indicati dalla normativa, sia su base oraria che annuale.

Nei riferimenti bibliografici suddivisi per argomento sono riportati alcuni articoli prodotti a partire dalla fine degli anni '90 riferiti al contesto europeo.



Pollini e loro diffusione

Il polline è un elemento essenziale per consentire la riproduzione in quelle specie vegetali che la attuano attraverso la formazione di semi (riproduzione sessuata). Esso viene prodotto nell'organo riproduttivo dall'individuo maschio (antera) ed è composto dai gameti immaturi (cellule sessuali) che, una volta raggiunto l'organo riproduttivo femminile (ovario), compiranno la fecondazione e quindi la formazione del nuovo seme.

A seconda della modalità con la quale il polline viene veicolato dall'organo maschile a quello femminile, a volte situati nella stessa pianta, vi sono diversi tipi di impollinazione; se avviene per opera del vento si parla di impollinazione anemofila.

Sono proprio i pollini veicolati attraverso le correnti d'aria a creare il fenomeno della pollinosi (allergia ai pollini) poiché, trovandosi dispersi nell'atmosfera, vengono necessariamente inalati dall'uomo creando disturbi all'apparato respiratorio dei soggetti sensibilizzati.

I principali fattori che determinano il potenziale allergenico di una specie sono la quantità di polline liberata dalla singola pianta, l'ampia diffusione della specie su un determinato territorio e le ridotte dimensioni del granulo pollinico che può essere quindi facilmente veicolato dalle correnti d'aria (Allergy Verona)⁴⁷.

⁴⁷ Allergy Verona http://www.allergyverona.it/nuova_pagina_6.htm - Servizio del Centro regionale di riferimento per la prevenzione, la diagnosi e la terapia delle malattie allergiche - Unità operativa di allergologia

1.2 Dimensioni del problema

I risultati dell'indagine multiscopo *Condizioni di salute e ricorso ai servizi sanitari* condotta da ISTAT nel 2005 su 60.000 famiglie (nota stampa del 2 marzo 2007) riferiscono che “le malattie croniche più diffuse tra la popolazione sono: l'artrosi/artrite (18,3%) l'ipertensione arteriosa (13,6%), le malattie allergiche (10,7%) con tassi molto elevati fin dall'infanzia: ne sono infatti, affetti almeno il 10,9% dei bambini e l'8,2% delle bambine fino a 14 anni.

Anche Federasma Onlus, in occasione della Prima giornata del paziente allergico (21 marzo 2012) evidenzia un incremento, dal 1950 ad oggi, dal 10% al 30% della popolazione colpita da una manifestazione allergica, inclusi bambini e adolescenti. L'asma bronchiale colpisce un bambino su dieci e nell'80% dei casi sarebbe provocata da allergie, mentre la rinite allergica ne colpisce due su dieci⁴⁸

Un quadro più dettagliato della situazione è presentato nella Relazione del Ministero della Salute sullo Stato Sanitario del Paese del 2011⁴⁹

La comunità scientifica concorda nel ritenere che l'aumento delle patologie allergiche nei paesi industrializzati possa essere attribuito non solo al peggioramento della qualità dell'aria, ma anche al cambiamento delle abitudini e dello stile di vita della popolazione negli ultimi decenni che hanno portato all'aumento del contatto quotidiano con molte sostanze di sintesi (ad esempio gli additivi alimentari e le fibre sintetiche), all'aumento dell'assunzione di farmaci e all'introduzione di specie vegetali esotiche nelle aree verdi urbane.

Un aspetto da evidenziare è il fenomeno della *cross-reactivity* (reazione crociata): i soggetti che soffrono di allergie ai pollini possono manifestare reazioni allergiche quando ingeriscono alcuni tipi di frutta e verdura, amplificando il numero e la sintomatologia degli attacchi. Ciò avviene perché alcuni allergeni sono presenti sia nel granulo pollinico che in particolari alimenti. Un caso frequente è quello del soggetto allergico al polline di betulla (*Betula* sp) che manifesta disturbi al cavo orale quando mangia la mela, soprattutto nei periodi di pollinazione della betulla. Si tratta della Sindrome Orale Allergica (SOA), tipica manifestazione che può provocare bruciore e prurito al cavo orale, sensazione di chiusura alla gola, ma anche a edema labiale e papule sulla mucosa del cavo orale.

Spiegando in modo semplificato il fenomeno, l'individuo sensibilizzato al polline di betulla produce delle Immunoglobuline E (IgE) specifiche che si legano ai recettori specifici di particolari cellule presenti nella mucosa del cavo orale (mastociti); quando il soggetto allergico mangia

Dati sanitari: ISTAT,
Federasma Onlus,
Ministero della Salute



Cause dell'aumento delle
patologie allergiche

Ulteriore fattore di rischio:
le reazioni crociate

⁴⁸ <http://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/eventi/anno-2012/5813-polline>

⁴⁹ <http://www.rssp.salute.gov.it/rssp2011/homeRssp2011.jsp>

la mela, l'allergene del frutto viene riconosciuto dalle IgE specifiche per l'allergene della betulla, data la sua somiglianza molecolare.

In genere i sintomi provocati dalle reazioni crociate sono più marcati durante il periodo di fioritura delle specie vegetali a causa della presenza del polline in atmosfera che produce nell'individuo un aumento momentaneo delle IgE specifiche.

Sono stati effettuati diversi studi per tracciare la rilevanza del fenomeno e approfondire i meccanismi di riconoscimento degli allergeni simili, o parti di essi, da parte del sistema immunitario.

Uno di questi, condotto dalla struttura di Allergologia Ambientale del Politecnico di Milano sulla popolazione milanese, ha confermato che l'insofferenza ai pollini degli alberi cittadini è sempre più spesso associata a quella di alcune tipologie di frutta e verdura. La ricerca, condotta su 600 pazienti allergici ha evidenziato che più della metà è sensibilizzato alle *Betulaceae* (betulla e ontano) e *Corilaceae* (carpino e nocciolo), specie molto diffuse in città e che il 31% dei soggetti considerati risulta colpito dalla sindrome orale allergica (Martinella, 2010)⁵⁰

1.3 Quali soluzioni?

In occasione della V giornata del polline (21 marzo 2012) l'Associazione Italiana di Aerobiologia (AIA), Federasma Onlus e ISPRA si sono trovate concordi nell'affermare che per contrastare le malattie allergiche generate dai pollini in ambito urbano, è fondamentale un'azione combinata su tre fronti:

- il monitoraggio aerobiologico dei pollini e delle spore attraverso le reti del sistema delle Agenzie Ambientali (POLLNET) e dell'Associazione Italiana di Aerobiologia (RIMA) per la prevenzione, la diagnosi, la terapia e la gestione clinica delle malattie allergiche;
- la progettazione del verde urbano che deve prevedere l'impiego di specie non allergeniche;



⁵⁰ http://www.corriere.it/salute/nutrizione/10_maggio_23/allergie-stanuto-cibo_129f510a-6570-11df-89b0-00144f02aabe.shtml

Verde urbano: quali rischi?

- la gestione dei giardini pubblici e privati mirata alla riduzione delle quantità di pollini emessi (programmare sfalci e potature in periodi antecedenti la fioritura e adottare procedure di manutenzione appropriate). A tal proposito sarebbe utile fornire al personale addetto alla programmazione delle attività di manutenzione del verde uno strumento informativo che fornisca per gli individui arborei/arbustivi presenti nelle aree pubbliche (specialmente scuole e ospedali), oltre all'informazione sulla specie anche l'indicazione sul periodo di fioritura “medio”, in modo tale da eseguire gli interventi di manutenzione in periodi opportuni per minimizzare i disagi agli individui allergici.



Anche dal Servizio di Allergologia Ambientale del Policlinico di Milano giungono indicazioni concordi: eradicare le specie erbacee allergeniche (Parietaria e Ambrosia), evitare l'eccessiva crescita delle graminacee nei prati ed evitare la piantumazione delle specie arboree all'origine delle pollinosi più comuni sono le principali istruzioni per fronteggiare il problema nelle città⁵¹.

1.3.1 Reti di monitoraggio aerobiologico

Le concentrazioni polliniche in atmosfera delle principali famiglie botaniche con effetti allergenici sono rilevate dalle reti di monitoraggio regionali (ARPA) e coordinate a livello nazionale da ISPRA (rete POLLnet).

Il monitoraggio in Veneto viene condotto da ARPAV da metà gennaio a metà novembre; i dati, rilevati giornalmente da stazioni captaspore, sono espressi in granuli di polline per metro cubo di aria (concentrazione). La diffusione dei dati avviene con cadenza settimanale contestualmente all'emissione di un bollettino di sintesi integrato dal commento di un medico allergologo⁵².

I bollettini forniscono informazioni a cadenza settimanale sulle concentrazioni giornaliere dei pollini aerodispersi delle principali famiglie botaniche con elevate potenzialità allergeniche. La conoscenza dell'andamento temporale dei livelli di concentrazione, per ciascuna famiglia botanica, permette di formulare previsioni sulle concentrazioni polliniche attese nella settimana successiva. Questa informazione è molto utile in ambito sanitario per la profilassi delle malattie allergiche e la somministrazione di farmaci ad azione preventiva.

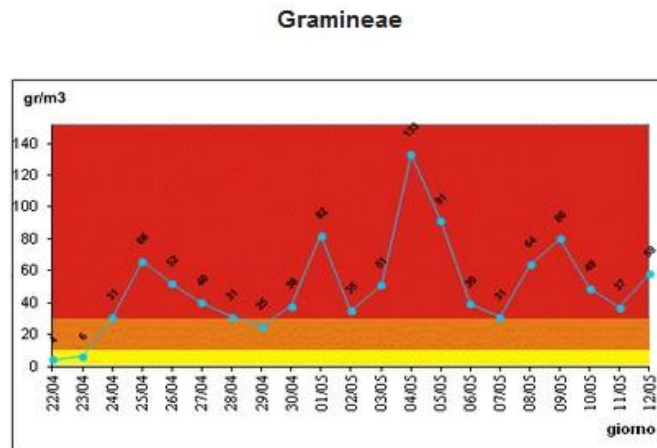
I dati delle reti di monitoraggio regionali confluiscono nella Rete Italiana di Monitoraggio Aerobiologico POLLnet.



⁵¹ <http://www.youtube.com/watch?v=07XGCn6frk>

⁵² La stazione di monitoraggio aerobiologico è rappresentativa di un territorio di ampiezza pari ad un cerchio di 2 chilometri di raggio; tuttavia può risentire di effetti presenti in un raggio di 20 chilometri.

Figura 1.1 ►
Bollettino dei pollini e
previsione settimanale a fini
sanitari



Giudizio della settimana: **ELEVATA**

Concentrazione prevista per la prossima settimana **ELEVATA**

Le serie storiche dei dati sulle conte polliniche disponibili per ciascuna stazione di monitoraggio permettono di costruire degli indicatori di sintesi (media dei valori medi decadali degli anni monitorati) rappresentati graficamente nel calendario pollinico (Fig. 1.2) dove al valore di sintesi espresso in concentrazione di granuli/ m^3 di aria, viene associata la relativa valutazione qualitativa (alta, media, bassa), facendo riferimento alla classificazione proposta dall'A.I.A.⁵³

Figura 1.2 ►
Calendario pollinico della
stazione di Padova.
Serie storica: 2006-2012
Fonte dati: Università degli
Studi di Padova



Legenda:

concentrazione (granuli-spore/ m^3)

alta media bassa

⁵³ <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/pollini/dati/calendari-pollinici-per-il-veneto>

1.3.2 Indice di allergenicità del verde

Un interessante strumento per valutare il livello potenziale di “carica” pollinica delle aree verdi urbane è l’indice allergenico (I.A.) che valuta il potenziale allergenico di ogni allergofita, a partire dalle sue caratteristiche ecologiche e allergologiche (Hruska., 2003).

Per il calcolo dell’indice è necessario disporre per ciascuna specie allergofita delle seguenti informazioni:

- Ciclo vitale
- Durata del periodo di fioritura
- Presenza o meno della *cross-reactivity*
- Abbondanza della specie

A ciascun parametro è assegnato un valore numerico, crescente all’aumentare della potenzialità allergenica del polline. Il valore dell’indice è la somma dei valori numerici attribuiti ad ogni singolo parametro (Tab. 1.1)

Ciclo vitale	Periodo di fioritura	Cross-reactivity	Abbondanza
Annuale=1 Biennale=2 Perenne=3	Meno di 1 mese=0,5 Più di 1 mese =2	Assente=0 Presente=1	Rare=0,5 Presenti=1 Comuni=2 Abbondanti=3 Molto abbondanti=4

◀ **Tabella 1.1**

Valore numerico dei parametri utilizzati per il calcolo

L’abbondanza è valutata secondo una scala standard che rappresenta la superficie coperta da ogni singola specie, alla quale è quindi attribuito un valore numerico in grado di stimare la presenza/abbondanza della specie stessa (Tab. 1.2).

Copertura (%)	Valore numerico	Specie
< 1	0,5	Rare
1 – 25	1	Presenti
25 – 50	2	Comuni
50 – 75	3	Abbondanti
75 – 100	4	Molto abbondanti

◀ **Tabella 1.2**

Valutazione del parametro Abbondanza mediante la percentuale di copertura

Sulla base del risultato dell’Indice, le allergofite si possono suddividere in classi (Tab.1.3)

Indice Allergenico	Descrizione
I.A. > 3	Specie con polline leggermente allergenico o senza effetti comprovati
I.A. da 4 a 6	Specie con polline moderatamente allergenico
I.A. da 7 a 10	Specie con polline fortemente allergenico

◀ **Tabella 1.3**

Classi di allergenicità potenziale in base all’I.A. delle allergofite

Applicando il procedimento di calcolo dell'indice I.A. a tutte le specie vegetali presenti nel contesto territoriale di studio, è evidente che il risultato finale non assumerà mai valore pari a zero, nemmeno per quelle specie considerate “innocue”.

Infatti è pur vero che ogni specie vegetale può essere potenzialmente capace di provocare manifestazioni allergiche in base alla sensibilità del soggetto e al tempo trascorso a contatto con il polline.(Staffolani, 2006).

1.4 Nuove tecnologie di comunicazione

1.4.1 Importanza dell'informazione preventiva

Per chi soffre di pollinosi, ma anche per i medici allergologi, è importante disporre di informazioni affidabili e tempestive sulle concentrazioni polliniche presenti e previste per adottare in tempo le misure di prevenzione e di cura.

E' pensiero unanime della comunità scientifica, e addirittura al primo posto nell'elenco delle raccomandazioni dell'AAITO⁵⁴ che “il paziente dovrebbe essere adeguatamente informato di tutte le proprie sensibilizzazioni e dei periodi *critici*. Sovente difatti i pazienti presentano positività a più di un allergene pollinico a fioritura i periodi diversi. E' importante altresì che il paziente impari a riconoscere le piante che liberano i pollini a cui è sensibilizzato e ne conosca i periodi di fioritura. Siccome questi periodi possono variare, a seconda delle condizioni climatiche è importante disporre di un Bollettino del polline, in tempo reale e, nel contempo, di previsioni tempestive a breve termine”.

Conoscere l'ubicazione delle piante ad alto potenziale allergenico nel contesto urbano può permettere al cittadino informato di evitare la frequentazione di tali aree nei periodi di pollinazione; questa semplice accortezza può contribuire a prevenire la sintomatologia delle persone sensibilizzate. Riportando le indicazioni del bollettino ISPELS⁵⁵ “la conoscenza di alberi e piante, della loro fioritura, dei periodi di maggior produzione di pollini, quindi di tutti i fattori associati alla stagionalità delle diverse piante, risulta importante al fine di prevenire e controllare le allergie. Anche l'adozione di comportamenti da parte di persone suscettibili può aiutare nella prevenzione della sintomatologia. A tal proposito, bisognerebbe evitare di svolgere attività in luoghi nelle vicinanze di piante allergizzanti.”

⁵⁴ Associazione Allergologi e Immunologi Territoriali ed Ospedalieri, Prof. Ariano http://www.pollinicallergia.net/la_rete.php

⁵⁵ Bollettino ISPELS

<http://www.ispesl.it/ossvita/documenti/FAbiologici/Allergeni%20di%20origine%20vegetale.pdf>

Verde urbano: quali rischi?

1.4.2 Strumenti innovativi: app e dintorni

Da quanto detto sopra si evince che gli strumenti informativi tradizionali non sono più sufficienti a soddisfare la domanda informativa dei soggetti interessati. L'aumentata efficienza e disponibilità delle tecnologie di comunicazione e la diffusione capillare dei relativi *device* sempre più disponibili a basso costo, hanno creato le basi per lo sviluppo di piattaforme e servizi per la diffusione e la condivisione delle informazioni in tempo reale.

Il monitoraggio aerobiologico non basta: nuovi strumenti di informazione



Negli ultimi anni sono stati creati servizi web e app per smartphone che permettono all'utente di ricevere in automatico, o di avere sempre a disposizione, i bollettini settimanali e le previsioni sulle concentrazioni polliniche. In alcuni casi le informazioni sono “personalizzate” a seconda del luogo di riferimento indicato dall'utente e delle sue sensibilità precedentemente dichiarate. L'utilizzo delle nuove tecnologie di informazione e comunicazione va, a mio parere, esteso anche alla realizzazione di nuovi servizi che forniscano ai cittadini informazioni concrete per mettere in atto le azioni preventive. Un esempio, la costruzione di mappe territoriali a scala urbana o di quartiere, indicanti le potenziali fonti di emissione pollinica (parchi, aree verdi, viali alberati), aggiornate in tempo reale sulla base delle specie e del periodo temporale.



Una applicazione di questo tipo, tutt'altro che semplice poiché combina diversi strati informativi e diverse competenze professionali, potrebbe risultare utile ai cittadini soggetti a pollinosi, che frequentano abitualmente i parchi cittadini, per scegliere consapevolmente il luogo più idoneo da frequentare.

Ulteriori applicazioni possono scaturire dall'utilizzo delle piattaforme di crowdsourcing (Parte III capitolo 2) per la costruzione della conoscenza condivisa a partire dal contributo individuale. Possibili esempi applicativi vanno dalla costituzione di una rete fenologica per

la raccolta dei dati sul territorio, ad uno strumento che permetta ai cittadini sensibilizzati di segnalare i momenti dell'anno (e del giorno) in cui avvertono disagio per migliorare l'efficacia delle terapie preventive.

1.5 Un'applicazione: il “diario dei sintomi”

1.5.1 *Contesto e limiti attuali*

A causa dell'elevata variabilità delle caratteristiche individuali che determinano una diversa risposta sanitaria alle medesime condizioni ambientali, è assai difficile trovare una relazione quantitativa tra i dati di concentrazione dei pollini in atmosfera e gli effetti sanitari nei soggetti sensibili.

La sintomatologia finale delle pollinosi è influenzata da molti fattori, come le condizioni climatiche, l'età della persona, la predisposizione genetica e altri (Ricci *et al.* 1993).

Per migliorare l'efficienza e la tempestività delle cure nei pazienti allergici sarebbe molto utile conoscere le soglie di concentrazione in aria dei diversi pollini oltre le quali si scatenano le risposte allergiche dei soggetti sensibili, in altre parole le dosi “critiche” degli agenti allergeni.

Tali dati (sintomatologici) vengono in genere rilevati solamente per finalità specifiche di studio e ricerca, e quindi in ambiti locali e per periodi limitati di tempo.

Uno strumento utilizzato dai medici, sia per la diagnosi della malattia sia per il monitoraggio delle condizioni del paziente, che contribuisce alla raccolta sistematica dei dati sulla sintomatologia dei soggetti allergici è il “diario dei sintomi”.

Si tratta di una tabella in formato cartaceo che, su richiesta del medico, il paziente compila giornalmente con alcune informazioni sintetiche sul proprio stato di salute e sulle terapie farmacologiche seguite. In occasione delle visite ospedaliere periodiche il diario viene visionato dal medico che ne analizza i contenuti.

Alcuni limiti evidenti della procedura attuale sono i seguenti:

- elaborazione dati tardiva e poco efficiente a causa della modalità di registrazione su supporto cartaceo;
- mancanza del quadro complessivo delle informazioni riferite al singolo paziente;
- mancanza di una visione d'insieme dei diversi pazienti che potrebbe offrire nuove informazioni e spunti per la ricerca;
- alta probabilità di avere dati incompleti o compilati a posteriori dai pazienti stessi.

Pollini aerodispersi e
insorgenza dei sintomi:
quale relazione?

Verde urbano: quali rischi?

1.5.2 Un nuovo strumento di comunicazione

Per migliorare il flusso informativo medico-paziente e superare alcune criticità evidenziate sopra, sono sicuramente di aiuto le nuove tecnologie. Una proposta di facile realizzazione e impiego riguarda l'utilizzo di uno strumento diventato ormai di uso quotidiano ad alto contenuto tecnologico: lo smartphone.

Questi oggetti (*device*) dotati di strumenti ad alto contenuto tecnologico (sensori, microfono, GPS) e disponibili sul mercato a prezzi accessibili, consentono ad un'ampia parte di popolazione di accedere e scambiare facilmente dati e informazioni.

La proposta consiste quindi nella realizzazione di un'applicazione *mobile* che sostituisca la compilazione giornaliera del modulo cartaceo e permetta l'invio in tempo reale (o *near real time*) i dati al medico che potrà così disporre di serie temporali di dati in formato digitale⁵⁶. L'applicazione dovrà essere inizialmente distribuita ad un numero limitato di pazienti "sperimentatori", individuati direttamente dal medico stesso.

Alcuni aspetti positivi dell'applicazione per smartphone:

Per il paziente:

- possibilità di ricevere un avviso giornaliero per la compilazione (es. promemoria sonoro) per evitare dimenticanze e garantire dati completi e tempestivi;
- velocità e facilità di compilazione del diario per chi possiede uno smartphone (maggior probabilità di coinvolgimento dei pazienti giovani);

Per il medico:

- maggior probabilità di ricevere dati completi e tempestivi
- archiviazione strutturata dei dati;
- dati generati in formato digitale pronti all'uso per successive elaborazioni.

Un aspetto negativo per il medico è la necessità di continuare a gestire i dati in entrambi i formati, a causa della progressività nell'utilizzo dell'applicazione e della persistenza di pazienti non dotati di smartphone.

1.6 Conclusioni e proposte operative

Il progressivo aumento dell'incidenza dei disturbi e delle patologie di origine allergica deve essere gestito con un approccio interdisciplinare, considerando i numerosi fattori che possono giocare un ruolo

Le nuove tecnologie a servizio della comunicazione medico-paziente

⁵⁶ le informazioni da registrare sono state concordate con la D.ssa Crivellaro, medico allergologo operante presso l'Azienda Ospedaliera di Padova.

importante nello sviluppo di tali patologie; alcuni appartengono alla sfera individuale, come lo stile di vita e la familiarità, altri al contesto ambientale, come l'inquinamento atmosferico e i cambiamenti climatici.

Diventa quindi sempre più importante agire a livello preventivo, adottando tutte le misure possibili per minimizzare gli effetti negativi sulla salute e sul benessere degli individui.

Una semplice indicazione, peraltro già adottata da qualche amministrazione, è quella di evitare l'impianto di specie allergeniche nei centri urbani ad alta densità abitativa. Questo suggerimento è indirizzato non solo alle amministrazioni pubbliche che hanno la competenza della gestione del verde pubblico, ma anche ai soggetti privati, ai vivaisti e ai singoli cittadini. Questi, infatti, seppur non tenuti a rispettare alcuna indicazione normativa sulla scelta delle specie da mettere a dimora nei giardini privati, contribuirebbero significativamente alla riduzione delle fonti allergeniche su scala locale, anche in considerazione del "peso" del verde privato, in termini di copertura del suolo, in ambito urbano.

Nel caso si renda necessaria, per deperienza o moria, la sostituzione di alberi ad alto potenziale allergenico presenti nei parchi e nei giardini urbani, si suggerisce il rimpiazzo con specie non allergeniche.

In presenza di esemplari (o gruppi) arborei in buone condizioni, appartenenti a specie ad alto potenziale allergico, soprattutto se localizzati in parchi provvisti di aree gioco e ritrovo per anziani, l'indicazione più utile e sensata consiste nell'informare i cittadini sui periodi di fioritura degli alberi in modo che essi possano adottare tutte le cautele possibili per prevenire i sintomi della pollinosi.

Che si tratti di un viale alberato o di un parco pubblico, se adeguatamente informato il cittadino potrà decidere di non frequentare quello specifico luogo nell'arco di tempo interessato dalla fioritura delle specie presenti.

Va poi considerato il potenziale contributo allergenico dei prati urbani, dei terreni incolti, del verde indesiderato (come la Parietaria, specie erbacea che abbonda nelle aree abbandonate e degradate in corrispondenza di opere murarie di recinzione); le specie vegetali presenti in tali contesti costituiscono fonti di sensibilizzazione per la maggior parte della popolazione allergica ai pollini. La famiglia delle Graminacee infatti è in ambito veneto la prima per numerosità di popolazione colpita, seguita dalle Urticaceae (Parietaria).

In questi casi la misura preventiva più efficace è la programmazione degli sfalci e degli interventi di manutenzione nei periodi antecedenti alla fioritura (pollinazione) (ISPRA).

Evitare l'introduzione e il reimpianto di specie ad alto potenziale allergenico

Comunicare il rischio potenziale, informare i cittadini sensibili

Programmare la gestione del verde

Verde urbano: quali rischi?

Le azioni indicate in precedenza possono contribuire a ridurre gli effetti delle pollinosi limitando le fonti di pressione di emissione pollinica, ma non sono sufficienti per risolvere il problema.

Gli aspetti pratici e i condizionamenti presenti nella vita quotidiana (per esempio un'abitazione posta di fronte ad un boschetto di betulle) non consentono ai cittadini di agire sempre in modo preventivo e cautelativo. Tanto più che va ricordato che i pollini aerodispersi non derivano solamente dalle fonti di emissione presenti nelle immediate vicinanze; anzi, essi provengono spesso da fonti situate a decine di chilometri di distanza.

Infine va evidenziato che il verde urbano è un aspetto caratterizzante la città, nelle sue forme e colori raffigura la struttura urbana, ne testimonia la storia, oltre che richiamare gli aspetti naturali del territorio. Questi aspetti devono essere tenuti in considerazione nella definizione degli interventi sul verde urbano.

Non è sempre
possibile adottare le
misure consigliate

2. RISCHIO DI INTRODUZIONE DI AGENTI PATOGENI E SPECIE INVASIVE

2.1 Contesto

La gestione del patrimonio arboreo nel contesto urbano implica anche la necessità di affrontare problematiche legate ai danni provocati dalla presenza di organismi patogeni e parassiti che, sempre con maggior frequenza, provengono da altri paesi, anche molto distanti e diversi per condizioni ambientali e climatiche. Inoltre l'introduzione di specie invasive animali e vegetali può avere effetti rilevanti sulla diversità e sulla salute dei popolamenti arborei e talvolta può provocare ingenti danni, diretti e indiretti, sia a livello ambientale che economico.

L'aumento della velocità di diffusione di specie esotiche e l'entità delle conseguenze hanno richiamato l'attenzione della Comunità Europea e di diverse organizzazioni internazionali tra cui IUCN, World Conservation Union ed EPPO - European Plant Protection Organization, le quali avvertono a livello globale una mancanza di consapevolezza della gravità e dell'urgenza del problema (Van Ham *et al*, 2013) che può avere gravi ripercussioni sulla biodiversità urbana che può venire ridotta dall'introduzione di specie animali e vegetali invasive aliene ⁵⁷

In Gran Bretagna è stato pubblicato un documento (NNSS, 2008) che definisce il quadro di riferimento affinché le azioni dei diversi soggetti interessati (istituzioni, agenzie e stakeholder) siano coordinate e sinergiche. La struttura (NNSS - Non Native Species Secretariat), effettua il coordinamento nazionale delle agenzie e dei ministeri inglese, scozzese e gallese sul tema.

Per contrastare questo fenomeno è necessario agire su più fronti: dall'adozione di sistemi di allertamento, al monitoraggio e controllo, alle attività finalizzate alla completa eradicazione degli organismi indesiderati. Solo mediante interventi preventivi si possono ottenere risultati significativi e duraturi; le grandi città possono giocare un ruolo determinante controllando le vie di accesso come i porti e gli aeroporti.

Anche se le misure di tutela del fenomeno nel suo complesso riguardano principalmente il controllo delle vie di introduzione nel territorio di tali organismi (come ad esempio il commercio

⁵⁷ Blog IUCN url: <https://portals.iucn.org/blog/2013/09/27/invasive-alien-species-are-sneaking-into-our-cities/>

internazionale di materiale vegetale da imballaggio o le piante destinate ai vivai), è necessario adottare delle misure di gestione a livello locale per evitare, o almeno contenere, le conseguenze negative di eventuali epidemie.

A causa della rapida evoluzione del fenomeno, è opportuno considerare non solo gli agenti la cui presenza in Italia è confermata da rilevamenti sul territorio, ma anche quelli di cui si prevede l'arrivo in tempi medio-brevi, in modo da approntare misure di difesa (o lotta) tempestive ed efficaci.

2.2 Agenti patogeni potenziali nell'area di studio

Il tema viene di seguito sviluppato con riferimento alle specie arboree presenti nell'area studio, nelle aree pubbliche e lungo le strade.

Dopo aver individuato gli agenti patogeni che potrebbero generare impatti negativi sul verde urbano (Nicolotti *et. al.*, 2009), sono state identificate le specie arboree a rischio nel quartiere. E' stato quindi stimato il danno ambientale potenziale nel caso in cui l'attacco patogeno dovesse concretizzarsi e colpisse la totalità delle specie vulnerabili presenti; il danno è stato calcolato in termini di mancato sequestro delle quantità di sostanze inquinanti presenti in atmosfera e quindi mancato miglioramento della qualità dell'aria in termini percentuali.

In Tab 2.1 sono riportati gli agenti patogeni rilevati e di temuta introduzione in Italia (identificati con *) e le specie arboree suscettibili di attacco nell'area studio (Nicolotti *et. al.*, 2009) (www.padovanet.it).

Tabella 2.1 ►

Agenti patogeni presenti o di temuta introduzione, specie arboree bersaglio e principali manifestazioni della malattia

Agente	Nome	Bersaglio	Effetti/Manifestazioni
Fungo	<i>Cryphonectria parasitica</i>	Castagno	Cancro castagno
Fungo	<i>Ceratocystis fimbriata</i> f. <i>sp. platani</i>	Platano	Cancro colorato: lesioni a tronco, rami, radici
Fungo	<i>Ophiostoma ulmi</i>	Olmo	Grafiosi olmo
Fungo	<i>Phytophthora ramorum</i>	Querce (<i>Quercus falcata</i> , <i>Q. ilex</i> , <i>Q. cerris</i> , <i>Q. rubra</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Aesculus hippocastanum</i>)	Morte improvvisa (Sudden Oak Death)
Fungo	<i>Heterobasidium annosum</i> , <i>H. parviporum</i> , <i>H. abietinum</i>	Conifere e <i>Pinus Pinea</i> (Pino domestico)	Carie del fusto e marciume radicale
Fungo	<i>Fusarium circinatum</i> (<i>Giberella circinata</i>)	<i>Pinus radiata</i> , <i>P. halepensis</i> , <i>P. pinea</i>	Abbondante resinazione, disseccamento chioma e morte
Fungo (*)	<i>Ceratocystis fagacearum</i>	Quercia e Castagno	Tracheomicosi. Avvizzimento chioma, disseccamento fogliare, morte
Fungo (*)	<i>Cronartium fusiforme</i> , <i>C. quercuum</i>	Primari: <i>Erythrobanus</i> (sottogenere querce rosse), castagno Secondari: <i>Pinus pinea</i> , pino d'Aleppo, nero, mugo e marittimo	Ruggini

Verde urbano: quali rischi?

Fungo (*)	<i>Ophiostoma wagneri</i>	<i>Pinus sylvestris</i> e <i>P. contorta</i>	Tracheomicosi
Coleottero polifago	<i>Anoplophora chinensis</i> (<i>Coleoptera cerambycidae</i>)	Latifoglie	Gallerie alla base del fusto e nelle radici superficiali, pericolo stabilità
Coleottero polifago	<i>Megaplatypus mutatus</i> (<i>Coleoptera platypodidae</i>)	Latifoglie arboree da legno, da frutto e ornamentali	Gallerie scavate dall'insetto, rischio stroncature da vento
Coleottero	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (<i>C. curculionidae</i>)	Palme - <i>Phoenix canariensis</i> , <i>Ph. dactylifera</i>	Chioma divaricata
Tingide fitofago	<i>Corithucha arcuata</i> (<i>Heteroptera tingidae</i>)	Querce	Disseccamento fogliare
Coleottero buprestide (*)	<i>Agrilus planipennis</i> (<i>Coleoptera buprestidae</i>)	<i>Fraxinus</i>	Gallerie interne, indebolimento e morte
Coleotteri scolitidi polifagi (*)	<i>Pseudopityophthorus</i> , <i>Ips</i> , <i>Dendroctonus</i> (<i>Coleoptera Scolytidae</i>)	Latifoglie e conifere	Trasmissione di funghi patogeni
Nematode (*)	<i>Bursaphelenchus xilophilus</i> (<i>Nematoda Aphelenchoididae</i>)	Pino	
Fanerozoma (*)	<i>Archibolium</i> (vischi nani conifere)	<i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Tsuga</i> , <i>Pseudotsuga</i>	Riduzione crescita, danni al legno, meno semi

Tra gli agenti patogeni elencati in Tab 2.1 sono stati individuati quelli più significativi per l'area studio, sia in termini di riscontri oggettivi sulla loro diffusione nella regione, che di rischio potenziale dovuto alla presenza di specie arboree potenzialmente vulnerabili (specie bersaglio) (Tab 2.2).

Parassita	Acronimo internazionale	Specie bersaglio
Ceratocystis fimbriata	-	Platanus hybrida
Ophiostoma ulmi	DED	Ulmus minor
Agrilus planipennis	EAB	Fraxinus spp.
Phytophthora ramorum	SOD	Quercus spp.
Anoplophora chinensis	CLB	Latifoglie

◀ **Tabella 2.2**
Principali parassiti
potenziali per l'area studio
relative specie bersaglio

Ceratocystis fimbriata f. sp. Platani - Cancro colorato dei platani

Questo fungo, segnalato in Italia fin dagli anni Settanta, colpisce i platani provocando l'infezione degli organi legnosi della pianta: tronco, rami e radici. Esso entra in contatto con il legno attraverso le lesioni corticali o gli apparati radicali di alberi vicini. I sintomi principali consistono nella presenza di cancri di colore bruno-rossiccio o violaceo sulla corteccia e nel disseccamento della chioma: negli individui in cui l'infezione si sia originata nella parte bassa del tronco, la morte avviene in genere nell'arco di pochi anni. La diffusione della malattia è spesso provocata dall'azione dell'uomo, che effettua scavi o potature in modo errato, non rispettando le necessarie accortezze.

Al momento non esiste una cura efficace per questa patologia pertanto, una volta accertato il contagio, le piante devono essere abbattute assieme ad eventuali individui limitrofi della stessa specie, in base alla

norma nazionale che regola la lotta obbligatoria al cancro colorato del platano (D.M. del 29 febbraio 2012).

Nel Comune di Padova il personale tecnico effettua con cadenza annuale il controllo visivo dei platani delle vie cittadine e, nel caso rilevino i sintomi della malattia, inoltra la comunicazione di abbattimento al Servizio Fitosanitario Regionale. In riferimento al patrimonio arboreo comunale è stata rilevata nell'ultimo decennio una progressiva diminuzione del numero di alberi colpiti annualmente dal fungo (16 platani nel 2002 a 7 nel 2011) e una variazione nella modalità di trasmissione della malattia, sempre più provocata da lesioni causate da lavorazioni e scavi effettuati senza le necessarie precauzioni, in prossimità degli alberi⁵⁸.

Ophiostoma ulmi (DED - Dutch Elm Disease) - Grafiosi dell'olmo

È un fungo parassita di origine asiatica, segnalato in Italia nel 1930, che colpisce gli alberi di olmo provocando la malattia chiamata grafiosi dell'olmo o "Dutch Elm Disease" (DED). A causa della sua pericolosità e dei suoi effetti il fungo è stato inserito nell'elenco delle 100 specie aliene più dannose del mondo ⁵⁹

Il parassita si diffonde attraverso un insetto xilofago che compie il suo ciclo vitale nelle gallerie larvali dell'olmo, trasportando le spore del fungo nelle diverse parti dell'albero. Il sintomo principale dell'infezione, che colpisce alberi maturi, è l'avvizzimento dei rami; la morte dell'individuo può avvenire anche nell'arco di un solo anno.

In passato questa malattia ha decimato le popolazioni di olmi di grandi dimensioni in tutto il mondo in più riprese. In Europa negli anni '90 vi è stato l'apice di diffusione della malattia che non ha risparmiato l'Italia e nemmeno la città di Padova.

Agrilus planipennis (EAB - Emerald Ash Borer)

È uno scarafaggio verde di origine asiatica fortemente infestante negli habitat non originari; colpisce gli alberi di frassino causandone il deperimento e la distruzione. L'insetto compie il suo ciclo vitale in un arco di tempo variabile da uno a due anni, a seconda delle variabili climatiche e dello stato di salute dell'albero ospite. Se l'insetto si trova in

⁵⁸ www.padovanet.it

⁵⁹ È un elenco che comprende 100 specie di organismi, alieni rispetto all'habitat in cui trovano, che hanno provocato i danni più significativi a carico degli organismi autoctoni e dell'uomo. La lista comprende soprattutto specie animali di piccole e medie dimensioni, piante invasive e funghi. (link). L'elenco è stilato dall'IUCN e dalla ISSG (Invasive Species Specialist Group del IUCN).

Verde urbano: quali rischi?

un habitat privo di predatori naturali le sue conseguenze sui popolamenti di frassino possono essere devastanti.

L'insetto produce i danni più significativi quando si trova allo stadio larvale poiché esso, scavando cunicoli e gallerie nel tronco, interrompe il flusso dei nutrienti che scorre nelle strutture vascolari (floema). Ciò si evidenzia dal progressivo disseccamento della chioma fino alla morte dell'albero che generalmente arriva nell'arco di un anno o poco più.

E' possibile prevenire l'attacco del patogeno mediante l'applicazione di trattamenti periodici che prevedono la somministrazione di insetticidi a livello della base dell'albero o nel suolo circostante.

Phytophthora ramorum - SOD (Sudden Oak Death)

E' un fungo polifago che alberga in un elevato numero di piante arboree e arbustive, forestali ed ornamentali. In Europa la sua presenza è stata inizialmente segnalata nel 2001 su piante da vivaio ornamentali e dal 2003 anche su alcune specie arboree come quercia (*Quercus falcata*, *Q. rubra*, *Q. cerris*, *Q. ilex*), faggio, frassino, castagno e ippocastano, situate in aree boschive o a parco, vicino a piante di rododendro infette.

Per impedire l'introduzione e la propagazione di questo agente patogeno, dal 2002 la Commissione Europea ha emesso delle Decisioni (2002/757/CE 2004/426/CE, 2007/201/CE) che impongono misure di profilassi e controllo.

Anoplophora chinensis (CLB - Citrus Longhorn Beetle)- Tarlo asiatico

E' un insetto (coleottero cerambicide) originario dalla Cina e altri paesi orientali che si è diffuso in Europa in modo accidentale, attraverso gli scambi commerciali di materiale infestato dal parassita. In Italia è stato rinvenuto per la prima volta in Lombardia nel 2000; successivamente in altre aree dell'Italia settentrionale e nel 2008 nel Lazio.

Il tarlo asiatico è un insetto polifago che ha come bersaglio numerose specie di latifoglie; ciò facilita la sua diffusione, ne complica l'eradicazione e aumenta l'entità dei possibili danni a cose e persone. La presenza del parassita si evidenzia, nella base basale del tronco, con la presenza di cumuli di materiale fine rossastro prodotto dalle larve neonate (rosura) e di fori di sfarfallamento, mentre nella parte apicale con disseccamenti dei germogli e ingiallimento precoce della chioma. Le gallerie scavate nel legno possono indebolire a tal punto i tessuti strutturali della pianta da comprometterne la stabilità con rischio di schianto o stroncamento, particolarmente probabile nel caso di eventi meteorologici estremi.

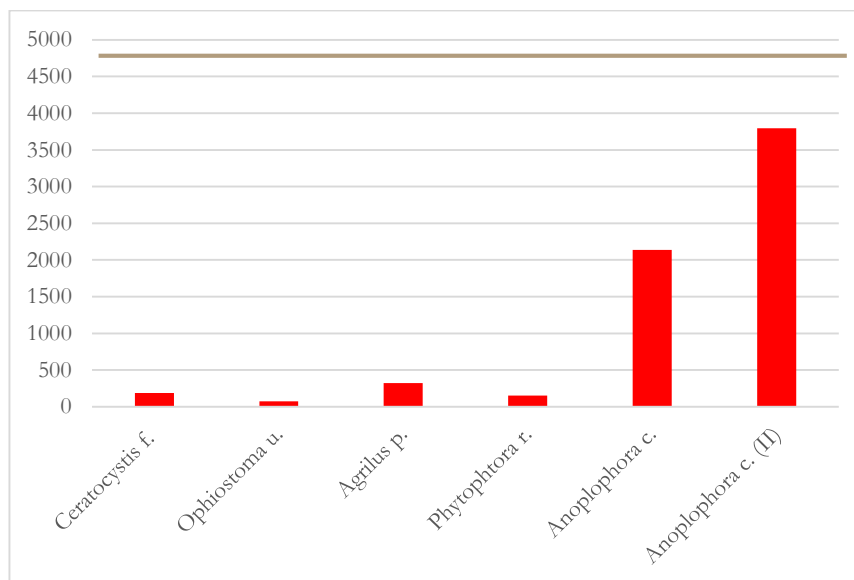
Anche a livello europeo sono state prese delle misure per limitare gli effetti negativi derivanti dall'introduzione di questo organismo (Decisione della CE del 7 novembre 2008).

2.2.1 Impatti potenziali sull'area di studio

Facendo riferimento alle specie arboree presenti nei luoghi pubblici dell'area di studio, sono stati conteggiati gli alberi potenzialmente a rischio nell'eventualità si verificassero attacchi da parte dei diversi organismi patogeni (Fig.2.1).

Figura 2.1 ►

Numero di individui arborei potenzialmente colpiti dagli agenti fitopatogeni più dannosi. La linea gialla indica il numero complessivo di alberi pubblici presenti nell'area studio

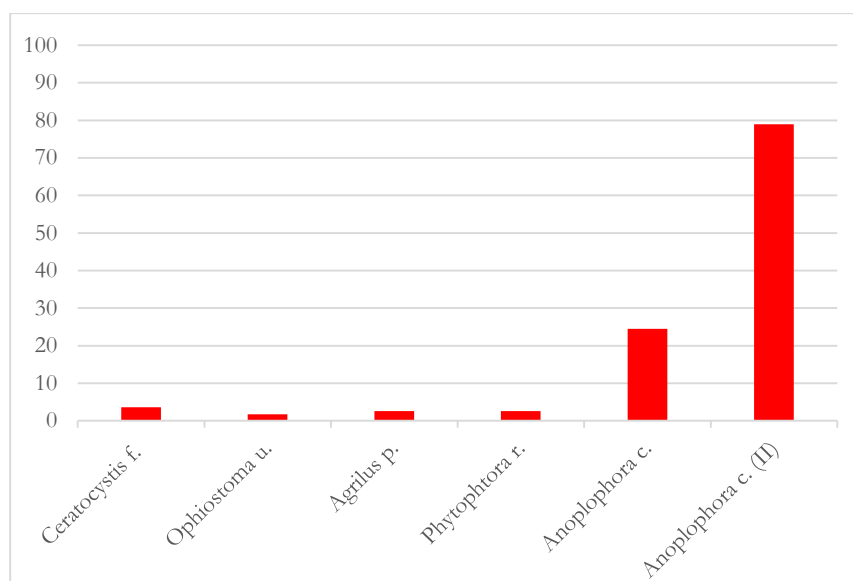


Le ultime due colonne (a destra) riportano entrambe il numero di alberi interessati da un'eventuale diffusione del coleottero asiatico che ha impatti devastanti su molte specie di latifoglie; la prima colonna comprende le specie arboree sulle quali la presenza del parassita è stata rilevata (Wikipedia, Veneto Agricoltura, 2007), mentre la seconda comprende anche le specie arboree considerate potenzialmente a rischio da altri studi relativi al territorio lombardo.

In Fig.2.2 sono mostrati i risultati del calcolo del danno che ciascuna delle diverse forme patologiche potrebbe causare al patrimonio arboreo pubblico, in termini di perdita del contributo della vegetazione arborea pubblica al miglioramento della qualità dell'aria.

In ordinata è riportato il valore percentuale della mancata rimozione degli inquinanti atmosferici. Lo scenario mostrato ipotizza che il contributo delle specie potenzialmente colpite diventi nullo in seguito alla moria o abbattimento delle specie contagiate.

Emerge chiaramente la gravità del danno potenziale generato da *Anoplophora cinensis*, a causa della sua polifagia.



◀ **Figura 2.2**

Valore percentuale della riduzione del contributo degli alberi al miglioramento della qualità nel caso di diffusione dei principali agenti patogeni.

2.2.2 Considerazioni gestionali

Se in passato era possibile associare gli agenti patogeni alle singole specie arboree (platano, olmo, castagno, ecc.), oggi la situazione è diversa, considerando alcune recenti esperienze di organismi invasivi, diffusi accidentalmente (come il tarlo asiatico), che stanno generando ingenti danni a livello mondiale per la loro capacità di colpire un numero elevato di specie.

Da ciò deriva che i criteri sulla diversità dei popolamenti arborei a difesa di attacchi patogeni, oggi sono superati⁶⁰ perché insufficienti a tutelare la stabilità del popolamento.

Recenti studi sugli attacchi dei patogeni hanno dimostrato che l'entità dei danni provocati agli alberi dipende in minima parte dallo stato di salute dell'albero ma è dovuta principalmente alle caratteristiche biologiche del parassita e alla disponibilità di individui ospiti. Quindi la vulnerabilità ai parassiti delle diverse specie arboree diventa un aspetto da considerare per la stabilità del popolamento.

Un criterio per ridurre la vulnerabilità del verde urbano è perciò quello di selezionare per i nuovi impianti specie diverse che mostrano sensibilità differenti agli organismi nocivi. (McPherson, 2013)

⁶⁰ Per prevenire danni catastrofici da attacchi patogeni è necessario che il popolamento arboreo abbia le seguenti caratteristiche di presenza: non più del 10% di ogni specie, del 20% di ogni genere e del 30% di ogni famiglia (Santamour, 1990)

2.3 Specie vegetali alloctone e alloctone invasive

Un altro aspetto da considerare nella valutazione della componente vegetale urbana è la composizione in specie autoctone, alloctone e alloctone invasive⁶¹. La costruzione di indici e indicatori basati sul numero delle specie invasive, sulla loro numerosità ed estensione territoriale permette di stimare il fenomeno dell'invasione biologica di vegetali provenienti da diversi contesti geografici o da altri continenti, in grado, nei casi peggiori, di sostituirsi alle specie autoctone.

Al momento non esistono norme internazionali che contrastino in modo incisivo il fenomeno delle invasioni biologiche; gli strumenti normativi attuali consistono in dichiarazioni di natura non vincolante e nell'obbligo di cooperare per la tutela dell'ambiente. La Convention on Biological Diversity (CBD) costituisce il riferimento più significativo, cui si rifanno diverse fonti comunitarie (Dir. n. 92/43/CEE) e nazionali (DPR n. 357/1997).

Nonostante le specie alloctone invasive costituiscano una minaccia per l'ambiente e gli ecosistemi, non esiste ancora un quadro di riferimento nazionale unitario e non sono note applicazioni di "strumenti" come il danno ambientale riferibili, in linea di principio, anche alle invasioni biologiche. Esempi virtuosi a livello regionale sono la Lombardia che ha prodotto una norma specifica (L.R. 31/03/2008, n. 10) e la Sardegna nell'ambito del piano paesaggistico (Porro e Sparacino, 2013).

Tra le cause principali del fenomeno vi sono la diffusione dell'agricoltura intensiva, la progressiva urbanizzazione, l'aumento dei flussi di traffico di merci e persone e la presenza di una rete idrica sviluppata. Il numero e la densità di specie alloctone, rispetto al contesto territoriale di riferimento, tendono ad aumentare con la densità della popolazione. (Porro e Sparacino, 2013).

⁶¹ Specie **alloctone** (introdotte, non-indigene, esotiche, xenofite): specie vegetali la cui presenza in un territorio è dovuta al trasporto, volontario o accidentale, da parte dell'uomo.

Specie **naturalizzate** (stabilizzate): specie alloctone che formano popolamenti stabili indipendenti dall'azione antropica.

Specie **casuali** (effimere, occasionali): specie alloctone che si sviluppano e riproducono spontaneamente ma non formano popolamenti stabili e per il loro mantenimento dipendono dall'azione dell'uomo.

Specie **invasive**: sottogruppo di specie naturalizzate a veloce diffusione anche su lunghe distanze, con potenzialità di diffusione su vaste aree.

2.3.1 Situazione nel Veneto e nell'area di studio

Nel Veneto si registrano 414 Taxa, 91 Famiglie e 388 Specie vegetali alloctone (Villani *et al.*, 2010). La distribuzione delle specie alloctone sulla base delle tipologie e delle forme biologiche⁶² è riportata nelle Tab. 2.3 e 2.4 (elaborazioni da Villani *et al.*, 2010).

Alloctone	N. Specie
casuali	214
naturalizzate	133
invasive	19

◀ **Tabella 2.3**

Numero specie alloctone casuali, naturalizzate e invasive nel Veneto (elab.da Villani *et al.*, 2010)

Alloctone	% specie
terofite	40,7
fanerofite	23,2
emicriptofite	18,3
geofite	10,6

◀ **Tabella 2.4**

Distribuzione percentuale delle specie alloctone suddivise per forma biologica nel Veneto elab.da Villani *et al.*, 2010)

Tra le specie arboree alloctone infestanti (o invasive) rilevate negli ambienti di pianura del Nord Italia, alcune delle quali presenti anche nei parchi dell'area di studio, vi sono: *Robinia pseudoacacia*, *Prunus serotina*, *Quercus rubra*, *Spiraea japonica*, *Parthenocissus quinquefolia* e *Vitis* sp.pl.

In Veneto, inoltre, sono state rilevate *Ailanthus altissima*, *Reynoutria japonica* (erbacea perenne), *Ambrosia artemisiifolia* (naturalizzata). Anche *Erigeron canadensis*, *E. sumatrensis* e *Senecio inaequidens* risultano tra le specie infestanti che colonizzano le aree fortemente urbanizzate, compresi gli assi viari e ferroviari.

Per valutare l'entità della presenza di specie arboree alloctone e alloctone invasive nel popolamento arboreo pubblico presente nel quartiere 2 Nord della città di Padova, sono stati presi a riferimento studi effettuati su base territoriale più ampia (Banfi e Galasso, 2010). Dal confronto del materiale bibliografico con l'elenco delle specie arboree presenti nelle aree pubbliche dell'area di studio si evidenziano le specie riportate in Tab. 2.5

Considerazioni sull'area di studio

⁶² la classificazione delle piante per forma biologica si basa sulla modalità con la quale gli organismi vegetali superano la stagione avversa (Raunkiaer)

Tabella 2.5 ►

Numero esemplari e valore percentuale sul totale popolamento arboreo pubblico delle specie alloctone invasive e naturalizzate (Banfi e Galasso, 2010)

Specie alloctone invasive	N. esemplari	% sul popolamento
<i>Robinia pseudoacacia</i>	111	2,33
<i>Acer negundo</i>	105	2,21
<i>Ligustrum</i>	87	1,83
<i>Prunus laurocerasus</i>	24	0,50
<i>Quercus rubra</i>	8	0,17
Specie alloctone naturalizzate	N. esemplari	% sul popolamento
<i>Platanus hybrida</i>	188	3,95
<i>Cedrus deodara</i>	153	3,21
<i>Morus alba</i>	78	1,64
<i>Catalpa bignonioides</i>	32	0,67
<i>Paulownia tomentosa</i>	15	0,32
<i>Juglans nigra</i>	4	0,08

Con riferimento all'area di studio va evidenziato che non è possibile approfondire l'analisi e giungere a risultati più significativi in quanto sono note solamente le specie arboree localizzate all'interno delle aree pubbliche (parchi e strade). Non è possibile effettuare alcuna considerazione sulla presenza di specie alloctone e alloctone invasive né per quanto riguarda la componente arborea presente nelle aree private, né per le specie arbustive ed erbacee presenti nell'area di studio.

Parte V

Strumenti (vecchi e nuovi) per la gestione del verde urbano e considerazioni conclusive

1. GESTIONE DEL VERDE URBANO

1.1 Aspetti generali

Nella città di Padova la gestione del patrimonio verde è affidata al Settore Verde, Parchi, Giardini e Arredo Urbano dell'Amministrazione comunale (abbr. Settore Verde), la cui organizzazione interna consente di pianificare in un unico processo gestionale la manutenzione e la progettazione degli spazi verdi (Del Toro, 2005).

I tempi e le modalità degli interventi sono differenziati a seconda dell'ubicazione e della destinazione d'uso delle aree. Si possono distinguere tre diversi moduli gestionali:

- 1) la **gestione intensiva** si attua negli spazi verdi con funzioni ornamentali, storiche e nei parchi riservati esclusivamente al gioco dei bambini, nelle alberate di piazze, giardini storici e strade, nelle rotatorie sistemate a verde;
- 2) la **gestione ordinaria** riguarda le aree verdi di quartiere, i parchi e i giardini con prevalenti funzioni ludiche e ricreative. Vi sono compresi anche gli spazi scolastici e le aree di pertinenza degli edifici pubblici;
- 3) la **gestione semi-naturale** interessa le aree estensive, i parchi fluviali e i luoghi in cui la componente naturale ambientale è ancora presente.

La gestione differenziata del verde urbano

Le attività principali con le relative periodicità sono riportate in Tab.1.1.

Tabella 1.1 ►
Moduli gestionali e
relative attività e
periodicità di intervento
(www.padovanet.it)

ATTIVITA'	TIPI DI GESTIONE		
	Intensiva	Ordinaria	Semi-naturale
Manutenzione prati (rasature/anno)	8-12 (*)	5-7 (*)	2-3
Manutenzione alberi	Programma sulla base dei controlli tecnici	Programma (controlli e segnalazioni)	Programma (controlli e segnalazioni)
Sfalcio cigli stradali/ scarpate (rasature/anno)	-	2-3	2-3
Abbellimento floreale	Piano annuale	-	-
Pulizia (AcegasAps)	Giornaliera	Programmata	Programmata

*ordinariamente eseguite con raccolta dei materiali vegetali di risulta

** la pulizia delle aree verdi viene eseguita dall'azienda municipalizzata incaricata del servizio (AcegasAps), nei giorni feriali e con una periodicità diversificata

Legge 14 gennaio 2013 n. 10 “Norme per lo sviluppo degli spazi verdi urbani” (G.U. 27 del 1 febbraio 2013)

Sono di seguito sintetizzati i punti salienti della norma che non rappresenta un inquadramento organico della materia ma si configura come un insieme di disposizioni a volte già regolamentate da norme precedenti.

- Viene istituita la “Giornata nazionale degli alberi” il 21 novembre, ricorrenza già istituita nel passato in date diverse (art.1);
- E' ripresa la legge “un albero per ogni neonato” (L.113/1992) con alcune modifiche e integrazioni importanti come il censimento e la classificazione degli alberi piantati in aree pubbliche e la stesura dei “bilanci arborei” da redigere dal sindaco a fine mandato (art.2);
- Viene istituito un Comitato ministeriale per lo sviluppo del verde pubblico con l'obiettivo di monitorare l'attuazione delle disposizioni presenti finalizzate ad incrementare il verde pubblico e privato e di predisporre un piano nazionale che fornisca le linee guida per la realizzazione delle cinture verdi intorno ai centri urbani e di filari alberati lungo le strade principali, e per l'adeguamento edilizio e la riqualificazione degli edifici anche mediante l'impiego del verde verticale e dei tetti vegetali (art.3).
- Viene introdotto l'obbligo, a differenza della semplice indicazione di indirizzo, per i comuni di dotarsi di standard territoriali urbanistici nelle quantità indicate dal DM 2 aprile

1968, n.1444 (9 m² di verde pubblico pro-capite su 18 m² totali) (art.4).

- Viene data la possibilità ai privati di gestire gli spazi verdi pubblici attraverso procedure di affidamento semplificate e con diritto di prelazione a cittadini residenti (art.4).
- Con riferimento alla norma sui contratti di sponsorizzazione tra pubblico e privati (L.449/1997) nel campo di applicazione vengono inserite anche le iniziative “finalizzate a favorire l’assorbimento delle emissioni di anidride carbonica (CO₂) dall’atmosfera tramite l’incremento e la valorizzazione del patrimonio arboreo delle aree urbane” (art.5).
- C’è l’indicazione per regioni, province e comuni di promuovere l’incremento degli spazi verdi urbani attraverso iniziative orientate al risparmio energetico, alla riqualificazione edilizia e al risparmio di suolo (giardini pensili, verde verticale, cinture urbane, riuso e riorganizzazione degli insediamenti residenziali e industriali) (art.6).
- E’ prevista una rendicontazione pubblica annuale degli enti locali sulle attività svolte per il “contenimento o riduzione delle aree urbanizzate e dell’acquisizione e sistemazione delle aree destinate a verde pubblico” (art.6).
- Vengono destinati 3 milioni di euro per il censimento degli alberi monumentali isolati o in filari e alberate da parte dei Comuni e inserimento in un elenco nazionale gestito dal Corpo Forestale dello Stato (art.7).

1.2. Strumenti di gestione

Focalizzando l’attenzione sulla componente arborea, uno tra gli obiettivi principali delle attività di manutenzione è la minimizzazione del rischio di caduta e la riduzione del danno. L’incolumità pubblica e la sicurezza vengono poste in posizione prioritaria rispetto ad altre considerazioni su valori comunque importanti come quello ambientale, storico ed ecologico.

Strumenti cruciali per la gestione delle alberature sono le attività di controllo (visivo e strumentale) condotte da personale tecnico dell’amministrazione e da esperti esterni, atte ad individuare precocemente segnali e sintomi di sofferenza (deperienza), e identificare la presenza di agenti patogeni, in grado spesso di

La gestione delle alberature

diffondersi con rapidità nell'ambiente e contagiare altri individui arborei.⁶³

Nel caso i parametri utilizzati per la valutazione evidenzino inconfutabili sintomi di deperimento che generano una situazione di rischio per l'incolumità pubblica, gli alberi vengono inseriti nei programmi di abbattimento.

Il Comune pubblica nel sito web l'elenco degli alberi da abbattere, in ordine di priorità temporale e fornisce per ciascun intervento le informazioni su:

- localizzazione (quartiere e via);
- numero di alberi e indicazione della specie;
- tipo di valutazione effettuata (visiva o strumentale);
- motivo dettagliato dell'abbattimento (es. tipo di patologia, atto vandalico, fine ciclo, ecc.);
- classe di propensione al cedimento (D o CD);
- sostituzione (se prevista viene indicata la specie scelta, altrimenti viene specificato il motivo della mancata sostituzione).

Il Comune è coinvolto anche nel caso di abbattimenti in area privata; in tal caso il soggetto privato deve consultare la struttura tecnica dell'amministrazione, presentando una richiesta scritta alla quale il Settore Verde risponderà fornendo indicazioni sulle operazioni da seguire.

Ciò vale solo per l'abbattimento di alberi di grandi dimensioni⁶⁴ e risponde alla volontà dell'amministrazione di salvaguardare la pubblica sicurezza e l'incolumità dei cittadini da eventuali incidenti provocati dalle operazioni di abbattimento.

Nelle aree private le principali cause di abbattimento degli alberi sono riconducibili a problemi fitopatologici, a gravi interferenze o danni causati dalle alberature e ad una eccessiva densità di impianto.

1.2.1 Bilancio delle alberature

Al fine di tracciare l'attività di abbattimento e di sostituzione degli alberi nelle aree pubbliche, il Comune espone sul sito web, con cadenza

⁶³ Nota: va evidenziato che nonostante l'adozione delle misure per la lotta agli agenti fitopatogeni, indicate in sede europea e nazionale, è necessario dedicare alle attività di controllo estrema cura e personale competente in quanto la minaccia di attacchi da parte di nuove specie infestanti è sempre concreta. Vedi Parte IV

⁶⁴ Quando la circonferenza del tronco a 1 metro dal suolo misura più di 60 centimetri (o nel caso di più tronchi, se quella del maggiore supera i 50 centimetri)

Il programma degli abbattimenti viene pubblicato sul sito web del Comune

Adempimenti per abbattimenti in area privata

semestrale, l'elenco delle alberature abbattute e messe a dimora nel corso dell'anno (dal 2013). Sono indicate inoltre la localizzazione e la specie arborea.

Le informazioni attualmente disponibili si riferiscono ai periodi gennaio-aprile e maggio-agosto 2013. I dati sono mostrati in tabella 2; per gli alberi piantati viene indicata la localizzazione (strada), mentre per quelli abbattuti questa informazione non è presente. L'elenco delle specie piantate e del numero di individui è disponibile a livello comunale.

Contesto territoriale	periodo	N. alberi piantati			N. alberi abbattuti (*)
	2013	Parchi	Strade	Totali	
Comune	gen-apr	353	156	509	190
	mag-ago	8	13	21	164
Quartiere 2 Nord	gen-apr	120	18	138	n.d.
	mag-ago	8		8	n.d.

(*) sono conteggiati gli alberi la cui circonferenza del tronco a 1 m da terra è uguale o maggiore di 60 cm

◀ **Tabella 1.2**

Bilancio delle alberature
(www.padovanet.it)

Sul sito web del Comune sono contenute informazioni dettagliate sulle caratteristiche degli alberi messi a dimora, mentre per quanto riguarda gli individui abbattuti compare esclusivamente il numero totale. Complessivamente da gennaio ad agosto 2013 nel quartiere 2 Nord risultano 146 nuovi impianti.

Conoscere le variazioni di consistenza del patrimonio arboreo, anche a scala territoriale di dettaglio come quella di quartiere, è determinante ai fini della valutazione dei risultati della ricerca, poiché permette di stimare l'entità delle variazioni intervenute sui popolamenti arborei in tempi successivi al periodo di riferimento dello studio (Parte II, rilevamento dei parametri dendrometrici ai fini dell'applicazione del modello UFORE).

Nel caso specifico si può affermare che le variazioni segnalate a livello di quartiere fino a questo momento non appaiono tali da modificare in modo significativo i risultati della ricerca.

1.2.2 Inventario delle alberature

Uno strumento operativo utilizzato dal Settore Verde per la gestione del patrimonio arboreo cittadino è l'inventario delle alberature, costituito da un sistema informativo geografico. I dati si riferiscono alle caratteristiche specifiche dell'albero (specie, altezza, diametro del tronco), allo stato di salute, alle modalità di irrigazione, oltre alla definizione degli elementi per la corretta localizzazione (coordinate geografiche, segmento stradale di riferimento, area verde di appartenenza).

Lo strumento, quindi, permette di disegnare la mappa delle alberature della città e di disporre di informazioni utili per tracciare il contesto urbano generale (numero delle specie presenti, varietà, distribuzione, stato di salute). Inoltre costituisce un indispensabile strumento gestionale per la programmazione delle attività di manutenzione, permettendo di pianificare puntualmente i tempi e le modalità operative degli interventi manutentivi. L'aggiornamento quotidiano offre una buona base informativa sul quadro attuale delle alberature pubbliche ⁶⁵

1.2.3 Iniziative di gestione partecipativa

Il Comune di Padova, in linea con altri enti locali italiani, ha avviato alcune iniziative di partecipazione cittadina per la gestione degli spazi verdi urbani. Consultando il sito web del Comune ⁶⁶ si evidenziano:

- Progetto **“Adotta un’area verde”**: avviato nel maggio 2012 si rivolge ai privati cittadini che intendono “adottare” un’area pubblica nella quale poter svolgere alcune attività nel rispetto dei limiti e delle regole predefinite. Oltre alle attività di controllo, sorveglianza e pulizia, ai cittadini è consentito offrire ai frequentatori servizi di volontariato, collaborare per realizzare iniziative di educazione ambientale e promozione sociale, allestire le aree con manufatti in occasione di eventi cittadini, e altre. L’area adottata mantiene per tutto il periodo (5 anni) le funzioni ad uso pubblico e tutte le attività svolte al suo interno sono a titolo gratuito.
- Progetto **“Orti urbani”**: nato per valorizzare le aree verdi cittadine inutilizzate favorendo la loro riqualificazione e la promozione della socialità, ha messo a disposizione di cittadini e Associazioni di volontariato, ad un canone annuo di importo irrisorio, alcune aree verdi destinandole ad orti urbani. Nel quartiere 2 Nord risulta siano stati consegnati 47 orti e 60 siano in fase di acquisizione, mentre nell’intero territorio comunale il numero degli orti sale rispettivamente a 418 e 234.

⁶⁵ Informazioni sul sito <http://cartografia.comune.padova.it>

⁶⁶ www.padovanet.it

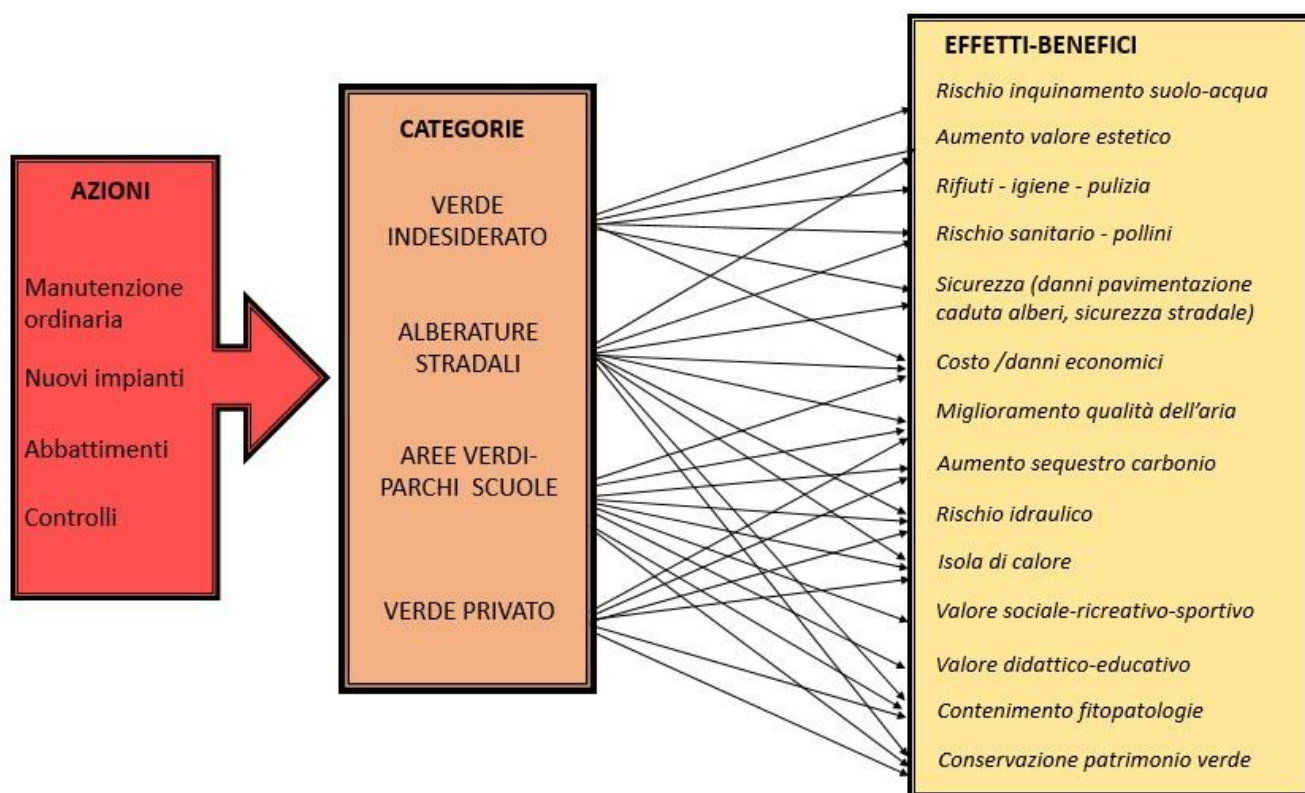


Figura 1.1▲

Attività svolte nella gestione attuale del verde pubblico ed effetti sulla qualità dell'ambiente e sul benessere.

1.3 Nuovi strumenti gestionali

Come evidenziato nell'Introduzione tra i principali obiettivi del lavoro vi è la sperimentazione di nuovi strumenti e tecnologie per migliorare la gestione del verde in ambito urbano.

Le valutazioni dei risultati emersi dalle diverse esperienze sono riportate al termine di ogni capitolo per facilitare la lettura e fornire un quadro compiuto di ciascun esercizio applicativo.

Il prospetto che segue evidenzia le principali finalità e gli ambiti di applicazione degli strumenti utilizzati nella tesi.

Proseguendo nello studio della componente arborea anche attraverso l'uso integrato di queste tecnologie, ho progressivamente apprezzato le enormi potenzialità di utilizzo degli strumenti in sinergia, ipotizzando possibili sviluppi futuri della ricerca.

La Fig 1.2 riporta le connessioni tra gli strumenti utilizzati, le finalità principali e l'ambito di applicazione riferito al verde urbano.

STRUMENTI	FINALITA'	AMBITI
Risultati applicazione modello UFORE e GIS	Determinazione struttura verde urbano Scelta specie più performanti per nuovi impianti Calcolo biomassa e superficie fogliare Calcolo carbonio stoccato e rimosso all'anno Analisi spaziali dei dati	PUBBLICO
Point cloud rilievo aereo Lidar	In combinazione con immagini ad altissima risoluzione (ortofoto): Struttura verde urbano – fasce altezza alberi, Determinazione parametri dendrometrici – altezza totale, chioma, DBH, ...(potenziale)	PUBBLICO PRIVATO
Remote sensing	In combinazione con rilievo Lidar: Struttura verde urbano – fasce altezza alberi, Copertura suolo, % impermeabilizzato Determinazione verde pubblico/privato, Determinazione indice NDVI Tipologie arboree (potenziale)	PUBBLICO PRIVATO
Partecipazione, collaborazione, crowdsourcing	Misurazione parametri dendrometrici Segnalazioni alberi in aree private Segnalazioni sintomi e patologie allergiche Manutenzione e cura delle aree verdi pubbliche	PUBBLICO PRIVATO

▲ **Figura 1.2** Schema riepilogativo delle relazioni tra gli strumenti e le tecnologie utilizzati nel lavoro di tesi, le finalità e gli ambiti di utilizzo

1.3.1 Nuove tecnologie e PA

Le nuove tecnologie basate sul paradigma dell'immagine per lo studio del territorio e dell'ambiente presentano potenzialità e caratteristiche che le amministrazioni pubbliche non possono ignorare.

La distanza oggi esistente in termini di innovazione tecnologica tra il mondo accademico e della ricerca e le amministrazioni pubbliche deve essere ridotta a beneficio di entrambi, ma soprattutto a vantaggio dei cittadini che potrebbero fruire di strumenti e informazioni utili a migliorare la loro qualità di vita.

Integrare gli attuali strumenti informativi in uso presso gli enti locali e le Regioni con strumenti e tecnologie innovative per l'analisi dell'ambiente, sarebbe un primo passo per la costruzione di nuova informazione e per il miglioramento di quella esistente in termini di aggiornamento e affidabilità dei dati.

Questo scenario, inoltre, aprirebbe nuove opportunità di ricerca e di analisi ambientale, consentendo il “mescolamento” (*mash-up*) di strati informativi di diversa natura e provenienza per la elaborazione di nuovi algoritmi e il calcolo di nuovi indici ambientali (LiDAR e NDVI)

Pur essendo consapevole del quadro critico attuale generalizzato che caratterizza il mondo della pubblica amministrazione (PA), ritengo che sia importante per la PA stare al passo con il progresso scientifico, e investire sulle nuove tecnologie, in termini sia di risorse economiche che umane.

Queste riflessioni portano ad evidenziare un altro aspetto importante legato alla formazione dei profili professionali necessari per svolgere queste attività nell'ambito delle PA competenti e alla necessità di maggiori sinergie tra l'ambiente della formazione e quello lavorativo. E' necessario investire affinché coloro che giungono al termine del percorso formativo, con una qualifica adeguata allo svolgimento delle mansioni descritte sopra, abbiano la possibilità di trovare una collocazione presso le strutture tecniche degli enti competenti.

1.4 Considerazioni conclusive

L'obiettivo principale degli amministratori del verde urbano dovrebbe essere di ottimizzare le risorse a disposizione per incrementare, o almeno mantenere inalterato, il valore del verde e dei servizi ad esso connessi.

Dal punto di vista economico l'obiettivo del gestore è assicurare che i fondi dedicati alle attività connesse alla manutenzione, ai controlli, agli abbattimenti e ai nuovi impianti siano sufficienti e opportunamente distribuiti durante il corso dell'anno, evitando che eventi imprevisi prosciughino inaspettatamente e in poco tempo le risorse economiche dedicate a questo settore.

Per questi motivi è importante che un popolamento arboreo sia stabile e resiliente a fattori di disturbo esterni (*stressor*) come gli eventi estremi, la scarsità idrica e i patogeni, sia cioè in grado di rispondere efficacemente minimizzando gli impatti e ristabilendo le condizioni di equilibrio.

Stabilità⁶⁷ e resilienza⁶⁸ di un popolamento arboreo urbano dipendono da più aspetti tra i quali la dominanza delle specie, la struttura cronologica del popolamento, il rischio di patogeni e il potenziale danno economico (McPherson e Kotow, 2013)

I singoli aspetti sono stati trattati in modo approfondito nei precedenti capitoli dove sono stati valutati i risultati riferiti all'area di studio.

Ciò che a mio avviso va evidenziato nella parte conclusiva del lavoro è la necessità di valutare i singoli aspetti del verde in un'ottica integrata, poiché i risultati dell'analisi di ciascun indicatore valutato singolarmente può fornire indicazioni diverse, talvolta anche contrarie, a quelle che emergono da una valutazione integrata.

Ad esempio è pensiero condiviso che la diversità di un popolamento arboreo sia il mezzo più comune per tutelarlo dalle eventuali perdite causate da un attacco ad opera di agenti patogeni. Tuttavia, se per aumentare la diversità e non superare la soglia di presenza di ciascuna specie (10-15%) si opta per piantare specie arboree non ancora presenti sul territorio o poco diffuse, senza considerare la potenziale vulnerabilità delle specie all'attacco di agenti patogeni, potrebbe accadere che tale misura non ottenga l'effetto desiderato, per un aumento del rischio di attacco. In tal caso aumentare la diversità potrebbe non generare maggiore stabilità.

⁶⁷ La più bassa probabilità che il numero di alberi con piene funzionalità diminuisca fino a raggiungere il punto di *disrupting management* con diminuzione dei benefici forniti dagli alberi (Richards, 1982/1983)

⁶⁸ È definita come la capacità di un sistema di sopportare delle alterazioni ridefinendo l'organizzazione delle proprie strutture e processi. (Alberti e Marzluff, 2004)

Un altro aspetto da considerare in ambito gestionale è la presenza di numerosi fattori di stress nell'ambiente urbano (cementificazione, scarsità idrica, inquinamento atmosferico) che conducono a limitare la scelta alle specie più resistenti. Infatti estendere la scelta per i nuovi impianti ad un'ampia varietà di specie allo scopo di aumentare la diversità, potrebbe rivelarsi controproducente nel caso in cui le specie non fossero adatte alle condizioni ambientali del sito. D'altra parte è importante non limitare la diversità del popolamento per il solo fine di mettere a dimora individui adatti al contesto ambientale. Un approccio tale risulterebbe non conveniente considerando che le condizioni di crescita e sviluppo del verde in ambiente urbano sono in continua mutazione e continueranno a modificarsi nel tempo a causa dei cambiamenti climatici, dell'arrivo di nuovi agenti patogeni e dell'impiego di nuove tecnologie per la manutenzione e la cura degli alberi.

Analizzando infine l'aspetto economico della gestione del verde urbano, sarebbe opportuno effettuare il bilancio tra le spese sostenute dal settore pubblico⁶⁹ per la gestione del verde e la quantificazione monetaria dei servizi ecosistemici forniti. E' evidente come tale bilancio sia tanto significativo quanto difficile da effettuare per la mancanza di dati legati al contesto di applicazione, variabile nel tempo e nello spazio.

⁶⁹ Da uno studio effettuato sul comune di Padova (Del Toro, 2005) è emerso che il costo medio annuo di gestione di un albero stradale è pari a 32,43 euro. Il calcolo, basato su dati del triennio 2002-2004, ha considerato i costi medi annui unitari sostenuti per ciascuna voce di costo e ha ipotizzato un ciclo vitale di 50 anni.

2. CONCLUSIONI

2.1 Esperienza dottorale e valore aggiunto per ARPAV

Durante i tre anni del dottorato ho avuto l'opportunità di conoscere e approfondire molte tematiche trattate, seppur con un approccio diverso, anche nell'ambito delle attività dell'ARPAV.

Come anticipato uno degli obiettivi personali di questa mia esperienza era intraprendere un percorso formativo di studio e ricerca per acquisire nuove capacità, competenze e informazioni da riportare nell'Agenzia al termine del triennio.

Il bilancio finale è sicuramente positivo; le ricadute dell'esperienza dottorale sulle mie attività al momento della ripresa del servizio in ARPAV non si limitano alle nuove competenze acquisite, ma riguardano anche il recupero di una modalità di approccio al lavoro e all'autoformazione più "attiva" e dinamica.

Dei numerosi temi ambientali e sociali trattati nel triennio, quelli che al momento appaiono più interessanti e stimolanti per lo sviluppo di attività future all'interno dell'ARPAV sono:

- gli indicatori ambientali;
- il monitoraggio ambientale partecipativo.

2.1.1 Indicatori ambientali...e non solo

E' evidente fin dai primi anni della sua costituzione l'impegno dell'Agenzia per costruire un sistema di comunicazione e informazione ambientale basato sull'impiego di indici e indicatori, che agevolino la comprensione dei contenuti anche al vasto pubblico.

L'impiego di questi strumenti è considerato strategico nella diffusione dell'informazione ambientale; seppur con i noti limiti legati al rischio di eccessiva semplificazione e perdita di peculiarità significative, il loro impiego permette di veicolare efficacemente i risultati prodotti dalle attività svolte per periodi prolungati e con grande investimento di risorse umane ed economiche.

Oltre ai rapporti tematici riguardanti le singole componenti ambientali, è stata avviata dal 2000 la pubblicazione del Rapporto sugli Indicatori Ambientali del Veneto che aveva lo scopo di fornire periodicamente il quadro della situazione ambientale del Veneto attraverso l'elaborazione di un set di indicatori, riferiti al modello DPSIR e alle diverse matrici ambientali (edizioni del 2000, 2002 e 2008).

Nel 2008 il volume cartaceo⁷⁰ è stato affiancato dalla realizzazione del portale informativo Indicatori⁷¹ che ha permesso di migliorare la gestione e l'aggiornamento delle informazioni e di ampliare l'offerta informativa al pubblico, fornendo anche le serie storiche e le tabelle dei dati in formato digitale.

Attualmente il portale comprende circa un centinaio di indicatori che vengono aggiornati con cadenza annuale, salvo i casi in cui il rilevamento dei dati ha periodicità pluriennale. Gli indicatori sono generalmente elaborati sulla base dei parametri richiesti dalla normativa ambientale in vigore (come ad esempio per la qualità dell'aria e delle acque) ma vengono predisposti anche sulla base di altri criteri.

L'applicativo è destinato a soddisfare la domanda informativa sia degli esperti (professionisti, ricercatori, amministratori) che dei cittadini e questo si riflette nella pluralità delle risorse offerte che vanno dal testo descrittivo comprensivo della valutazione dell'Agenzia al file dei dati per consentire all'utente l'analisi dei dati.

In seguito anche all'esperienza del dottorato, ho rilevato alcuni aspetti migliorativi:

- accanto al set di indicatori ambientali vanno offerte all'utente anche informazioni "di contorno" che seppur non prodotte da ARPAV, sono indispensabili per disegnare il quadro conoscitivo completo; questo allargamento di orizzonte non riguarda solo l'aumento del numero di temi trattati (ad es. le fonti di pressione escluse dalla competenza dell'Agenzia, l'uso del suolo, gli aspetti sanitari, sociali ed economici), ma si tratta, ove possibile, di integrare il set con gli indicatori orientati a rappresentare il punto di vista del cittadino. Questo aspetto è importante soprattutto nel contesto urbano dove risiede la maggior parte delle persone e si concentrano le criticità ambientali. Gli sviluppi recenti del filone di studio sulla percezione delle condizioni di vita, sul benessere in ambiente urbano, segnano una strada possibile per l'evoluzione e l'integrazione dell'offerta informativa attualmente fornita dall'Agenzia.
- E' importante elaborare nuovi indicatori che integrino i dati ambientali prodotti dalle strutture interne dell'Agenzia, specializzate nei temi diversi (ad esempio emissioni in atmosfera e condizioni meteorologiche, uso del suolo e inquinamento delle acque, livelli di inquinanti atmosferici e dati sanitari).



⁷⁰ Il volume è disponibile all'indirizzo

<http://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/pubblicazioni/rapporto-sugli-indicatori-ambientali-del-veneto-edizione-2008>

⁷¹ <http://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/indicatori-ambientali>

- Per rappresentare i risultati degli indicatori va incentivato l'utilizzo degli strumenti per la produzione di mappe tematiche georiferite. L'elaborazione degli indicatori su supporto cartografico ha numerose ricadute positive tra cui la modalità di presentazione dei dati, che facilita la ricerca del contesto territoriale di interesse per l'utente, la possibilità di incrociare dati differenti per produrre mappe tematiche complesse, l'opportunità di creare nuovi indicatori e di visualizzare agevolmente fenomeni spaziali che altrimenti non potrebbero emergere.
- Un'altra opportunità per il calcolo degli indicatori ambientali, nuovi e vecchi, viene offerta dalle tecnologie di telerilevamento, da piattaforma aerea e satellitare. Le immagini digitali ad alta risoluzione prodotte da questi strumenti possono costituire delle fonti preziose di dati e informazioni; se opportunamente interpretate, esse possono supportare e integrare efficacemente la base conoscitiva territoriale.

2.1.2 Monitoraggio ambientale partecipativo

Tra gli interessi dell'Agenzia regionale, nel breve-medio termine vi è la sperimentazione di forme di partecipazione per lo svolgimento delle attività di monitoraggio ambientale. L'Agenzia intende approfondire questo tema, che ritiene un'opportunità per il futuro, attraverso l'osservazione e l'analisi delle esperienze svolte o in atto presso altri enti e amministrazioni pubbliche, con lo scopo di acquisire le metodologie più efficaci per raggiungere gli obiettivi.

Tale orientamento segue la generale tendenza in ambito internazionale ed europeo al coinvolgimento diretto dei cittadini che sono invitati, sempre più spesso, a contribuire alla formazione del quadro conoscitivo ambientale mediante la comunicazione di dati e informazioni che essi possono fornire all'intero sistema dell'informazione. I cittadini diventano quindi una nuova preziosa fonte di informazione e di conoscenza e la pubblica amministrazione non solo non deve ignorare questo dato di fatto ma deve incentivare l'apporto di contributo tramite iniziative che promuovano la partecipazione pubblica.

La prima esperienza significativa a livello europeo che ha dato un segnale forte di avvio rispetto a questa tendenza è il portale EyeOnEarth realizzato dalla Agenzia Europea Ambientale. Il prodotto permette di visualizzare su una mappa le informazioni di tipo qualitativo provenienti dalle osservazioni dei cittadini sulla qualità dell'aria e delle acque di balneazione; queste informazioni, derivanti dalla percezione dei cittadini, possono essere affiancate ai dati ufficiali di qualità ambientale prodotti dagli organi istituzionali competenti per il monitoraggio (in Italia le ARPA) per integrare il quadro conoscitivo con dati provenienti da un punto di vista nuovo, quello dei cittadini.

Il monitoraggio partecipato può costituire per la pubblica amministrazione uno strumento importante perché permette di:

- realizzare attività e iniziative non direttamente previste dalle competenze istituzionali, ma altrettanto importanti, altrimenti non possibili con le attuali risorse a disposizione della PA;
- coinvolgere la popolazione locale nel processo di monitoraggio ambientale del proprio territorio con ricadute positive in ambito sociale per gli aspetti che riguardano la partecipazione, l'inclusione, la condivisione e il senso di appartenenza ad un territorio;
- integrare i dati ambientali rilevati dalle apparecchiature delle reti di monitoraggio ufficiali, ad elevata precisione ed affidabilità, con dati aventi caratteristiche qualitative inferiori ma con una copertura territoriale più fitta;
- risparmiare risorse economiche.

Questo approccio, tuttavia, presenta dei limiti legati soprattutto all'affidabilità dei dati prodotti; sarebbe un errore pensare che nel breve-medio termine esso possa sostituire il sistema di monitoraggio tradizionale.

Le modalità di partecipazione del pubblico al monitoraggio sono diverse; ad esempio il cittadino può contribuire mediante osservazione e rilevamento manuale sul campo dei parametri da misurare, oppure può condividere i dati misurati dalla propria apparecchiatura di rilevamento. Il risultato dovrà avere le stesse caratteristiche: la condivisione e pubblicazione delle informazioni raccolte dai singoli in un ambiente unico e accessibile.

In Italia stanno nascendo diverse esperienze di monitoraggio partecipato e molte di queste riguardano il settore dei dati meteorologici. Ciò dipende probabilmente da una serie di motivi:

- l'elevato numero di persone che mostrano interesse per questo tema e la loro diffusione a livello globale;
- la disponibilità di strumenti di misura dei principali parametri meteorologici per scopi amatoriali a basso costo;
- le caratteristiche tecniche degli strumenti di misura in grado di produrre dati di buona qualità.

Casi studio

Un caso studio da evidenziare è il progetto **R-MAP** (Rete di Monitoraggio Ambientale Partecipativo) realizzato da Arpa Emilia Romagna (Servizio Idro Meteo Clima – SIMC) in collaborazione con il Dipartimento di Informatica dell'Università di Bologna e RaspiBO, un gruppo informale di appassionati di elettronica ed informatica libera della zona di Bologna⁷²

L'obiettivo principale dell'iniziativa è di raccogliere i dati ambientali rilevati dai cittadini per diffonderli e metterli a disposizione dei soggetti interessati (servizi meteorologici, ARPA, protezione civile e istituti di ricerca), aumentando la sensibilizzazione verso i temi ambientali e contribuendo alla divulgazione dell'informazione scientifica e alla formazione. Inoltre, restituendo ai produttori dei sensori le informazioni di feedback sulla qualità dei dati prodotti, il processo contribuirà al miglioramento delle prestazioni del prodotto. E' evidente come il progetto possa avere ricadute più ampie, creando un circolo virtuoso tra pubblica amministrazione, scuola, imprese e cittadini.

Il ruolo istituzionale dell'Agenzia ambientale è centrale in quanto essa dà indicazioni sui metodi di misura e di elaborazione dei dati dei sensori e sulla loro collocazione; inoltre definisce i protocolli e i formati per la comunicazione dei dati, accredita le nuove stazioni con metadati e ne fornisce le credenziali di accesso, definisce la licenza aperta per l'utilizzo dei dati, promuove la rete e ne utilizza i dati se opportuno, comunica i risultati del controllo di qualità. La realizzazione e la sperimentazione del prototipo hardware e del software è di RaspiBO, che nonostante sia attivo solo da pochi mesi, ha già prodotto risultati interessanti⁷³.

Un altro esempio da segnalare è **SNOWALP**, un applicativo per *smartphone* finalizzato alla raccolta di dati di altezza del manto nevoso. L'idea nasce dalla collaborazione di ARPA Valle d'Aosta⁷⁴ con Mountain-ering e il Centro Funzionale regionale; si tratta di un applicativo finalizzato all'aumento della consistenza dei dati relativi allo spessore del manto nevoso necessari per la simulazione dello SWE (*Snow Water Equivalent*), un indicatore che misura la quantità d'acqua contenuta nella neve e che viene utilizzato negli studi sui cambiamenti climatici.

A livello regionale i dati relativi all'altezza della neve provengono dalla rete automatica nivo-meteorologica, composta da nivometri ad

⁷² http://www.raspiBO.org/wiki/index.php?title=Gruppo_Meteo

⁷³ slide Patruno, Di Giacomo, Bologna 26-10-2013 LinuxDay ERLUG: Emilia Romagna Linux Users Group –

⁷⁴ U. Morra di Cella – Workshop “L'innovazione nel monitoraggio ambientale” 16 ottobre 2013 – Padova <http://www.arpa.vda.it/>

ultrasuoni collocati in una fascia altimetrica compresa tra i 1.000 e i 2.500 metri e dalle misure manuali eseguite da professionisti in siti fissi accessibili (campi neve). Con l'aumentare delle temperature primaverili e il progressivo innalzarsi della linea delle nevi, si riduce la numerosità dei punti di rilievo con evidenti ripercussioni sulla qualità delle simulazioni.

SNOWALP ha dunque l'obiettivo di coinvolgere appassionati e professionisti della montagna (guide alpine, tecnici, accompagnatori) nell'osservazione attiva dell'ambiente e nella produzione di dati ai fini della costruzione della conoscenza. Per migliorare la qualità dei dati è disponibile on line una breve guida che fornisce alcune semplici indicazioni su come scegliere il sito e come effettuare la misura, per una maggiore confrontabilità dei dati rilevati. L'applicativo è gratuito ed è tradotto in 4 lingue⁷⁵ Per la stagione 2013/14 è previsto il rilascio della versione definitiva e l'aumento dei canali di diffusione dell'applicativo.



Un'altra iniziativa di monitoraggio ambientale partecipativo riguarda la città di Torino e altri centri urbani minori e fa riferimento al progetto europeo **EveryAware** (*Enhance Environmental Awareness through Social Information Technologies*) a cui hanno aderito la Fondazione ISI e CSP. Il progetto ha carattere sperimentale e coinvolge un numero limitato di cittadini volontari che, durante il tragitto casa-lavoro, in bicicletta, in moto o a piedi, portano in spalla un particolare zainetto dotato di un piccolo dispositivo di rilevamento alimentato in parte a tecnologia solare (SensorBox), che misura diversi parametri ambientali (monossido di carbonio, ossidi di azoto, ozono, temperatura e umidità dell'aria) e costruisce un indice di qualità dell'aria⁷⁶. Il dispositivo trasferisce i dati ad uno smartphone dotato di GPS per permettere al cittadino-volontario di conoscere, durante l'intero tragitto, i risultati del monitoraggio. Un aspetto interessante del progetto è la *app* di gestione dei dati, AirProbe, che permette al cittadino-volontario di associare alle misure ambientali le proprie percezioni e sensazioni durante il tragitto; questi dati consentiranno di approfondire lo studio sulle capacità di riconoscimento dell'inquinamento, quantificando la differenza tra l'inquinamento percepito e quello reale e di identificare i fattori che determinano il comportamento e la coscienza ambientale⁷⁷.

⁷⁵ <https://play.google.com/store/apps/details?id=it.ecometer.snowalp>

⁷⁶ <http://www.everyaware.eu/activities/case-studies/air-quality/>

⁷⁷ http://www.torinoscienza.it/articoli/lo_zainetto_fiuta_inquinamento_24019%2030%20ottobre%202012

<http://www.vip.it/progetto-everyaware-a-torino-zainetti-per-il-controllo-della-qualita-dellaria-e-dello-smog/>

2.2 Considerazioni personali

Rispetto agli obiettivi personali prefissati all'inizio del triennio, ritengo di aver sfruttato al meglio delle mie possibilità questa preziosa occasione di crescita professionale.

Questa esperienza mi ha dato l'opportunità di confrontare il mondo della pubblica amministrazione, dal quale provengo, con quello accademico e della ricerca, di intravedere possibili sinergie, di rilevare similitudini e differenze. Ho trovato conferma della necessità di sviluppare nuove forme di collaborazione per aumentare l'interazione tra i due contesti e creare connessioni tra i due ambiti, nonostante siano state messe in atto negli ultimi anni iniziative e disposizioni a livello nazionale per incentivare queste forme di cooperazione.

Dal punto di vista delle conoscenze acquisite ho approfondito, grazie anche alle iniziative seminariali organizzate durante il triennio, molti temi innovativi di respiro europeo e internazionale e ho acquisito competenze pratiche sull'utilizzo di applicativi per la gestione e l'analisi dei dati geografici e per la condivisione delle informazioni su web. Una parte consistente del mio tempo, soprattutto nella fase iniziale, è stata impiegata per avviare i rapporti di collaborazione con i soggetti che hanno contribuito al raggiungimento dei risultati presentati in questo lavoro: l'Università di Padova, il Comune di Padova (Settore Verde e Servizio Informatico, Consiglio di Quartiere 2 Nord), l'Azienda Ospedaliera di Padova.

Per concludere, ritengo che il valore di questo lavoro sia duplice: da un lato la ricerca ha consentito, attraverso la sperimentazione di strumenti e tecnologie innovative, di produrre un modello di analisi del verde arboreo urbano da replicare su altre zone, permettendo quindi di aumentare la copertura territoriale dei parametri e degli indici del verde; dall'altro essa ha aperto, in fase conclusiva, nuove finestre su percorsi di tipo metodologico e contenutistico, come ad esempio l'analisi del rapporto tra le caratteristiche del popolamento arboreo e il profilo demografico dell'area di studio per mettere in relazione le performance ambientali degli alberi con la "quantità" di verde necessaria per il benessere dei cittadini.

BIBLIOGRAFIA per autore

Abd-Elrahmana, A.H., Thornhill M.E., Andreua M.G., Escobedo F. (2010) *A community-based urban forest inventory using online mapping services and consumer-grade digital images*. Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf., doi: 10.1016/j.jag.2010.03.003

Adevi A.A., Lieberg M., (2012) *Stress rehabilitation through garden therapy: A caregiver perspective on factors considered most essential to the recovery process*. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 11, Issue 1, pp. 51-58, ISSN 1618-8667, 10.1016/j.ufug.2011.09.007.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866711000756>)

Altobelli A., Coren F., Sterzai P., Napolitano R. (2004) *Integrazione dei dati laser scan e iperspettrali per la stima di parametri strutturali e funzionali della vegetazione*. V Meeting degli utenti italiani di GRASS. Padova, 5-6 febbraio 2004.

Ariano R. *Cambiamenti climatici e allergie*. A.A.I.T.O. <http://www.pollinieallergia.net/cambiamenti-climatici-e-allergie-a115>

Armson D., Stringer P., Ennos A.R. (2012) *The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area*, Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 11, Issue 3, pp. 245-255, ISSN 1618-8667, 10.1016/j.ufug.2012.05.002. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866712000611>)

Aspinall P, Mavros P, Coyne R, Roe J. (2013) *The urban brain: analysing outdoor physical activity with mobile EEG*. Br J Sports Med. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23467965>

APAT, ARPA Lombardia (2008) *Stima dei consumi di legna da ardere per riscaldamento ed uso domestico in Italia*, ISBN 978-88-448-0346-9

Banfi E., Galasso G. (2010) *La flora esotica lombarda*. Museo di Storia Naturale di Milano, Milano

Bettini V. (2004) *Ecologia Urbana. L'uomo e la città*. UTET

Bocci M. *Nelle città solo alberi anti-allergia*. www.repubblica.it del 17/4/2009
http://www.repubblica.it/salute/medicina/2009/04/17/news/nelle_citta_solo_alberi_anti-allergia-5586013/

Borga G. (2014) *City Sensing. Approcci, metodi e tecnologie innovative per la città intelligente*. FrancoAngeli/Urbanistica. ISBN 978-88-204-7193-4

Boyd J., Banzhaf S. (2007) *What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units*. Ecological Economics Vol. 63, pp.616-626

Buffoni A., Toccafondi P., Pinzauti S. (2007) *Progetto di fattibilità di un sistema del verde di mitigazione da inquinamento*. Comune di Forlì

Camporese R. (2012) *I luoghi dei numeri. Storie di dati georiferiti*. Tesi di dottorato in Nuove Tecnologie e Informazione, Territorio e Ambiente. Università IUAV di Venezia.

Chaparro L, Terradas J. (2009) *Ecological Services of Urban Forest in Barcelona*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Spain. 96 p.
<http://www.itreetools.org/resources/reports/Barcelona%20Ecosystem%20Analysis.pdf>

- Clark, J.R., Matheny, N.P., Cross, G., Wade, V. (1997) *A model of urban forest sustainability*. Journal of Arboriculture 23, pp.17–30.
- Clevers J.G.P.W. e Van Leeuwen H.J.C. (1996) *Combined use of optical and microwave remote sensing for crop growth monitoring*. Remote Sensing of Environment, Vol.56 pp.42-51
- Coates F., Bielory L., Frenz D. (2011) *Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America*. Edited by Field C.B., Carnegie Institution of Washington, Stanford, CA. disponibile online <http://www.pnas.org/content/early/2011/02/11/1014107108>
- Comune di Padova (2011) *Annuario statistico 2011*
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farberk S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Suttonk P., van den Belt M. (1997) *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, Vol. 387, pp.253-260.
- D'Amato G, Liccardi G, D'Amato M. (2000) *Environmental risk factors (outdoor air pollution and climatic changes) and increased trend of respiratory allergy*. J Invest Allergology Clin Immunol. Vol.10:123–128
- Del Toro C. (2005) *Analisi dei costi di manutenzione delle alberature stradali della città di Padova*. Tesi di laurea, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova.
- Ecological Society of America (2004) *Ecological Science and Sustainability for a Crowded Planet*
- European Environment Agency (EEA) (2012) *Urban Adaptation to Climate Change in Europe*. EEA Report / No 2/2012 ISSN 1725-9177
- Estellés Arolas, E.; González Ladrón-de-Guevara, F. (2012) *Towards an integrated crowdsourcing definition*. Journal of Information Science. Vol 38. N. 2 pp.189-200
- Gill S.E, Handley J.F., Ennos A.R., S. Pauleit S. (2007) *Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure*. Built Environment, Vol. 33 N.1
- Gomarasca M.A. (1997) *Introduzione al Telerilevamento e GIS per la Gestione delle Risorse Agricole e Ambientali*
- Goodchild M.F. (2007): *Citizens as sensors: web 2.0 and the volunteering of geographic information*, GeoFocus (Editorial), n° 7, p. 8-10, ISSN: 1578-5157
- Hardin G. (1968) *The tragedy of the Commons*. Science, 162 (3859) pp.682-683
- Hirabayashi S., Kroll C.N., Nowak D. J. (2011) *Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE –D) Model Descriptions - Version 1.1*
- Howe J. (2006) *The rise of Crowdsourcing*. Wired Magazine, Issue 14.06 www.wired.com/wired/archive/14.06/crowds_pr.html
- Hruska K., 2003. *Assessment of urban allergophytes using an allergen index*. Agrobiologia 19: 107-111.
- Ingegnoli V. (1991) *Human influences in landscape change: thresholds of metastability* in O. Ravera, *Terrestrial and aquatic ecosystems: perturbation and recovery*. Ellis Horwood Ltd, Chichester, Uk, pp. 303-309.
- Ingegnoli V. (2002) *Landscape ecology: a widening foundation*. Springer-Verlag, Berlin
- Ingegnoli V.(2011) *Bionomia del paesaggio*. Springer-Verlag, Italia ISBN 978-88-470-2040-5
- Islam M.N., Rahman K-S., Bahar M.M., Habib M.A., Ando K., Hattori N. (2012), *Pollution attenuation by roadside greenbelt in and around urban areas*, Urban Forestry & Urban Greening, Volume 11, Issue 4, pp. 460-

464, ISSN 1618-8667, 10.1016/j.ufug.2012.06.004.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866712000672>)

ISPRA (2009) *La classificazione del verde urbano: una proposta metodologica*. Rapporto 96/2009

ISTAT, (2013) *Rapporto BES. Il benessere equo e sostenibile in Italia*. Documento digitale:

www.istat.it/it/archivio/84348

i-TreeECO, Manuale utente. Disponibile all'indirizzo <http://www.itreetools.org/resources/manuals/i-Tree%20Eco%20Users%20Manual.pdf>

Jouret J. (2013) *Respiratory implications of a changing climate*. www.thelancet.com Vol 1 May 2013 (spotlight 16/04/2013)

Komninos N. *La smart city nasce dall'intelligenza collettiva*. Intervista di Battistoni F. del 4/9/2013

<http://saperi.forumpa.it/story/73662/nicos-komninos-la-smart-city-nasce-dallintelligenza-collettiva>

Kuo FE, Faber Taylor A. (2004) *A potential natural treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder: evidence from a national study*. American Journal of Public Health. Vol. 94(9), pp.1580–1586

Lockhart J. (2009) *Green Infrastructure: the strategic role of trees, woodlands and forestry*. Arboricultural Journal, Vol. 32, pp. 33–49 AB Academic Publishers

Lowe S. J., Browne M., Boudjelas S. (2000) *100 of the World's Worst Invasive Alien Species*. IUCN/SSC Invasive Species Specialist Group (ISSG), Auckland, New Zealand.

Magro G., Patassini D. (2013) *Impatti cumulativi e algebra delle esposizioni. Introduzione alla valutazione ambientale strategica in domini interattivi*. Conferenza Internazionale IAIA, VAS e Monitoraggio del Territorio, 5 luglio 2013 Sala Consiliare Comune Foggia.

Martinella V. – CorrieredellaSera.it *Pollini e cibi: un'allergia tira l'altra* 22 maggio 2010

http://www.corriere.it/salute/nutrizione/10_maggio_23/allergie-stanuto-cibo_129f510a-6570-11df-89b0-00144f02aabe.shtml

McPherson E.G, Rowntree R.A. (1989) *Using structural measures to compare twenty-two U.S. street tree population*. Landscape Journal 8, pp.13-23.

McPherson E.G., Kotow L. (2013) *A municipal forest report card: Results for California, USA*. Urban Forestry & Urban Greening Vol.12 pp.134-143

Ministero della Salute (2011) *Relazione sullo Stato Sanitario del Paese*.

<http://www.rssp.salute.gov.it/rssp2011/homeRssp2011.jsp>

Morani, A. D. Nowak, S. Hirabayahi, and C. Calfapietra. (2011), *Tree Planting Locations in New York City to Enhance Pollution Removal Relative to Human Populations*. Environmental Pollution. 159: 1040-1047.

<http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/38074>

Naumann S., Davis MK., Kaphengst T., Pieterse M., Rayment M. (2011) *Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects*. Ecologic Institute and GHK Consulting.

Nicolotti G., Faccoli M., Capretti P., (2009) *Specie invasive, rischi di introduzione e gestione delle emergenze* in Atti del terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani, Vol.2 pp.611-619. Taormina. Accademia Italiana di Scienze Forestali.

NNSS (2008) “*Invasive non-native species framework strategy*”, DEFRA

<https://secure.fera.defra.gov.uk/nonnativespecies/index.cfm?sectionid=55>

- Nowak D.J. (1993) 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: US Department of Agriculture, Forest Service Northeastern Forest Experiment Station: 83-94
- Nowak D.J., Crane D.E. (2000) *The Urban Forest Effect (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 the 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., Civerolo K.L., Rao S.T., Sistla G., Luley C.J., Crane D.E., (2000) A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*. Vol. 34 pp.1601-1613
- Paoletti E., Bardelli T., Giovannini G., Pecchioli L. (2011) *Air quality impact of an urban park over time*. *Procedia Environmental Science* Vol. 4 pp.10-16.
- Paquet S., (2002) *Making Group-Forming Ridiculously Easy*, <http://radio-weblogs.com/0110772/2002/10/09.html>
- Peschardt K.K., Schipperijn J., Stigsdotter U.K. (2012) *Use of Small Public Urban Green Spaces (SPUGS)*, *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 11, Issue 3, pp. 235-244, ISSN 1618-8667, 10.1016/j.ufug.2012.04.002. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866712000593>)
- Porro A., Sparacino A.C. (2013) *Specie invasive autoctone ed alloctone nel Nord-Centro Italia*. Workshop IVM (Industrial Vegetation Management), Roma 17 aprile 2013
- Reynolds G. *Easing Brain Fatigue With a Walk in the Park*. 27/3/2013
http://well.blogs.nytimes.com/2013/03/27/easing-brain-fatigue-with-a-walk-in-the-park/?_php=true&_type=blogs&_php=true&_type=blogs&_r=2
- Ricci M., Matucci A., Rossi O. (1993) *Attualità sui problemi concernenti la patogenesi e la diagnostica delle sindromi allergiche respiratorie*. *Giorn. Bot. Allergol. Immunol.* 3: 141-160.
- Richards, N.A., 1979. *Modeling survival and consequent replacement needs in a street tree population*. *Journal of Arboriculture* 5, pp. 251–255.
- Richards N.A., (1982-1983) *Diversity and stability in a street tree population*. *Urban Ecology*, Vol.7 pp.159-171
- Rondeaux G., Steven M., Baret F. (1996) *Optimization of soil adjusted vegetation indices*. *Remote Sensing of Environment* Vol. 55 pp.95-107.
- Schipperijn J., Bentsen P., Troelsen J., Toftager M., Stigsdotter U.K. (2013) *Associations between physical activity and characteristics of urban green space*. *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 12, Issue 1, pp. 109–116
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2012.12.002>
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866712001197>
- Scolozzi R., Tartarini D., Vicentini L., Boccafogli A. (2008) *Le pollinosi emergenti*. [www.fceonline.it/sezione Wikimedicina](http://www.fceonline.it/sezioneWikimedicina) <http://www.fceonline.it/wikimedicina/altri-argomenti/1417-le-pollinosiemergenti.html?start=3>
- Semenzato P., Agrimi M. (2009) *La selvicoltura urbana: non solo la cura degli alberi*. In *Atti del terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura* p. 948-953. Accademia Italiana di Scienze Forestali, ISBN: 9788887553161, Taormina, Italy, 16-19 ottobre 2008.
- Shirky C., (2009) *Uno per uno, tutti per tutti. Il potere di organizzare senza organizzazione*, Torino, Codice Edizioni.

Siena F., Buffoni A. (2007) *Inquinamento atmosferico e verde urbano. Il modello UFORE, un caso di studio*. Sherwood n. 138 pp.17-21

Spada M. *L'albero e la foresta, la casalinga e la rete* in Smart Innovation del 9/9/2013
smartinnovation.forumpa.it http://smartinnovation.forumpa.it/story/73672/lalbero-e-la-foresta-la-casalinga-e-la-rete?utm_source=SMARTINNOVATION&utm_medium=2013-09-09 del 9/9/2013

Staffolani L. (2007) *Studio ecologico del potenziale fitoallergenico nell'ecosistema urbano dell'Italia centrale*. Tesi di dottorato Università degli studi di Camerino, Dip. di Scienze Ambientali, a.a. 2006-2007

Talia D. *Una città può essere smart se non è umana?* Il Quotidiano della Calabria del 21/12/2013
www.ilquotidianoweb.it/blog/720670/Una-citta-puo-essere-smart-se.html

Tapscott D., Williams A.D., (2010) *Macrowikinomics. Riavviare il sistema: dal business al mondo*, Milano, Rizzoli.

Van Ham, C., Genovesi, P., Scalera, R. (2013). *Invasive alien species: the urban dimension, Case studies on strengthening local action in Europe*. Brussels, Belgium: IUCN European Union Representative Office. 103pp.

Vianello M. (2013) *Smart Cities*. Maggioli Editore

Villani M.C., Bracco F., Carlin S., Marcucci R., Prosser F., Tornadore N., *Veneto* in Celesti-Grappo L., Pretto F., Carli E., Blasi C. (2010) *Flora vascolare alloctona e invasiva delle regioni d'Italia*. Casa Editrice Università La Sapienza, Roma. 208 pp

Ward Thompson C., Roe J., Aspinall P., Mitchell R., Clow A., Miller D. (2012) *More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns*. Landscape and Urban Planning, Vol. 105, Issue 3, pp. 221–229 <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.015>

Winnie Shiu, Kam Biu Tam, (2012) *Evaluation of Mobile Mapping System (MMS) Survey for Public Housing Estates in Hong Kong*. FIG working week, Roma 6-10 May 2012

Ziska L., Knowlton K., Rogers C., Dalan D., Tierney N., Elder M.A., Filley W., Shropshire J., Ford L.B., Hedberg C., Fleetwood P., Hovanky K.T., Kavanaugh T., Fulford G., Vrtis R.F., Patz J.A., Portnoy J., Coates F, Bielory L, Frenz D. *Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America* Proc Natl Acad Sci U S A. 2011 Mar 8;108(10):4248-51. doi: 10.1073/pnas.1014107108.

Sezione bibliografica integrativa sul tema dei pollini

Beggs PJ. (2004) *Impacts of climate change on aeroallergens: past and future*. Clin Exp Allergy. Vol.34:1507–1513

Breton MC, Garneau M, Fortier I, Guay F, Louis J. (2006) *Relationship between climate, pollen concentrations of Ambrosia and medical consultations for allergic rhinitis in Montreal, 1994 2002*. Sci Total Environ. Vol.370:39–50

Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, Jäger S, Nölgard N, Rantio-Lehtimäki A. (2002) *Responses in the start of Betula (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe*. Int J Biometeorol. Vol.46:159–170

Frei T. (1998) *The effects of climate change in Switzerland 1969-1996 on airborne pollen quantities from hazel, birch and grass*. Grana. Vol.37:172–179

- Galán C, García-Mozo H, Vázquez L, Ruis L, de la Guardia CD, Trigo MM. (2005), *Heat requirement for the onset of the Olea europea L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change*. Int J Biometeorol. Vol.49:184–188
- García-Mozo H, Galán C, Jato V, Belmonte J, de la Guardia C, Fernandez D. (2006) *Quercus pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: response to meteorological parameters and possible consequences of climate change*. Ann Agric Environ Med. Vol.13:209–224
- Rasmussen A. (2002) *The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark*. Aerobiologica. Vol.18:253–265
- Rogers CA, Wayne PM, Macklin EA, Muilenberg ML, Wagner CJ, Epstein PR. (2006) *Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO₂ on ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.) pollen production*. Environ Health Perspect. Vol.114:865–869
- Rodríguez-Rajo FJ, Dopazo A, Jato V. (2004) *Environmental factors affecting the start of pollen season and concentrations of airborne Alnus pollen in two localities of Galicia (NW Spain)*. Ann Agric Environ Med. Vol.4;11:35–44
- Stach A, García-Mozo H, Prieto-Baena JC, Czarnecka-Operacz M, Jenerowicz D, Sihy W. (2007) *Prevalence of Artemisia species pollinosis in western Poland: Impact of climate change on aerobiological trends, 1995-2004*. J Investig Allergol Clin Immunol. Vol.17:39–47
- Weber RW. (2002) *Mother Nature strikes back: global warming, homeostasis, and the implications for allergy*. Ann Allergy Asthma Immunol. Vol.88:251–252
- Ziska LH, Caulfield F. (2000) *Rising CO₂ and pollen production of common ragweed (Ambrosia artemisiifolia), a known allergy-inducing species: implications for public health*. Aust J Plant Physiol. Vol.27:893–898
- Wayne P, Foster S, Connelly J, Bazzaz F, Epstein P. (2002) *Production of allergenic pollen by ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.) is increased in CO₂-enriched atmospheres*. Ann Allergy Asthma Immunol. Vol.88:279–282
- Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG. (2003) *Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health*. J Allergy Clin Immunol. Vol.111:290–295

Siti consultati

www.arpa.veneto.it

www.eea.europa.eu

www.padovanet.it

<http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems>

www.grabs-eu.org

www.guerrillagardening.org e

www.ilmonitodelgiardino.it

www.ipcc.ch

www.istat.it

www.itreetools.org/eco/

www.istruzione.it/

hubmiur.pubblica.istruzione.it/web/ricerca/home

www.peripheria.eu/

www.thelancet.com

www.ilpolline.it

www.polliniec allergia.net

www.isprambiente.gov.it

<https://portals.iucn.org/blog>

www.corriere.it/salute

Indice delle Sigle

ADHD: Attention Deficit Hyperactivity Disorder

APA: Alberi che puliscono l'Aria, progetto di monitoraggio partecipativo ARPAV-IUAV

APAT (vedi ISPRA)

ARPAV: Agenzia Regionale per la prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto

BES: Benessere Equo e Sostenibile

CBD: Convention on Biological Diversity

CNEL: Consiglio Nazionale dell'Economia e del Lavoro

COPERT: Computer Programme to calculate Emission from Road Transport

CFS: Corpo Forestale dello Stato

DC-GIS: Dynamic Computational G.I.S.

EBA: Ecosystem Based Approach

EEA: European Environment Agency

GRaBS: Green and Blue Space

ICT: Information and Communication Technology

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Tutela Ambientale

ISTAT: Istituto Nazionale di Statistica

IUFRO: International Union of Forest Research Organization

INEMAR: Inventario Nazionale delle Emissioni in Aria

MATTM: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

NOE: Nucleo Operativo Ecologico

OECD (OCSE): Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico

SPUGS: Small Public Urban Green Spaces

UFORE: Urban Forest Effect

UNEP: United Nations Environment Programme

USDA: United States Department of Agriculture

VAS: Valutazione Ambientale Strategica

WMO: World Meteorological Organization

PRODOTTI DELLA RICERCA

I seguenti prodotti sono stati realizzati nell'ambito delle attività del dottorato:

Rebeschini S., Camporese, R. (2011) *Open Data ambientali*. Bibliotime. Rivista elettronica per le biblioteche. Anno XIV, numero 3 (novembre 2011). Silvia Rebeschini ha redatto la prima parte fino alle reti di monitoraggio ambientali.

Disponibile online <http://www.aib.it/aib/sezioni/emr/bibtime/num-xiv-3/rebeschini.htm>

Rebeschini S., Camporese R. (2011) *Informazioni e dati ambientali. La pubblica amministrazione verso l'Open Data*. Rivista Ambiente Risorse Salute, n. 130-131 – luglio/dicembre, p. 6-14. Silvia Rebeschini ha redatto la prima parte fino ai dati del monitoraggio ambientale.

Rebeschini S. (2013) *Verde urbano e azioni di adattamento ai cambiamenti climatici: fattori di successo nelle città europee* in Atti della conferenza “Il clima cambia le città” a cura di Musco F., Zanchini E., Corila, Venezia. ISBN 9788889405253

e-book <http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/ebook.pdf>

Rebeschini S., Patassini D. (2013) *Verde urbano e azioni di adattamento ai cambiamenti climatici: fattori di successo nelle città europee* in Musco F., Zanchini E Strategie di adattamento e mitigazione nella pianificazione urbanistica. FrancoAngeli/Urbanistica

ALLEGATO 1 - Modulo D – Dry Deposition

Da Hirabayashi S., Kroll C.N., Nowak D.J. (2011) “Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE –D) Model Descriptions” - Version 1.1 February 22, 2011

L'allegato riporta una breve sintesi dell'articolo sopracitato; la traduzione, effettuata da chi scrive, potrebbe contenere delle imprecisioni. La finalità è fornire alcune indicazioni sugli algoritmi di calcolo del modello UFORE (modulo D) per il calcolo degli inquinanti atmosferici rimossi dalla vegetazione.

Il modulo D (*Dry Deposition*) del modello quantifica le deposizioni secche su alberi e arbusti di monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO₂), ozono (O₃), biossido di zolfo (SO₂) e particolato atmosferico di dimensioni inferiori ai 10 micron (PM₁₀), e il conseguente miglioramento della qualità dell'aria in termini percentuali nell'arco di un anno.

Gli algoritmi utilizzati per ottenere il risultato finale implicano il calcolo di diversi parametri, per i quali si riporta di seguito una breve descrizione.

1. Calcolo dei flussi di inquinanti atmosferici
2. Calcolo della velocità di deposizione
3. Calcolo della resistenza aerodinamica
4. Calcolo della velocità di attrito
5. Calcolo della resistenza *quasi-laminar boundary layer*
6. Calcolo della resistenza della chioma
7. Calcolo della resistenza stomatica
8. Calcolo della traspirazione
9. Calcolo del miglioramento della qualità dell'aria

1. Il **flusso di inquinanti** atmosferici F ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) è calcolato eseguendo il prodotto tra la velocità di deposizione V_d (m s^{-1}) e il valore della concentrazione dell'inquinante in aria C (g m^{-3})

$$F = V_d \cdot C \cdot 3600$$

Le **velocità di deposizione** per CO, NO₂, SO₂ e O₃ sono l'inverso della somma delle tre resistenze (s m^{-1}): aerodinamica (R_a), *quasi-laminar boundary layer* (R_b) e della chioma (R_c) (Baldocchi *et al.* 1987).

$$V_d = \frac{1}{R_a + R_b + R_{c, \text{InLeaf}}}$$

$$V_d = \frac{1}{R_a + R_b + R_{c, \text{OutLeaf}}}$$

R_a può essere calcolata dai dati meteorologici e quindi è indipendente dal tipo di inquinante, mentre R_b e R_c sono calcolate separatamente per CO , NO_2 , SO_2 e O_3 . Inoltre il valore di R_c è variabile a seconda del periodo (vegetativo e non). Quindi vi sono due valori di V_d a seconda del periodo temporale considerato.

Essendo la velocità di deposizione dipendente dalla radiazione attiva (photosynthetically active radiation - PAR), vengono utilizzati dati di V_d minimi e massimi per il giorno e la notte stimati per i singoli parametri (Lovett, 1994):

Valori di V_d se $PAR > 0$ (di giorno). Di notte $V_d = V_{d \text{ min}} = V_{d \text{ max}}$

	$V_{d \text{ min}}$ ($m \text{ s}^{-1}$)	$V_{d \text{ max}}$ ($m \text{ s}^{-1}$)
NO_2	0.001	0.005
O_3	0.001	0.008
SO_2	0.002	0.01

Per il particolato PM_{10} la velocità di deposizione nei periodi vegetativi è calcolata sulla base dei valori medi, massimi e minimi riportati da Lovett (1994). La formula seguente relativa alla V_d media viene utilizzata anche per calcolare la V_d minima e massima sostituendo nel primo fattore $V_{d,PM,Avg}$ ($= 0.64 \text{ m s}^{-1}$) rispettivamente il valore $V_{d,PM,Min}$ ($= 0.25 \text{ m s}^{-1}$) e $V_{d,PM,Max}$ ($= 1.00 \text{ m s}^{-1}$)

$$V_d = V_{d,PM,Avg} \cdot \frac{BAI + LAI}{BAI + LAI_{PM10}}$$

dove

BAI: Bark Area Index (indice di superficie della corteccia)

LAI: Leaf Area Index (indice di superficie fogliare)

LAI_{PM10} : LAI per deposizioni di particelle ($= 6$)

Nel periodo non vegetativo, le formule dei valori medi, minimi e massimi non cambiano, a parte il valore di LAI che va considerato solo per le specie sempreverdi

$$V_d = V_{d,PM,Avg} \cdot \frac{BAI + LAI_{\text{evergreen}}}{BAI + LAI_{PM10}}$$

La **resistenza aerodinamica** R_a viene calcolata come rapporto tra la velocità media del vento ad altezza z , $u(z)$ (in $m\ s^{-1}$) e il quadrato della velocità di attrito u^* (in $m\ s^{-1}$) (Killus et al. 1984)

$$R_a = \frac{u(z)}{u_*^2}$$

Il calcolo della velocità di attrito prevede l'utilizzo di formule diverse a seconda delle condizioni.

Il valore della velocità di attrito dipende dalla stabilità dell'atmosfera (neutrale, instabile e stabile) che viene determinata utilizzando il valore della lunghezza di stabilità Monin-Obuhkov (Monin-Obuhkov stability length), che può essere stimata empiricamente basandosi sulle classi di stabilità di Pasquill (A-F).

A titolo di esempio si riporta una delle formule (classe Pasquill A)

$$\text{Pasquill} = A: 1/L = -0.0875 \cdot z_0^{-0.1029}$$

$L=0$ indica un'atmosfera neutra, $L<0$ atmosfera instabile, $L>0$ atmosfera stabile

La **resistenza quasi-laminar boundary layer** (R_b) è calcolata con la seguente formula (Pederson *et al.* 1995)

$$R_b = 2(Sc)^{\frac{2}{3}} (Pr)^{-\frac{2}{3}} (ku_*)^{-1}$$

dove

Sc = numero di Schmidt, pari a 1 per O_3 , 0.76 per CO , 0.98 per NO_2 e 1.15 per SO_2

Pr = numero di Prandtl (= 0.72)

Il valore della **resistenza della chioma** (R_c) viene calcolato in modo diverso a seconda dell'inquinante. Per il CO , poiché la capacità di sequestro da parte della vegetazione non dipende direttamente dalla traspirazione, i valori di R_c sono fissati da costanti, calcolate da Bidwell and Fraser (1972).

R_c con foglie = $50.000\ s\ m^{-1}$

R_c senza foglie = $1.000.000\ s\ m^{-1}$

Per NO_2 , O_3 e SO_2 il valore di R_c nei **periodi vegetativi** viene calcolato

$$\frac{1}{R_{c,InLeaf}} = \frac{1}{r_s + r_m} + \frac{1}{r_{soil}} + \frac{1}{r_t}$$

dove

r_s = resistenza stomatica (stomatal resistance) in $s\ m^{-1}$

r_m = resistenza del mesofillo (*mesophyll resistance*) (= 100 per NO₂, 10 per O₃ e 0 per SO₂ s m⁻¹)

r_{soil} = resistenza del suolo (*soil resistance*) (= 2941 s m⁻¹ in stagione vegetativa, =2000 s m⁻¹ altra stagione)

r_t = resistenza cuticolare (*cuticular resistance*) (=20.000 per NO₂, 10.000 per O₃ e 8.000 per SO₂ s m⁻¹)

Nei **periodi non vegetativi**, il valore della resistenza della chioma per NO₂, O₃, and SO₂ ($R_{c,outLeaf}$) può essere ricavata dalla interpolazione lineare basata sul LAI della vegetazione sempreverde definendo dei valori di default delle resistenze della chioma per valori di LAI delle sempreverdi.

Calcolo della **resistenza stomatica**.

La parte visibile dello spettro elettromagnetico solare, o radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), è ampiamente assorbita dalla vegetazione per effettuare la fotosintesi, mentre la radiazione dell'infrarosso vicino (700-3000 nm) è largamente diffusa dalla vegetazione (Norman, 1982). La radiazione diretta e quella diffusa sono intercettate in modo differente dalle chiome: quest'ultima viene utilizzata in modo più efficiente dalle foglie che operano la fotosintesi (Weiss and Norman, 1985).

La resistenza stomatica è legata alla fotosintesi fogliare (Baldocchi 1994). Calcolare i livelli di fotosintesi a livello della chioma a partire dai livelli di fotosintesi a livello fogliare richiede di suddividere la chioma in N strati nei quali il LAI in ciascun strato (ΔF) viene scelto tra 0.1 e 0.2 (Norman 1980).

E' preferibile calcolare la resistenza stomatica sulla base dell'irradianza sia delle foglie illuminate che di quelle ombreggiate e successivamente pesare le resistenze sulla base delle frazioni di area fogliare soleggiata o all'ombra (Baldocchi *et al.*, 1987).

Di seguito si riportano le fasi della procedura utilizzata per il calcolo della conduttanza stomatica (inverso della resistenza stomatica):

1. suddividere la radiazione solare sopra la chioma nelle porzioni del visibile (PAR) e infrarosso vicino;
2. suddividere la PAR al di sopra della chioma in radiazione diretta e diffusa;
3. suddividere la chioma in N strati e calcolare le aree di luce e ombra in ciascun strato;
4. calcolare la densità di flusso del PAR intercettata dalle foglie illuminate e all'ombra in ciascuno strato della chioma;
5. calcolare la conduttanza stomatica delle foglie illuminate e ombreggiate presenti in ciascun livello della chioma;
6. pesare la conduttanza stomatica di ogni livello sulla base della frazione di superficie fogliare situata al sole o all'ombra;
7. sommare la conduttanza stomatica delle foglie illuminate e in ombra di tutti gli strati per ricavare il valore complessivo dell'intera chioma.

La traspirazione è la fuoriuscita di vapore acqueo dalle piante che ne controllano il flusso attraverso meccanismi di resistenza fogliare. Il processo comprende una fase di evaporazione

dell'acqua dalle pareti cellulari e una successiva di diffusione all'esterno attraverso gli stomi (Kramer 1983). Il **flusso di traspirazione** si stima con la formula (Kramer 1983):

$$T_f = \frac{C_{\text{leaf}} - C_{\text{air}}}{\frac{1}{g_s} + R_a} \cdot \frac{3600}{LAI}$$

dove

C_{leaf} = Concentrazione del vapore acqueo sulle superfici di evaporazione nella foglia (g m^{-3})

C_{air} = Concentrazione del vapore acqueo in aria (g m^{-3})

g_s = Conduttanza stomatica (s m^{-1})

R_a = Resistenza aerodinamica (s m^{-1})

LAI = Indice di superficie fogliare

Per il calcolo di C_{leaf} e C_{air} sono necessari i dati di temperatura (Monteith and Unsworth 1990).

Calcolo del miglioramento della qualità dell'aria

Il valore del miglioramento della qualità dell'aria su base oraria prodotto da tutta la copertura arborea (total tree cover), I_{total} (%), si esprime con

$$I_{\text{total}} = I_{\text{unit}} \cdot \frac{T_c}{100}$$

dove

T_c copertura arborea totale del centro urbano (%)

I_{unit} (unità di miglioramento, in %): rappresenta il valore orario del miglioramento dell'aria, dovuto alle deposizioni secche degli inquinanti atmosferici, per unità di copertura:

$$I_{\text{unit}} = \frac{F}{F + M_{\text{total}}} \cdot 100$$

con

F = flusso di inquinante ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)

M_{total} = massa totale di inquinanti per unità di copertura arborea (g m^{-2}) calcolata come prodotto della concentrazione di inquinante C (g m^{-3}) per l'altezza (Urban mixing) (m).

Ringraziamenti

Innanzitutto i miei correlatori: il Prof. Domenico Patassini con il quale ho avuto anche il piacere di realizzare la pubblicazione sull'adattamento ai cambiamenti climatici e il Prof. Paolo Semenzato del Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali della Facoltà di Scienze Agrarie dell'Università di Padova, che mi ha indirizzato nelle attività connesse all'applicazione del modello UFORE.

Un grazie al Prof. Luigi Di Prinzio per avermi concesso la libertà di scegliere il percorso di ricerca che più mi ha appassionato, ai Proff. Virginio Bettini, e Vittorio Ingegnoli per i preziosi consigli in fase di revisione, ai dottorandi “vecchi e nuovi” incontrati nel triennio, da cui ho imparato molto; in particolare Niccolò Iandelli, valido supporto per gli strumenti GIS, con il quale ho condiviso alcuni aspetti del monitoraggio pervasivo, Stefano Picchio, grazie al quale ho potuto utilizzare le tecniche per la elaborazione delle immagini e Antonella Ragnoli con la quale ho collaborato per attività interne al dottorato.

Un grazie speciale a Rina Camporese con la quale ho avuto il piacere di collaborare durante il primo anno su open data, citizen science e mappe acustiche e che è stata per me un punto di riferimento per ogni genere di consiglio.

Desidero ringraziare i colleghi dell'ARPAV che in questi anni mi hanno dimostrato amicizia e sostegno, mettendo come sempre a disposizione la loro competenza con sollecitudine: Susanna Lessi (monitoraggio aerobiologico), Francesco Rech (dati meteorologici), Maria Luisa Tait (dati qualità dell'aria), Laura Susanetti (elaborazione dati emissioni), Francesca Meneghini e Elena Avanzi (progetto APA), Giovanna Ziroldo (app pollini) e Luca Menini (open data, crowdsourcing e sostegno morale), sperando di non aver dimenticato nessuno.

Ringrazio inoltre chi mi ha offerto tempo e professionalità nella fase iniziale della ricerca: in particolare Maria Angiola Crivellaro (patologie allergiche e “diario dei pollini”) e Carlo Zeffiro (supporto nell'attività di rilevamento sul campo).

Merita un grazie anche mia madre per il prezioso aiuto quotidiano senza il quale tutto sarebbe stato più complicato.

Infine desidero ringraziare i miei figli, Marta per il suo contributo creativo (autrice dei disegni) e Mattia per avermi affiancato con entusiasmo e vivacità nella scelta dell'architettura grafica di questo lavoro.

Federico...per tutto il resto.