

# **Progetto di fattibilità di un sistema del verde di mitigazione da inquinamento**

**Raggruppamento Temporaneo  
di Professionisti**

**dr. Armando Buffoni  
dr. Paolo Toccafondi  
dr. Simone Pinzauti**



**Comune di Forlì, Settore Ambiente**

# **Progetto di fattibilità di un sistema del verde di mitigazione da inquinamento**

Raggruppamento Temporaneo  
di Professionisti  
dr. Armando Buffoni  
dr. Paolo Toccafondi  
dr. Simone Pinzauti

# Introduzione

L'inquinamento dell'aria rappresenta per numerose città italiane una delle più importanti problematiche ambientali. I livelli di concentrazione di alcuni inquinanti superano infatti i limiti che la normativa vigente prescrive per la protezione della salute umana e dell'ambiente. Le principali criticità riguardano le polveri sottili (PM10), il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), l'ozono (O<sub>3</sub>). Più raramente, in zone ricche di industrie e traffico pesante, si possono osservare valori elevati anche per il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>).

Al fine di ridurre le emissioni di inquinanti e contenere le conseguenti concentrazioni in aria sono stati messi in atto numerosi provvedimenti che tuttavia non appaiono ancora sufficienti a garantire il completo rispetto dei limiti imposti dalla legge.

Le zone più critiche sono evidentemente quelle dove maggiore è la densità delle attività umane o dove più frequenti sono le condizioni meteorologiche sfavorevoli alla diluizione e dispersione di inquinanti. E' questo il caso di numerose città e aree urbanizzate dell'Italia settentrionale e, in particolare, della Pianura Padana. Qui infatti ad un'elevata densità di abitazioni, attività industriali e trasporti veicolari sono associate frequenti condizioni di stabilità dell'aria che provocano il ristagno degli inquinanti negli strati bassi dell'atmosfera.

Il risanamento della qualità dell'aria delle città è un processo complesso che deve tenere conto di tutti gli strumenti disponibili. Tra questi i meccanismi di rimozione degli inquinanti da parte del verde urbano, non appaiono oggi ancora adeguatamente riconosciuti e valorizzati.

Tra le diverse funzioni che vengono infatti attribuite alla vegetazione presente nelle città - qualificazione estetica, ricreazione, ombreggiamento, regimazione delle acque, ecc. - la capacità di rimuovere inquinanti atmosferici all'aria ambiente da parte degli apparati fogliari è forse la meno nota. Alberi e arbusti oltre a cedere ossigeno e assorbire CO<sub>2</sub> sono in grado di intercettare e trattenere diversi inquinanti sia gassosi che particellari dannosi alla salute. Una sua stima quantitativa di questi processi è stata oggetto di approfonditi studi e oggi vi è consenso nel ritenere il verde urbano uno strumento importante da inserire nelle strategie per la protezione e il miglioramento della qualità dell'aria.

I processi che consentono la rimozione di inquinanti atmosferici da parte delle foglie di alberi e arbusti sono diversi: il PM10 è prevalentemente intercettato da parte delle superfici fogliari che se rugose, ricche di peli e essudati trattengono il particolato che viene poi dilavato dalle piogge. Una quota (in media il 50% circa) di queste polveri estremamente fini, qualora non piova per lungo tempo andrà incontro a fenomeni di risospensione.

La rimozione di composti gassosi avviene in modi diversi: i composti più reattivi come l'ozono possono interagire con le superfici fogliari al solo contatto o penetrare negli stomi, le aperture di cui dispongono le piante per assorbire CO<sub>2</sub> e rilasciare acqua e O<sub>2</sub>. Il flusso degli inquinanti dipende dalla loro concentrazione, dalla meteorologia, dalle caratteristiche della pianta. I maggiori effetti prodotti dal verde urbano sulla qualità dell'aria riguardano il particolato fine (PM10 e PM 2.5), il biossido di azoto, il biossido di zolfo e l'ozono.

Numerose città nel mondo (New York, Boston, Baltimora, Pechino, Puerto Alegre in Brasile, Santiago del Cile, Madrid e altre) hanno effettuato analisi approfondite della capacità del loro verde urbano di migliorare la qualità dell'aria. Questi studi hanno evidenziato come la presenza di parchi urbani, viali alberati e giardini possa ridurre le concentrazioni di alcuni inquinanti dell'aria e, in particolare, i valori di picco cioè le concentrazioni massime registrate nel corso della giornata.

La città menzionate hanno utilizzato il modello di calcolo UFORE sviluppato dal Servizio Forestale del Dipartimento dell'Agricoltura (USDA-FS).

Con lo sviluppo del "PROGETTO DI FATTIBILITÀ DI UN SISTEMA DEL VERDE DI MITIGAZIONE DA INQUINAMENTO" l'Amministrazione comunale di Forlì ha inteso sviluppare una valutazione di quale sia attualmente il ruolo del verde urbano nel contenere l'inquinamento dell'aria ma soprattutto come questo possa essere potenziato con la realizzazione di un programma di sviluppo di nuove aree verdi.

Il progetto promosso dai Settori Ambiente e Verde urbano del Comune di Forlì ha quindi quali obiettivi:

- la valutazione quantitativa del contributo del "sistema verde" del territorio comunale al contenimento dell'inquinamento dell'aria (la situazione attuale),
- lo sviluppo di un sistema del verde per la mitigazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico nell'area urbana e la stima dei suoi effetti sulla qualità dell'aria,
- la realizzazione di un progetto di fattibilità per la realizzazione di interventi di nuove aree verdi per la mitigazione dell'inquinamento atmosferico nell'area industriale di Coriano.

L'indagine si è sviluppata analizzando sia il ruolo del verde pubblico, dettagliatamente censito da parte del Settore Verde urbano nel corso dell'anno 2004, ma anche quello del verde privato per il quale sono stati realizzati rilievi ad hoc nel corso della presente indagine.

I dati disponibili sul verde pubblico sono stati successivamente sottoposti ad un'elaborazione finalizzata ad ottenere stime quantitative dettagliate degli inquinanti rimossi da ogni singolo albero. Per il verde privato le informazioni elaborate riguardano invece intere porzioni dell'area urbana.

I composti considerati sono

- l'ozono,
- il PM10,
- il biossido di azoto,
- il biossido di zolfo,
- il monossido di carbonio.

Sono state altresì stimate le emissioni di composti organici volatili (COV) da parte delle piante, suddivisi, in relazione al loro livello di reattività. Le specie vegetali infatti possono contribuire alla formazione dell'ozono, un importante inquinante atmosferico, con il rilascio di sostanze catalizzatrici delle reazioni che portano alla formazione di questo composto. I COV non vengono emessi da tutte le specie con uguale modalità e intensità e un'attenta analisi delle caratteristiche delle specie arboree di interesse per la realizzazione di aree verdi in ambito urbano può contenere sensibilmente il fenomeno.

L'indagine individua nella pianificazione territoriale e più in particolare nella progettazione del verde urbano, lo sbocco operativo delle informazioni e dei dati derivanti dalle elaborazioni relative al verde urbano attuale. Con questo obiettivo sono stati analizzati gli interventi di carattere urbanistico che l'Amministrazione ha previsto con il Piano Regolatore Generale. Di questi è stata realizzata una stima del verde che potrà accompagnare gli interventi e di quale entità potrà essere la rimozione di inquinanti atmosferici.

Lo strumento utilizzato per queste stime è dato dallo sviluppo di alcune ipotesi di tipologie di intervento (il viale alberato, la pista ciclabile, il parcheggio, la rotonda, ecc.) e dall'elaborazione di successive indicazioni operative in modo tale da massimizzare la capacità della componente vegetale di rimuovere inquinanti gassosi e particellari dall'aria ambiente.

L'ultima parte dell'indagine si è focalizzata sull'area di Coriano individuando interventi per la realizzazione di nuovo verde urbano in grado di contribuire a mitigare le emissioni di inquinanti atmosferici, particolarmente significative in questa parte della città.

Lo studio ha tuttavia un ulteriore motivo di interesse: esso rappresenta una delle prime valutazioni sistematiche delle interazioni tra verde urbano e inquinamento atmosferico realizzata in Italia. Esso valorizza una funzione poco nota delle specie arboree e arbustive, funzione che potrebbe contribuire, nel quadro di una strategia complessiva di riduzione delle emissioni, a migliorare la qualità dell'aria delle città italiane. D'altro canto il riconoscimento di queste potenzialità può rappresentare un'occasione per il settore del verde di vedere sottolineato il ruolo del verde urbano e ricevere un maggiore sostegno per potenziare e sviluppare il proprio ruolo.

# Gli inquinanti indagati

Il modello UFORE consente di simulare le interazioni e gli scambi che le chiome degli alberi hanno con l'atmosfera. E' quindi possibile stimare i flussi dei diversi composti dell'aria (ossigeno, anidride carbonica, gas inquinanti) in ingresso e in uscita dagli stomi nonché l'intercettazione del particolato fine da parte delle superfici fogliari. I composti su cui il modello UFORE fornisce indicazioni sono il PM10, l'ozono, il biossido di azoto, il biossido di zolfo, il monossido di carbonio. Le fonti di questi composti sono diverse attività antropiche, civili e industriali. In ambito urbano il contributo di sorgenti naturali è, in genere, del tutto trascurabile.

## PM10

Il PM10 è emesso dagli autoveicoli, dagli impianti di riscaldamento civile e dall'industria; a queste fonti si associa una quota di origine naturale o, quanto meno, legata al risollevarsi di polveri provenienti dagli strati superficiali del suolo. Questo ultimo contributo è in parte legato alle attività agricole. Esiste inoltre una componente secondaria che si sviluppa da processi di condensazione di composti presenti nell'aria.

## L'ozono

L'ozono è un gas incolore ed inodore, fortemente instabile, composto da tre atomi di ossigeno. E' un inquinante secondario, non viene cioè emesso direttamente da una qualche attività umana ma è il prodotto della reazione tra diversi altri inquinanti.

L'aumento della concentrazione di ozono costituisce un problema di sanità pubblica in particolare per i gruppi di popolazione maggiormente sensibili quali i bambini, gli anziani, le donne in gravidanza, i soggetti affetti da patologie respiratorie e cardiovascolari. E' il principale inquinante ad azione fitotossica.



## Il biossido di azoto



Il biossido di azoto è un gas tossico dall'odore pungente e con grande potere irritante. E' un composto ossidante e molto reattivo. Il colore rossastro dei fumi di alcune industrie è dato dalla presenza di NO<sub>2</sub> come pure il colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico.

Rappresenta un inquinante secondario dato che deriva, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto emesso dalle combustioni ad alta temperatura, come quelle che avvengono nei motori degli autoveicoli o nelle attività di produzione energetica. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico, miscela di composti inquinanti tipica delle aree inquinate nel corso della stagione calda; gli ossidi di azoto contribuiscono per il 30% alla formazione delle piogge acide.

## Il biossido di zolfo

Il biossido di zolfo o anidride solforosa è un gas incolore, irritante, non infiammabile, molto solubile in acqua e dall'odore pungente. Dato che è più pesante dell'aria tende a stratificarsi nelle zone più basse. Deriva dalla ossidazione dello zolfo nel corso dei processi di combustione delle sostanze che contengono questo elemento sia come impurezza (come i combustibili fossili) che come costituente fondamentale.



## Il monossido di carbonio

Il monossido di carbonio è un gas inodore, incolore, insapore e velenoso. E' prevalentemente emesso dai processi di combustione; nelle aree urbane la fonte principale sono gli autoveicoli. Contribuiscono inoltre alcune attività industriali, soprattutto impianti siderurgici e raffinerie di petrolio.

# L'area di indagine

L'area di indagine è definita dal territorio urbano del Comune di Forlì e dalle aree urbanizzate contigue o del tutto staccate da quella centrale purché di dimensioni superiori a 100 ha. La superficie complessiva considerata nell'indagine è quindi pari a 3360 ha corrispondente al 15% circa dell'intero territorio comunale. Pur trattandosi della porzione più densamente urbanizzata del territorio comunale essa mantiene al suo interno una discreta superficie destinata ad un uso agricolo.

Sulla base della Carta dell'uso del suolo della Regione Emilia Romagna l'area urbanizzata è indubbiamente quella prevalente a cui seguono quelle destinate ad usi industriali e commerciali (circa il 20% del totale).

Sempre secondo le informazioni fornite dalla Regione Emilia – Romagna il verde urbano e quello annesso agli impianti sportivi ammonta a poco meno del 6% della superficie indagata. Il dato appare coerente con quanto rilevato nell'ambito del presente studio nel Comune di Forlì e corrisponde alla somma delle aree a verde pubblico e del cosiddetto verde di distacco, aree di diversa natura non edificate e sottoposte a vincolo. La zona di indagine è costituita dall'area urbana, definita come l'insieme urbanisticamente inteso di edificazioni che forma la città per cui si tratta quindi di un insieme unitario di porzioni della città che hanno tuttavia funzioni, caratteristiche e dinamiche fortemente differenziate.

Al di fuori dell'area urbana vi sono diversi spazi verdi con formazioni boschive naturali o naturaliformi, in parte già inserite in interventi di recupero e riqualificazione e di potenziale ampia fruizione

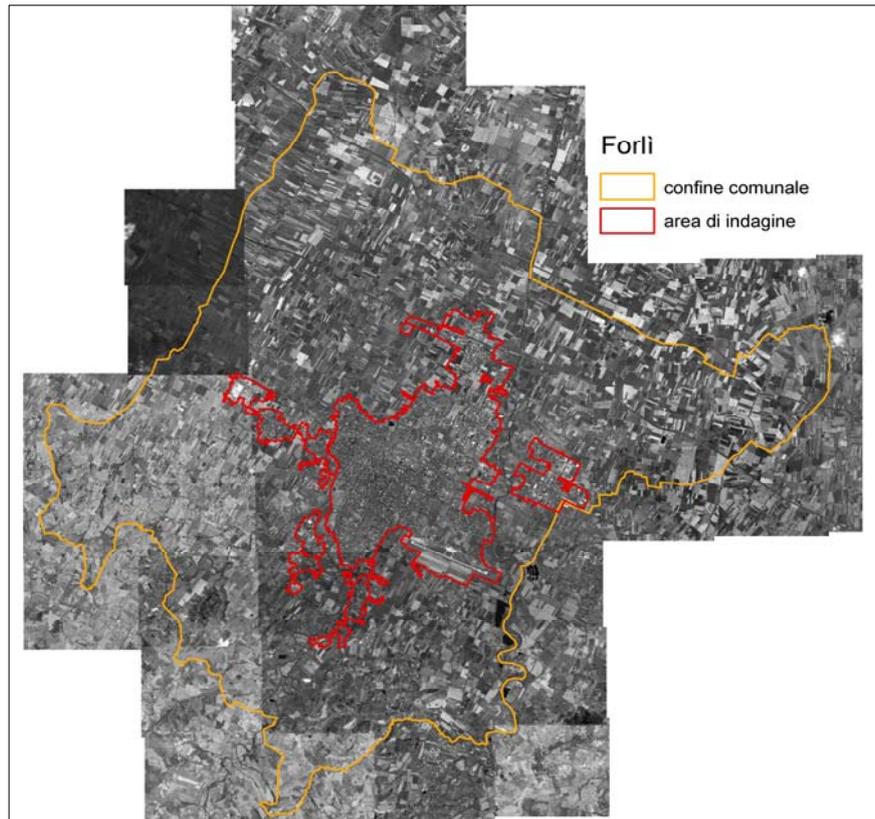
L'area di indagine evidenzia attualmente diverse tipologie di superfici edificate:

- il centro storico, compatto, densamente edificato, con scarsi spazi verdi ad eccezione di alcune aree a parco ben identificabili,
- le aree residenziali con un'edificazione regolare ma decisamente meno intensa, una maggiore incidenza di verde privato, numerosi viali alberati, aree commerciali e di servizio,
- le aree industriali a forte densità di edificazione, con prevalenza di strutture destinate ad attività produttive, magazzini e servizi dedicati.

Anche la densità di verde urbano non è omogenea: il centro storico dispone di alcune aree verdi ben strutturate e importanti ma ha complessivamente poche alberature stradali e verde privato, le zone residenziali sono caratterizzate da un evidente prevalenza del verde privato, mentre le aree industriali e artigianali si presentano fortemente disomogenee al loro interno.

E' tuttavia evidente che il verde privato supplisce in molte occasioni alla impossibilità di realizzare alberature in strade non sufficientemente ampie. Si ha così in molti occasioni una via possa essere percepita come "alberata" grazie al verde privato che si estende verso la strada.

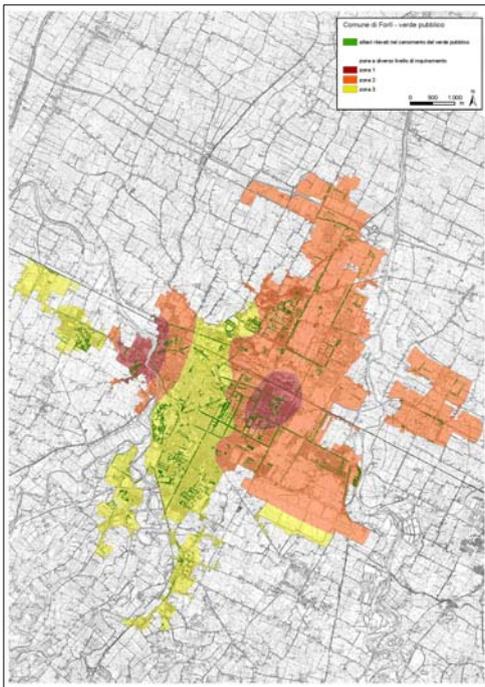
Anche nelle zone industriali e artigianali si riscontra, pur con intensità e caratteristiche molto differenziate, l tendenza di alcune aziende che dispongono di superfici libere a realizzare piccoli interventi (giardini, aiuole, ecc.) o alberature di distacco rispetto ad attività vicine o alle vie più prossime.



L'area di indagine



Tre diverse tipologie di verde: verde pubblico, verde privato residenziale e verde privato in area industriale.



L'area di indagine è stata analizzata per quanto riguarda le caratteristiche meteorologiche e la qualità dell'aria acquisendo i dati necessari per l'applicazione del modello di calcolo. La qualità dell'aria a Forlì presenta, come in altre città della Pianura Padana, alcune criticità legate sostanzialmente al superamento delle soglie fissate dalla normativa per le polveri fini (PM10), il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e l'ozono (O<sub>3</sub>). I superamenti di queste soglie avvengono prevalentemente nella stagione fredda per il PM10 e il biossido di azoto, in primavera ed estate per l'ozono. Giocano com'è noto a favore di queste condizioni oltre che alla densità delle fonti di emissione di inquinanti la scarsa ventilazione della regione e lo sviluppo di condizioni di inversione termica. Si rimanda per una dettagliata trattazione della situazione della qualità dell'aria al Primo Rapporto sullo Stato dell'Ambiente realizzato dal Settore Ambiente del Comune di Forlì nel 2006. Ai fini di questo studio l'area urbana è stata suddivisa in più porzioni con condizioni di inquinamento dell'aria differenziate. Questa zonizzazione a cui hanno corrisposto tre diverse applicazioni del modello UFORE è stata adottata sulla base dei dati delle stazioni di monitoraggio in continuo e a campagne di misura condotte sulla città di Forlì dall'Arpa dell'Emilia - Romagna.

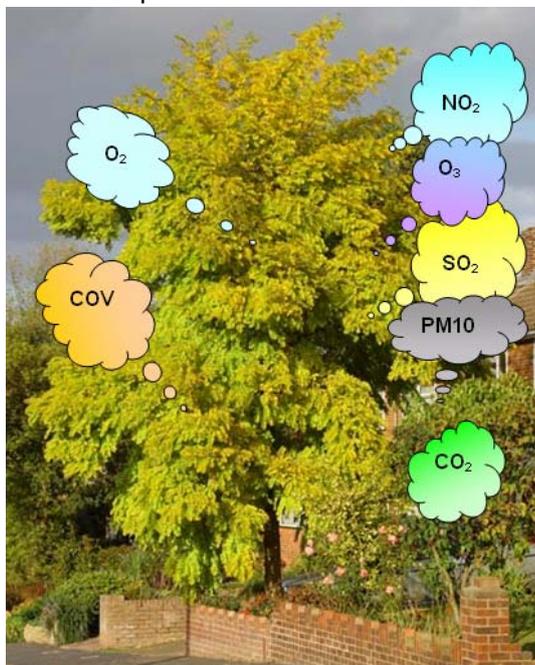
# Il modello di stima

Il modello impiegato per la stima degli inquinanti rimossi dalla vegetazione urbana si basa su una serie di funzioni matematiche che descrivono il comportamento degli apparati fogliari di alberi e arbusti, decidui o sempreverdi, nei confronti degli inquinanti atmosferici.

Le informazioni relative ai processi fisiologici utilizzate dal modello derivano dai numerosi studi che negli ultimi vent'anni sono stati sviluppati su questo tema. Il modello UFORE - Urban Forest Effects è suddiviso in più moduli. Il primo viene utilizzato per realizzare un'analisi preliminare delle caratteristiche della vegetazione urbana e determinare i valori di una serie di grandezze che verranno utilizzate nelle fasi successive. La principale è la "superficie fogliare", cioè la somma dell'estensione di tutte le foglie che vanno a formare la chioma di un albero. I valori tra le diverse specie o tra alberi di dimensioni diverse possono risultare molto differenziati.

Il modello dispone di un ampio database relativo a quasi 10000 specie. Ad ogni specie sono associate funzioni che, a partire dai dati di diametro del fusto, altezza, inserzione della chioma e diametro della chioma, consentono di giungere ad una stima della superficie fogliare. Le equazioni di regressione sono specifiche per le diverse essenze rilevate.

La biomassa fogliare, determinata in modo analogo mediante specifiche funzioni, costituisce il principale riferimento per la stima delle emissioni di composti precursori dell'ozono.



Un altro modulo del modello consente la determinazione dei quantitativi di inquinanti rimossi dall'atmosfera da parte della vegetazione.

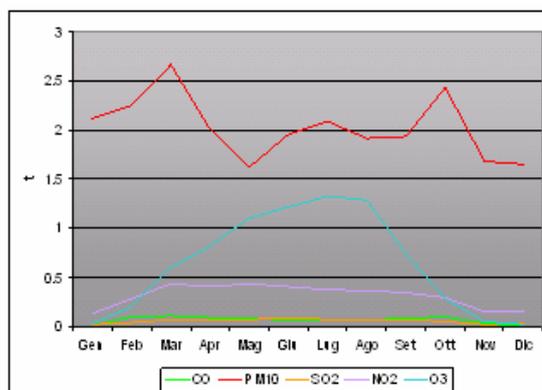
I fattori che maggiormente influiscono, oltre naturalmente alla specie, sono

- concentrazione di inquinanti – a concentrazioni più elevate maggiore è la rimozione relativa,
- la meteorologia – in giornate calde ma non torride si registrano i valori più elevati di scambi gassosi tra le foglie e l'atmosfera,
- la disponibilità d'acqua nei suoli – alberi ben riforniti d'acqua mantengono gli stomi aperti più a lungo rimuovendo quantitativi maggiori di inquinanti,
- lo stato di salute degli alberi – alberi vitali hanno chiome più folte e scambi gassosi più intensi,
- la stagione – le specie decidue hanno scambi gassosi quasi esclusivamente nel periodo primaverile ed estivo.

Il modello valuta infine, con un apposito modulo, le emissioni di composti organici volatili che, prodotti dagli alberi, possono contribuire a formare ozono.

Il principale scambio gassoso con l'atmosfera riguarda l'assorbimento di biossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ ) e l'emissione di ossigeno ( $\text{O}_2$ ). A questi processi si aggiunge l'intercettazione di polveri fini (PM10), il biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ), l'ozono ( $\text{O}_3$ ), il biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ). Il modello simula il comportamento delle foglie e dei processi che si svolgono sulla loro superficie con una cadenza oraria. Esso tiene inoltre conto dell'andamento meteorologico reale: i singoli episodi di pioggia, ad esempio, interrompono l'intercettazione di PM10. Più in generale nel corso dell'elaborazione si tiene conto di diversi processi fisiologici come la formazione delle foglie in primavera, la velocità con cui si sviluppano, l'epoca della loro caduta. Nel corso dell'autunno e dell'inverno le specie caducifoglie perdono le loro capacità di rimozione degli inquinanti. Il modello tuttavia tiene conto che un minimo di capacità residua si mantiene grazie all'azione delle cortecce. Il contributo più significativo in questo periodo dell'anno è dato tuttavia dalle specie sempreverdi.

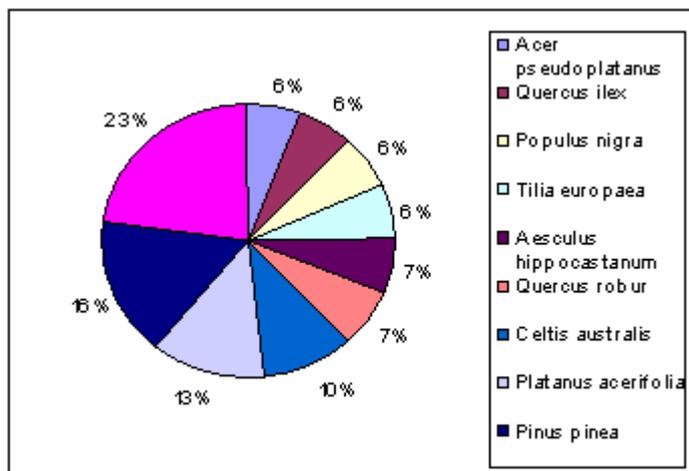
Il modello UFORE consente di effettuare anche stime del sequestro di  $\text{CO}_2$  da parte della vegetazione arborea.



Andamento temporale delle rimozioni di inquinanti atmosferici da parte del verde urbano nella città di Forlì.

# Il verde urbano a Forlì

La città di Forlì si caratterizza per una buona dotazione di verde. Il verde pubblico, fotografato dal censimento realizzato nel 2004 dal Settore Verde Pubblico del Comune di Forlì ha evidenziato un patrimonio complessivo di 25517 individui arborei. Nell'ambito del Censimento sono state registrate la posizione e le



Ripartizione percentuale delle principali specie presenti nel verde pubblico

caratteristiche di ogni singolo albero dati particolarmente utili per gli obiettivi di questa indagine. Le specie censite sono 147, fatto che denota una buona varietà della copertura arborea: infatti le prime dieci specie più rappresentate coprono insieme poco più della metà del totale (55%), valore che in molte città italiane arriva fino al 70%.

Gli alberi più diffusi sono quelli del genere Tilia (tiglio nostrano e tiglio riccio o selvatico) con 4538 individui, il pino domestico (2329 piante), il platano (1781 piante), il bagolaro (1390 piante), la farnia (947 piante), l'ippocastano (935 piante), il pioppo nero (892 piante), il leccio (886 piante), e l'acero di monte (868 piante). Il diametro medio è prossimo ai 30 cm, mentre l'altezza media

degli alberi censiti è di poco inferiore a 10 m; solo il 10% degli alberi si colloca tuttavia in classi di altezza maggiori a 18 m.

Tra gli alberi che fanno parte del patrimonio comunale spiccano alcuni individui di grandi dimensioni di platano, pioppo, tiglio e gelso tra le latifoglie, e cedri del Libano e dell'Atlante tra le conifere.

Poiché non erano disponibili informazioni sul verde privato è condotta un'indagine ad hoc che ha portato a stimare estensione e caratteristiche di questa importante quota del verde urbano. A questo scopo sono stati individuati circa 140 punti di campionamento dove una squadra di tecnici ha misurato e registrati tutti gli alberi e arbusti presenti.

Il verde privato è risultato costituito da 40452 alberi, dato che porta la consistenza complessiva di individui arborei nella città di Forlì a 65 969 unità. I rilievi hanno interessato tutta l'area di indagine e hanno evidenziato la ricchezza del verde di condomini, giardini privati, ville. Nell'ambito del verde privato si registra un'importante presenza di specie esotiche tra le quali spiccano i cedri (Cedro del Libano e dell'Atlante), l'abete rosso e la palma nana.

Gli alberi che compongono il verde urbano privato sono quindi più numerosi di quelli di proprietà pubblica ma presentano caratteristiche diverse. Gli alberi di proprietà comunale sono in genere di dimensioni maggiori in quanto costituiscono le alberature dei viali cittadini più importanti o i parchi della città.

	n. indiv	Superficie fogliare		Biomassa fogliare	
		Totale m <sup>2</sup>	media per individuo m <sup>2</sup>	Totale kg	media per individuo kg
Verde pubblico	25517	3474000	136,14	274830	10,77
Verde privato	40452	2157000	53,32	252980	6,25
Verde urbano totale	65969	5631000	85,36	527810	8,00

Verde pubblico e verde privato sviluppano una superficie fogliare estremamente estesa. Il verde pubblico, grazie ad alberi che hanno una superficie fogliare di area media pari a tre volte quella degli alberi in aree private, fornisce il contributo più rilevante. La quota privata è costituita per una parte importante data da arbusti e piccoli alberi, elementi poco rappresentati nel verde pubblico.

La biomassa fogliare, cioè il peso di tutte le foglie di alberi e arbusti, va attribuita in parti sostanzialmente uguali al verde pubblico e al privato. Anche qui il contributo per individuo nel verde pubblico è quasi doppio rispetto a quello privato.

Per quanto riguarda l'indice di area fogliare, cioè il rapporto tra la superficie fogliare e la proiezione delle chiome, il valore medio si colloca per il verde pubblico oltre 6 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, indice di un buon sviluppo degli

apparati fogliari. I valori tra le diverse specie mostrano tuttavia notevoli differenze con i dati minimi e massimi compresi tra 0.6 e 17 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> e oltre.

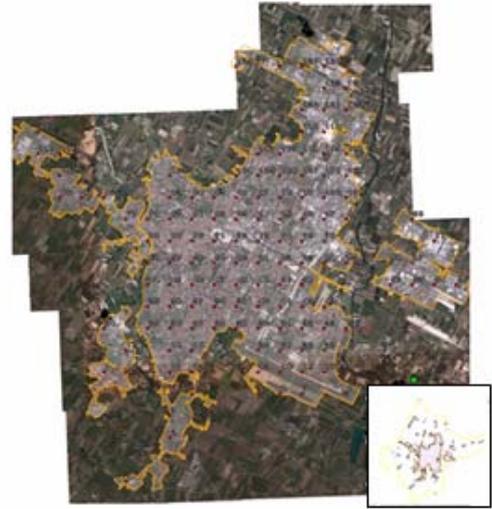
Il censimento del verde pubblico riporta alcune informazioni di carattere generale circa le condizioni di vitalità delle chiome degli alberi rilevati. In generale gli alberi censiti risultano in buone condizioni fitosanitarie con un numero assai esiguo di piante sofferenti. Una situazione sostanzialmente uguale si è rilevata anche sul verde privato.

Il verde privato evidenzia un notevole numero di specie arboree e arbustive ma soprattutto la presenza di una quota molto consistente di individui esotici o quanto meno lontani dal loro habitat ottimale. L'impiego di essenze esotiche non è legato a valutazioni di carattere estetico - paesaggistico ma, più semplicemente, a carenze delle fasi progettuali dei giardini privati. Appare tuttavia interesse generale che tutto il verde urbano pubblico e privato sia nelle migliori condizioni vegetative e su questo si ritiene auspicabile un'azione di indirizzo e informazione ai privati da parte del Settore Verde pubblico del Comune di Forlì.

# I rilievi sul verde urbano

Il modello UFORE offre, nei casi non sia disponibile un censimento dettagliato del verde urbano, un supporto per la realizzazione di rilievi campionari sull'area di indagine. Poiché non sono disponibili informazioni sul verde di proprietà privata presente nella città di Forlì, si è provveduto a realizzare un'indagine ad hoc basata su sopralluoghi e misure su 140 punti di campionamento distribuiti su tutto il territorio urbano. Tecnici esperti hanno provveduto ad effettuare rilievi dettagliati degli alberi e arbusti presenti. I rilievi sono stati condotti con grazie alla disponibilità di numerosi proprietari che, informati sui motivi dei rilievi, hanno consentito l'accesso a giardini privati, aree condominiali, ecc.

L'individuazione dei punti di campionamento ha seguito criteri di casualità utilizzando una griglia a maglie regolari di circa 400 m di lato. Particolarmente utili sono risultate le riprese satellitari ad alta definizione messe a disposizione dalla regione Emilia – Romagna e le riprese aeree disponibili per l'area di indagine. L'errore di stima è ritenuto inferiore al 10%. Per ognuno dei punti di campionamento sono state predisposte delle semplici monografie per il raggiungimento dei singoli siti e, nel corso del mese di maggio, sono stati effettuati i rilievi dei parametri richiesti dal modello UFORE. Un manuale per l'esecuzione dei rilievi ha guidato il lavoro dei tecnici forestali che vi hanno operato.



Reticolo di campionamento per il rilievo del verde privato

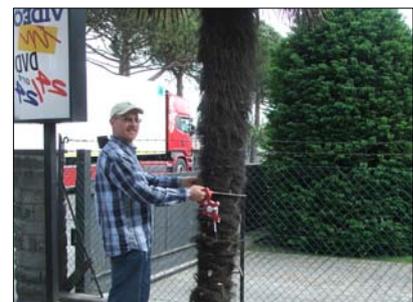
I dati raccolti hanno riguardato

- la posizione delle piante censite
- la specie;
- l'altezza dell'albero;
- l'altezza del punto di inserzione della chioma,
- il diametro del fusto;
- il diametro della chioma;
- lo stato della chioma (valutazione della percentuale di chioma mancante rispetto all'"albero modello" di riferimento e la valutazione della percentuale di chioma presente ma disseccata o malata);
- le porzioni di chioma illuminata (il parametro definisce le condizioni di competizione rispetto agli individui vicini).



Il campionamento ha considerato anche la componente arbustiva; la sua definizione tuttavia non è legata al portamento ma alle dimensioni dei fusti. Tutti gli individui con diametro del fusto, misurato a 1.30 m, inferiore a 2.5 cm di diametro sono stati considerati arbusti. Il risultato finale fornisce quindi un dato che alla voce arbusti comprende, in realtà, arbusti e piccoli alberi. Su tutti gli arbusti è stato misurato il volume apparente delle chiome.

Tutti i dati raccolti sono stati archiviati in un apposito database e elaborati grazie al modello UFORE.



# Rimozione di inquinanti atmosferici

Il modello UFORE applicato ai dati del censimento del verde pubblico e ai dati risultanti dal campionamento effettuato nell'ambito del presente studio fornisce un quadro generale degli inquinanti rimossi complessivamente dalla vegetazione presente nell'area urbana del Comune di Forlì.

L'inquinante che presenta i valori di rimozione più consistenti è il particolato fine (PM10) con un quantitativo sottratto all'aria ambiente che sfiora le 25 t. Valori più contenuti riguardano l'ozono e il biossido di azoto, rispettivamente con 7.7 e 3.8 t. Modesta è l'intercettazione del biossido di zolfo con 0.7 t e trascurabile quella del monossido di carbonio. Quest'ultimo non interagisce con gli apparati fogliari e il suo degrado sarebbe prevalentemente legato a processi di ossidazione a livello del suolo che pertanto non sono considerati in questa indagine.

I contributi forniti dal verde di proprietà pubblica e da quello privato in questa azione di rimozione sono assai diverso. Il verde pubblico determina infatti la rimozione di PM10 con una percentuale pari a circa il 30% a fronte del 70% della componente privata. Proporzioni non molto diverse si osservano per gli altri inquinanti.

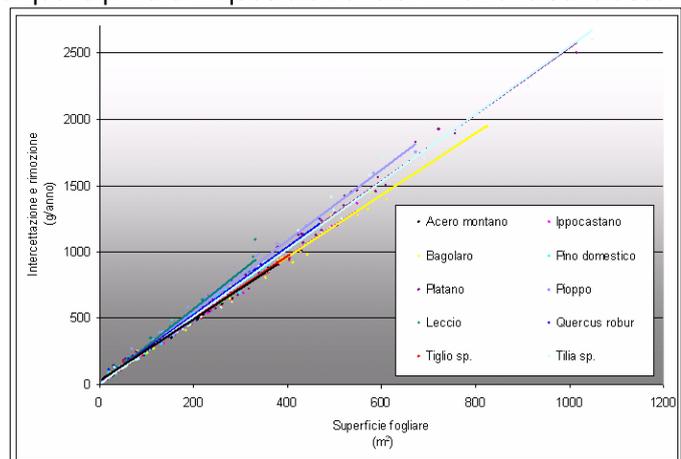
Il verde pubblico rimuove dall'aria ambiente circa 8.8 t/anno di PM10. Tale quantitativo è elevato se confrontato con i risultati di analoghi studi condotti in altre realtà urbane; esso è da attribuire, ragionevolmente, all'azione delle specie sempreverdi e, in particolar modo, all'elevata quota di pini domestici che svolgono un'azione di intercettazione del particolato anche nel corso della stagione fredda, quando le concentrazioni dell'inquinante sono più alte.

La rimozione di inquinanti atmosferici risulta fortemente legata allo sviluppo della superficie fogliare: risulta quindi importante che ad un elevato numero di individui corrisponda un'equilibrata espansione della ramificazione e degli apparati fogliari.

La rimozione del particolato, come dei diversi inquinanti gassosi, non è costante nel corso dell'anno, ma risente ovviamente delle più elevate concentrazioni e dello sviluppo degli apparati fogliari: in particolare, dei processi di foliazione e abscissione delle foglie nelle specie decidue.

L'ozono viene rimosso nel corso delle stagioni primaverile ed estiva, in concomitanza con il raggiungimento dei valori più elevati di concentrazione. L'azione della vegetazione, per quanto non particolarmente importante da un punto di vista quantitativo, può assumere quindi un certo rilievo in quanto va ad incidere sui valori di picco.

Per valutare la rilevanza dei quantitativi di inquinanti atmosferici rimossi dal verde urbano pubblico e privato è utile considerare le emissioni prodotte dalle diverse attività che si svolgono sul territorio comunale. Si tenga tuttavia presente che i dati di emissione riguardano tutto il territorio comunale mentre i dati di rimozione fanno riferimento al verde presente sulla sola porzione urbana del comune. I dati finali riportati hanno quindi un carattere conservativo.



Relazioni tra superficie fogliare e intercettazione di PM10 (elaborazioni su dati della città di Forlì)

	CO		NOX		SOX		PTS		PM10		COVNM	
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
Riscaldamento terziario e residenziale	180	2.0	174	4.4	12	5.3	31	6.3	26	7.0	24	1.0
Combustioni industriali	75	0.8	527	13.4	193	84.6	110	22.4	87	23.5	967	42.0
Trasporti stradali	8619	94.8	2989	76.3	20	8.8	177	36.0	148	39.9	1247	54.2
Altre sorgenti mobili	221	2.4	229	5.8	3	1.3	43	8.7	36	9.7	64	2.8
Trattamento rifiuti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agricoltura	-	-	-	-	-	-	131	26.6	74	19.9	-	-
<b>Totale</b>	<b>9095</b>	<b>100</b>	<b>3919</b>	<b>100.0</b>	<b>228</b>	<b>100.0</b>	<b>492</b>	<b>100</b>	<b>371</b>	<b>100</b>	<b>2302</b>	<b>100</b>

Emissioni annue di inquinanti atmosferici sul territorio di Forlì. Fonte ARPA Emilia – Romagna.

I dati forniti dall'ARPA circa le emissioni di inquinanti dell'aria evidenziano l'importante contributo del traffico stradale alle emissioni di monossido di carbonio e ossidi di azoto e, parallelamente, quello del settore industriale al rilascio in atmosfera di ossidi di zolfo, PM10 e COV.

	Ozono		Biossido		PM10		Biossido di		Monossido di	
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
Verde pubblico	2.2	29.2	1.3	33.3	8.8	36.3	0.2	31.3	0.2	28.1
Verde privato	5.4	70.7	2.5	66.7	15.5	63.7	0.4	68.7	0.6	71.9
Totale	7.7	100	3.8	100	24.3	100	0.7	100	0.8	100

Quantitativi di inquinanti atmosferici rimossi dal verde urbano

Ammettendo che gli ossidi di azoto emessi siano dati esclusivamente da biossido di azoto e che quelli dello zolfo siano riconducibili al solo biossido, la rimozione prodotta dalla vegetazione urbana è pari, rispettivamente allo 0.1 e 0.3% del totale emesso.

Per quanto riguarda le polveri fini la capacità di intercettazione raggiunge invece il 6.6% del totale emesso. Per quanto riguarda l'ozono non è possibile, data la particolare natura del composto, fornire indicazioni in merito, mentre per il monossido di carbonio la quota intercettata è del tutto trascurabile.

Nella seconda fase del progetto sono stati analizzati i progetti di carattere urbanistico che l'Amministrazione comunale di Forlì ha già definito nelle linee operative e che intende realizzare nel prossimo futuro. In questo caso è stata stimata la superficie che potrà essere dedicata alla realizzazione di aree verdi, alberature, giardini e quale potrà essere l'impatto che questi interventi potranno avere sulla qualità dell'aria. Sono stati considerati complessivamente 84 interventi, già previsti dal Piano Regolatore Generale, nonché le aree che sono state dedicate ad opere di mitigazione di altri progetti come, ad esempio, la realizzazione della tangenziale.

Di ogni intervento è stata stimato il numero di alberi e arbusti che potranno essere messi a dimora e, adottando criteri prudenziali, è stata valutata la quantità di inquinanti atmosferici rimossi dalla vegetazione. I criteri alla base di questa stima prevedono un impiego equilibrato di specie arboree con elevate capacità di rimozione (70%) e specie meno efficienti il cui impiego tuttavia potrà essere giustificato da motivi estetici o funzionali.

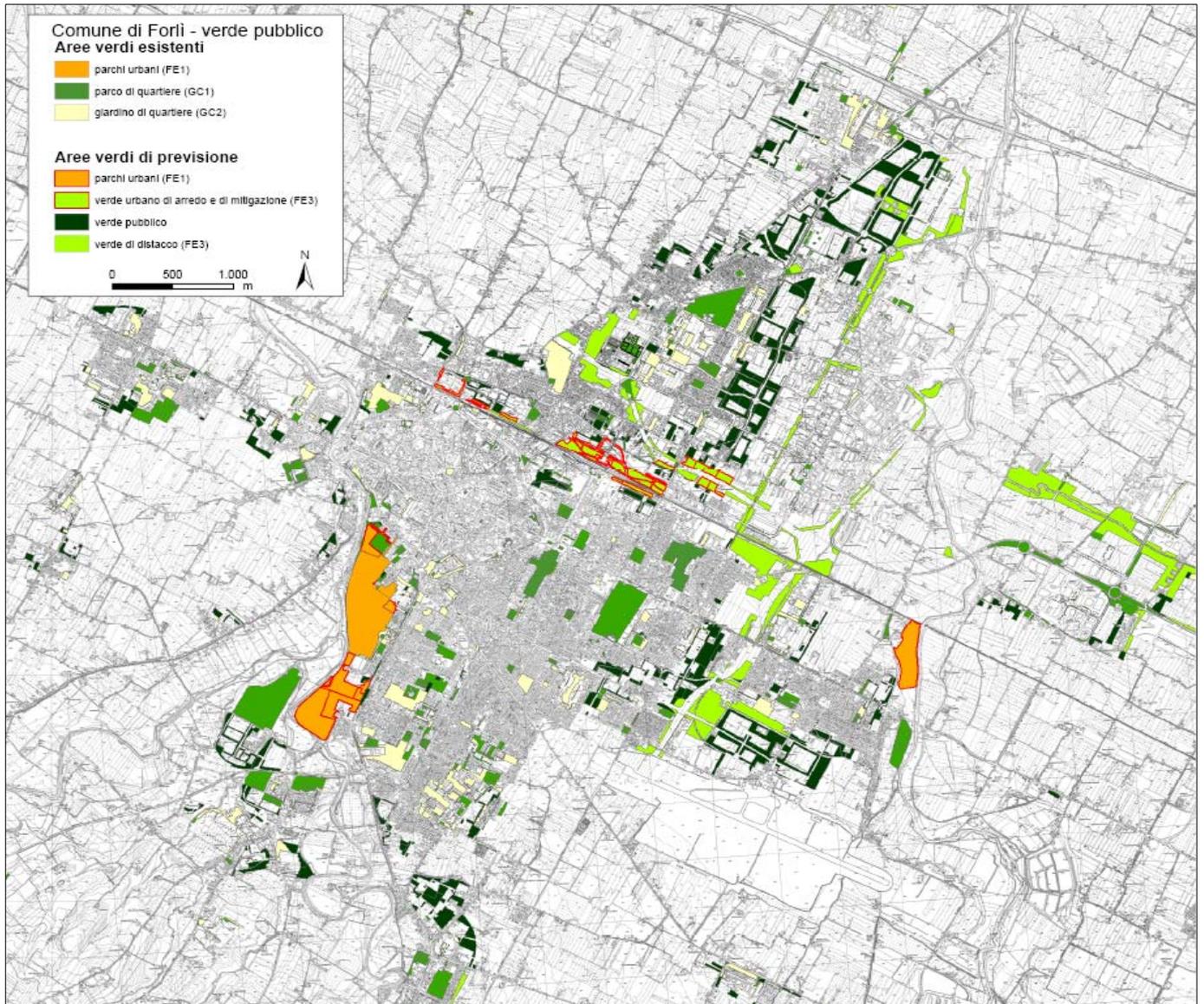
Per ogni individuo è stata considerata l'efficienza delle chiome corrispondente a individui con diametro del fusto, misurato a 1.30 m dal suolo, superiore a 5 cm. Si tratta quindi di alberi ancora giovani, messi a dimora da pochi anni ma ormai affermati. Va però ricordato che con lo sviluppo degli apparati fogliari la capacità di rimozione degli alberi cresce con rapidità.

	Alberi 1 <sup>a</sup> grandezza g/anno	Alberi 2 <sup>a</sup> grandezza g/anno	Arbusti g/anno
PM10	150	75	30
O <sub>3</sub>	100	30	10
NO <sub>2</sub>	30	10	3
SO <sub>2</sub>	4	1.5	0.5

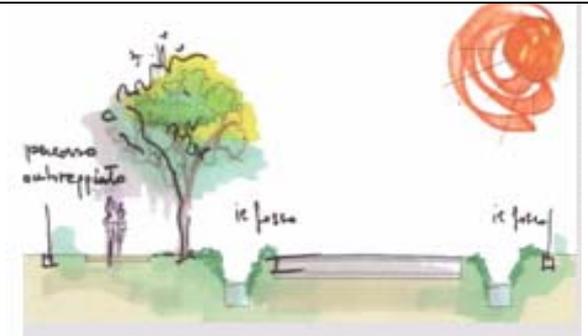
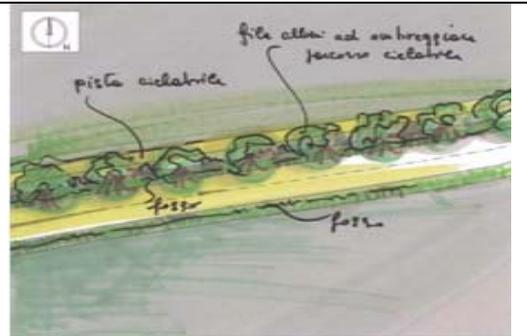
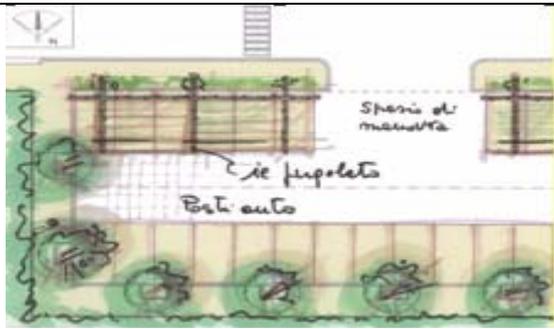
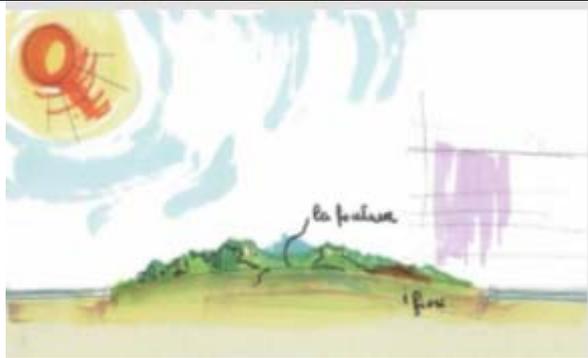
Valori di rimozione di riferimento per la valutazione dei progetti di nuove aree verdi.

Gli obiettivi di rimozione degli inquinanti devono naturalmente tenere conto di numerose altre esigenze e funzioni del verde urbano. Nel caso delle alberature stradali, in particolare, si dovrà considerare la limitatezza degli spazi, il rispetto di condizioni di sicurezza, e la necessità di garantire, oltre al passaggio dei veicoli, spazi adeguati per pedoni e ciclisti.

E' tuttavia evidente che le possibilità di intervento sono numerose: a titolo di esempio è utile ricordare che l'ombreggiamento dei veicoli in sosta mediante alberi o specifiche strutture su cui possa svilupparsi una copertura verde di specie rampicanti riduce significativamente i fenomeni di evaporazione di composti organici volatili dai serbatoi dei veicoli.



Comune di Forlì – Aree verdi esistenti e di previsione

<p>Viali alberati</p>		
<p>Percorsi ciclo-pedonali</p>		
<p>Parcheggi</p>		
<p>Rotatoria alla francese</p>		
<p>Verde di distacco</p>		

Alcune proposte di interventi sul verde urbano

Gli interventi previsti dall'Amministrazione Comunale di Forlì possono determinare, se completamente attuati, un forte incremento della presenza di verde nell'area cittadina. Per poter effettuare delle stime quantitative circa l'incremento di alberi e arbusti si sono adottati i criteri di intervento illustrati nelle Norme Tecniche di Attuazione del P.R.G. e dal Regolamento comunale del verde pubblico e privato. Per le diverse tipologie di intervento è stata prevista la messa a dimora del numero minimo di individui arborei e arbustivi previsti dai due documenti citati nonostante si ritenga possibile e utile che tali soglie vengano incrementate. Le stime sviluppate sono quindi prudenziali. Esse fanno comunque riferimento alla realizzazione di tutti gli interventi programmati, fatto che, ragionevolmente, non potrà avvenire se non in un lasso di tempo piuttosto lungo.

Viene prevista la messa a dimora di complessivi 22 500 alberi e di circa 86 000 arbusti. Ammettendo che le aree considerate siano tutte di carattere pubblico, gli interventi programmati comporteranno un incremento dell'87% del patrimonio arboreo che fa capo all'Amministrazione comunale. Un valore analogo viene stimato per la componente arbustiva. I risultati complessivi evidenziano una rimozione di 4,8 t di PM10, di 2 t di ozono, 0.67 t di biossido di azoto e 94 kg di biossido di zolfo. Si tratta di risultati assai interessanti per quanto riguarda la componente particellare, con un incremento del 54% rispetto alla rimozione da parte del verde pubblico attuale e del 20% se viene considerato tutto il verde presente nell'area urbana.

Per l'ozono l'incremento della rimozione è il più marcato: + 92% se si considera il solo verde pubblico, + 26% rispetto all'azione del verde totale attuale. Per il biossido di azoto e il biossido di zolfo si osservano incrementi del 47% e 13-16%, rispettivamente.

I valori di rimozione di inquinanti atmosferici riportati e gli incrementi che potranno realizzarsi con i nuovi interventi sono rilevanti e rappresentano indubbiamente un importante contributo al miglioramento della qualità dell'aria. E' ragionevole ritenere che nelle aree dove l'aumento del verde urbano sarà più intenso lì potranno registrarsi gli effetti più marcati ed è quindi importante che, a parità di condizioni, priorità venga data a quelle zone dove le attuali concentrazioni di inquinanti sono più elevate. Da recenti indagini condotte sull'ozono si è osservato che la presenza di una copertura arborea ben sviluppata può determinare una differenza delle concentrazioni medie sotto le chiome e lontano da esse che può raggiungere il 30%. Valori analoghi sono probabili per il biossido di azoto e il biossido di zolfo. Si tratta tuttavia di effetti locali a cui non corrisponde una uguale diminuzione dei valori di concentrazione su tutta l'area urbana. Va anzi rimarcato che non è facile prevedere come l'aumentata capacità di rimuovere inquinanti dell'aria da parte delle aree verdi di prossima realizzazione potrà incidere sulle concentrazioni dei diversi composti inquinanti. Una stima di questo genere comporta infatti l'impiego di un modello di dispersione, elaborazione che esula dagli obiettivi dell'indagine.

L'emissione di precursori dell'ozono è legata all'estensione delle aree di intervento e alle specie impiegate. In linea generale l'attenzione sarà posta a limitare l'impiego delle specie con elevato rilascio di VOC nelle ore diurne e, in particolare, di isoprene, il composto considerato più reattivo. La realizzazione di tutti gli interventi pianificati e la messa a dimora di oltre 20 000 alberi e 80 000 arbusti comporteranno un incremento delle emissioni di composti organici volatili. Si tratta in particolare di 0.92 t di COV totali da parte della componente arborea e 1.78 t da parte degli arbusti. Le quasi 3 t di COV totali che ne derivano corrispondono al 25 % delle attuali emissioni di precursori dell'ozono.

Le indagini condotte sia sul verde urbano esistente sia su quello che potrà essere realizzato nel prossimo consentito di individuare una serie di indicazioni e considerazioni che possono essere una sorta di vademecum sul verde pubblico. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che evidenzia una serie di "azioni positive" e i relativi risultati attesi.

Azione	Risultato atteso
Promuovere un incremento del numero alberi e arbusti nell'area urbana	Incremento dell'intercettazione e rimozione di inquinanti
Favorire le specie con elevata superficie fogliare	
Garantire una costante ed efficace manutenzione del verde urbano	Mantenere elevate livelli di efficienza delle specie arboree ed arbustive
Contenere l'impiego delle specie con elevate emissioni di VOC	Riduzione dei picchi di ozono nella stagione calda
Promuovere la protezione degli alberi di grandi dimensioni	Potenziare l'effetto di rimozione degli inquinanti
Favorire l'impiego delle specie più longeve	Mantenere nel tempo elevate tassi di rimozione degli inquinanti
Preferire l'impiego di specie con contenute esigenze di manutenzione e individuare criteri e interventi di manutenzione di lunga durata	Ridurre le emissioni dovute alla manutenzione e contenere gli stress per le piante
Favorire la progettazione di aree verdi con funzione di raffrescamento	Ridurre le emissioni di combustibili fossili e i costi legati al condizionamento dell'aria
Prevedere coperture verdi per le aree destinate a parcheggio di autoveicoli	Riduzione delle emissioni di VOC di serbatoi di carburante
Garantire un'adeguata irrigazione nei periodi di carenza d'acqua	Mantenere un'elevata efficienza di rimozione degli inquinanti nella stagione vegetativa
Prevedere una più elevata copertura arborea nelle aree con le più elevate emissioni di inquinanti atmosferici	Migliorare la qualità dell'aria laddove è più necessario e urgente
Evitare o contenere l'impiego di specie sensibili all'inquinamento dell'aria	Favorire la realizzazione di aree verdi con elevata vitalità
Preferire le specie sempreverdi per il contenimento delle concentrazioni di PM10	Rimozione degli inquinanti particolati anche nella stagione fredda
Programmare controlli fitosanitari e provvedere a tempestivi interventi in caso di infestazione	Mantenere il verde urbano in condizioni di elevata vitalità
Promuovere tutti gli interventi che incrementino la superficie fogliare esposta all'aria ambiente pareti verdi, tetti verdi, giardini privati, rampicanti su spalliere, pergolati, altre coperture verdi	Incrementare la superficie fogliare in grado di rimuovere inquinanti atmosferici
Coinvolgere il pubblico nelle fasi di programmazione degli interventi sul verde urbano Coinvolgere le scuole nelle attività di promozione e manutenzione del verde urbano Promuovere la realizzazione di interventi di verde privato Fornire consulenza e/o informazioni tecniche ai progettisti (architetti, agronomi, periti agrari, ecc.) Promuovere l'informazione e la consapevolezza dell'importanza del verde urbano tra il pubblico Sviluppare accordi con privati quali proprietari di terreni o strutture idonee (capannoni) per promuovere interventi nel settore del verde Predisporre azioni di co-finanziamento per la realizzazione di interventi di particolare rilevanza (ad esempio azioni pilota) Promuovere l'assegnazione di premi e riconoscimenti ad azioni innovative e di elevata efficacia	Sviluppare una maggiore sensibilità e consapevolezza del pubblico verso la tematica e promuovere più numerose e ampie iniziative/azioni nelle aree private residenziali, artigianali e industriali
Documentare l'attività di rimozione degli inquinanti da parte del verde urbano e informare gli altri enti sovraordinati sui risultati	Coinvolgere tutti gli enti pubblici negli sforzi per garantire ai progetti un risultato di alto livello.

# Interventi di mitigazione nell'area di Coriano

La zona di Coriano costituisce la principale area industriale della città di Forlì. Si concentrano qui numerose attività produttive, industriali e artigianali, come pure di movimentazione e stoccaggio delle merci. Queste ultime comportano un notevole impiego di mezzi pesanti. Alle diverse attività corrispondono emissioni di inquinanti atmosferici che fanno sì che le problematiche inerenti la qualità dell'aria costituiscano nell'area di Coriano un'evidente criticità.

Tra le diverse attività di carattere industriale che si svolgono nell'area un particolare significato hanno assunto negli ultimi anni quelle relative allo smaltimento di rifiuti solidi urbani condotte dalla società Hera S.p.A. mediante termovalorizzatore e lo smaltimento di rifiuti ospedalieri da parte della società Mengozzi, anch'esse condotte mediante termovalorizzatore.

Entrambe le società hanno visto crescere la propria attività di raccolta dei rifiuti e conseguentemente è emersa la necessità di un potenziamento degli impianti. Tale richiesta sono state autorizzate e sono in corso di realizzazione nuove strutture destinate allo smaltimento di rifiuti urbani ed ospedalieri. L'ampliamento e il potenziamento degli impianti è stato preceduto da un'approfondita indagine condotta dall'Agenzia Regionale per la protezione dell'Ambiente – ARPA finalizzata a sviluppare un quadro complessivo delle emissioni e delle ricadute di inquinanti atmosferici sull'area di Coriano. L'indagine ha preso in considerazione il quadro emissivo precedente all'ampliamento degli impianti e ha valutato il contributo relativo derivante dal potenziamento delle attività di smaltimento dei rifiuti.

Va tuttavia rilevato che le iniziative descritte si inseriscono in un quadro più generale di crescita delle attività di carattere industriale e artigianali nell'area di Coriano, accompagnate da un trend positivo dei trasporti collegati. L'area di Coriano ha un carattere prevalentemente ma non esclusivamente legato alle attività della produzione e dei servizi, Vi si trovano infatti alcune zone residenziali e abitazioni isolate. Essa è inoltre posta ad una distanza modesta dall'area prettamente urbana di Forlì, tale per cui le emissioni di inquinanti atmosferici possono influenzare direttamente porzioni del territorio comunale più densamente popolate.

Nell'ambito degli iter autorizzativi per il potenziamento degli impianti di smaltimento di rifiuti sono state avanzate da parte delle società Hera e Mengozzi, ipotesi di interventi di mitigazione/compensazione caratterizzate dal recupero e qualificazione ambientale di aree prossime agli impianti o dal ripristino di una copertura arborea in alcune aree comunque afferenti alla zona di Coriano.

L'Amministrazione comunale di Forlì, nell'ambito del Piano energetico ambientale, ha posto tra i propri obiettivi il miglioramento della qualità dell'aria nella zona di Coriano. Innanzitutto è stata sottolineata la necessità di riportare i valori dei principali inquinanti al rispetto degli standard normativi ed in particolare dei valori di riferimento del D.M. 60 del 02/04/2002. Questo scenario è definito "di mitigazione" e si sviluppa su un'ipotesi di realizzazione di aree verdi con estensione e caratteristiche tali da permettere la necessaria intercettazione e rimozione di inquinanti atmosferici.

In una seconda ipotesi di lavoro definita "di miglioramento" è stato posto l'obiettivo di ridurre ulteriormente, di circa il 20%, le concentrazioni di inquinanti nell'aria ambiente previste dalla norma citata come limite da non valicare ai fini della protezione della salute umana e dell'ambiente.

Sono state innanzitutto valutate diverse ipotesi di intervento proposte da Hera quale compensazione delle emissioni dei nuovi impianti di trattamento dei rifiuti. L'ipotesi che lo studio porta a privilegiare è quella che prevede un intervento di piantumazione su più aree poste lungo la via Ruggero II. Nonostante si tratti dell'area meno estesa fra quelle considerate nelle diverse ipotesi, essa risulta essere quella più interessante in quanto in grado di svolgere una funzione di cuscinetto tra l'area industriale e quella residenziale.

Ulteriori interventi ipotizzati per l'area di Coriano riguardano lo sviluppo di nuove alberature stradali e l'integrazione di quelle esistenti per alcuni tratti. L'impianto di 850 – 1000 alberi potrebbe fornire un contributo di rimozione pari a 0.22 t di PM<sub>10</sub>, 0.03 t di NO<sub>2</sub> e 0.005 t di SO<sub>2</sub>. In aggiunta potrebbero essere individuati un certo numero spazi di 1000 – 2000 mq sui quali realizzare piccole aree alberate con funzione di mitigazione dell'inquinamento dell'aria.

Poiché la disponibilità di spazi di intervento nell'area più prettamente industriale di Coriano sono modesti si ritiene vada considerata l'ipotesi di sviluppare interventi di verde pensile (vertical e orizzontale). Pareti e tetti verdi rappresentano due tipologie di interventi di realizzazione del verde piuttosto recenti anche se il concetto di tetto verde fa riferimento ai giardini pensili la cui realizzazione è documentata fin dall'antichità.

L'elemento innovativo consiste nell'ipotizzare che tetti verdi e, in minor misura, pareti verdi vengano realizzate in un'area industriale/artigianale ponendo tra gli obiettivi prioritari la rimozione di inquinanti dall'aria ambiente. A tal fine è possibile operare immaginando interventi di natura estensiva o intensiva. I primi sono caratterizzati dalla realizzazione di manti vegetali poco esigenti e quindi semplici e scarsamente articolati, con spessori dello strato di supporto alla vegetazione modesto e conseguentemente con modesti carichi unitari sulle strutture. I secondi sono indicati su edifici caratterizzati da una capacità di carico maggiore ed,

eventualmente, da esigenze di raffrescamento che potranno, almeno in parte, essere soddisfatte dall'effetto isolante della copertura verde.

Poiché questo tipo intervento ha un carattere decisamente innovativo e può risultare interessante anche per le funzioni di mitigazione dell'inquinamento dell'aria se ne illustrano di seguito le principali caratteristiche tecniche e realizzative, Con il termine verde pensile, tetti verdi o pareti verdi si intendono, quelle che tecnicamente vengono chiamate "coperture a verde", ossia rivestimenti degli edifici realizzati con diverse tipologie di colture.

Le coperture svolgono contemporaneamente più ruoli: oltre a rispondere ad una funzione estetica, aumentando la superficie a verde nelle città e abbellendo gli edifici, esse possono svolgere anche una funzione di isolante acustico e termico (mitigando gli estremi climatici e consentendo quindi un risparmio in termini di energia per il raffrescamento/riscaldamento degli edifici) e una funzione di "mitigazione" ambientale ed inserimento paesaggistico delle strutture.

La valenza ambientale, architettonica e di arredo, anche a livello urbano delle coperture a verde è molto elevata e sempre più apprezzata e valorizzata. Edifici privati e pubblici, ma soprattutto grosse strutture come capannoni industriali, uffici e centri commerciali si prestano in modo particolare a queste soluzioni. Le periferie e le zone industriali urbane potrebbero quindi acquisire un aspetto estetico diverso e integrarsi maggiormente con il contesto. Di seguito vengono riportate due simulazioni relative a edifici per attività industriali di Coriano.



Realizzazione di e interventi di verde pensile intensivo su due edifici adibiti ad attività artigianali di Coriano.

L'area di Coriano offre ulteriori possibilità di intervento a cui si accenna qui come ipotesi di lavoro. Tra queste la sistemazione dello Scolo Cerchie con la realizzazione di una pista ciclabile, con un ampio inserimento di specie arboree ed arbustive, che rappresenti un primo tratto del collegamento tra la stazione FF.SS e le aziende di Coriano.

Altri interventi possono essere ipotizzati in aree a parcheggio che potrebbero essere oggetto di risistemazioni mirate ad incrementare la disponibilità di aree verdi.

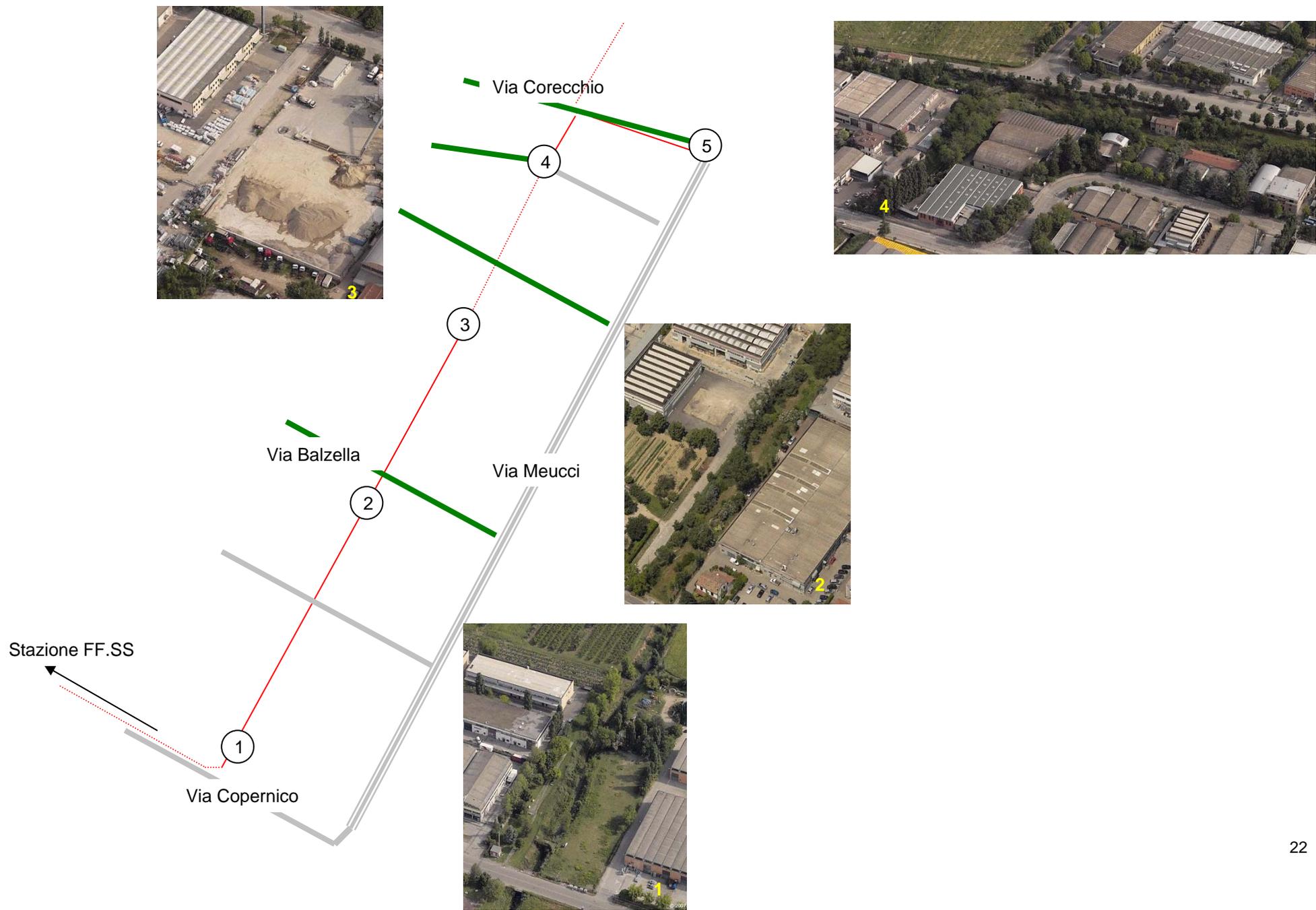


**Sistemazione dello Scolo Cerchie e realizzazione di un percorso ciclabile di collegamento**

Il percorso mira a collegare l'area industriale/artigianale di Coriano con la Stazione FF.SS. Il tratto di percorso che viene proposto si sviluppa lungo lo Scolo Cerchie ma potrà estendersi ulteriormente verso nord (via Costanzo II) e verso est (via Correcchio).

L'intervento intende offrire la possibilità ai pendolari che utilizzano il treno di poter raggiungere dalla stazione i luoghi di lavoro in bicicletta. La sistemazione dell'alveo, già avviata per un breve tratto si configura inoltre come una necessaria opera di recupero ambientale.







Recupero dello Scolo Cerchie: ipotesi di risistemazione della tratta più a sud (Via Copernico – Via Balzella)



Ipotesi di sistemazione a verde del parcheggio di via G. Borelli e integrazione del verde esistente in via Meucci.



Sistemazioni a verde delle aree prospicienti la tangenziale e integrazione delle alberature stradali in via Meucci.

# Conclusioni

L'indagine realizzata ha consentito di affrontare numerose tematiche inerenti il verde urbano e, in particolare, di evidenziare le dimensioni e la rilevanza dei meccanismi di intercettazione e rimozione degli inquinanti atmosferici dall'aria ambiente da parte di alberi e arbusti.

Questi meccanismi giocano indubbiamente un ruolo importante sulla qualità dell'aria a scala locale (un viale, un parco urbano, ecc) ma l'efficienza complessiva, per quanto attiene i composti gassosi, è limitata se messa a confronto con i quantitativi emessi.

Diverso è il caso dell'intercettazione di PM10 che a Forlì raggiunge valori assoluti importanti. Rispetto alle emissioni di PM10 a livello comunale la percentuale di particolato bloccato (6.6%) e rimosso dalle foglie degli alberi è altrettanto rilevante.

Un aumento significativo dell'intercettazione di PM10 può venire, come rilevato dalle elaborazioni condotte, dalla realizzazione di interventi volti ad ampliare il verde urbano esistente e già programmati dall'Amministrazione. Essendo l'inquinamento da polveri una delle criticità ambientali della città il risultato offerto dall'elaborazione modellistica conferma quindi la bontà della scelta di intervenire per un ampliamento delle aree verdi. Non solo le informazioni raccolte possono indirizzare le scelte progettuali per nuove aree verdi verso interventi di maggiore efficienza della rimozione.

Va osservato inoltre che i benefici prodotti da un ricco patrimonio in verde urbano sono molteplici e rendono gli interventi di ampliamento del verde urbano di indubbio ritorno per qualità della vita, protezione della salute umana, vivibilità complessiva della città ed altro.

E' evidente tuttavia che nelle aree urbane ad elevata densità di insediamenti gli spazi disponibili sono limitati. Ciò impone quindi di operare "al meglio" sugli spazi disponibili e, quindi, di recuperare aree in abbandono, marginali o "trascurate" che possano ospitare nuova vegetazione e servizi con questa connessi. E' questo il caso delle aree a parcheggio, dei percorsi ciclopedonali o dello Scolo Cerchie esaminati a Forlì.

In secondo luogo può essere utile approfondire ipotesi innovative come la realizzazione di tetti e pareti verdi, approccio promettente per dedicare nuove superfici al verde urbano. Queste realizzazioni richiedono tuttavia la messa a punto di strumenti di indirizzo (manuali, linee guida, ecc.) adatti ai diversi ambienti in cui si intende operare.

Lo studio condotto sul territorio urbano del Comune di Forlì si inserisce in un contesto di forte interesse per il tema del verde urbano e per gli strumenti di analisi e valutazione delle ipotesi progettuali. Da questo punto di vista il modello UFORE, che ha rappresentato qui lo strumento di riferimento per analizzare ipotesi di intervento e possibili effetti sulla qualità dell'aria, si è dimostrato un interessante ausilio che dovrebbe trovare diffusione nelle Amministrazioni quale supporto alle decisioni sugli interventi sul verde urbano.

# Bibliografia di riferimento

- American Forest, 2005. Urban Ecosystem Analysis. Calculating the Value of Nature. City of Jacksonville, Florida. [http://www.americanforests.org/downloads/rea/AF\\_Jacksonville.pdf](http://www.americanforests.org/downloads/rea/AF_Jacksonville.pdf)
- Baldocchi D. D., 1988. A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmospheric Environment*. 22: 869-884.
- Baldocchi D. D., Hicks B.B., Camara P., 1987. A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*. 21: 91-101.
- Bassuk, N., Grabosky, J. and P., Trowbridge .2005. Using CU-Structural Soil™ in the Urban Environment. <http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/pdfs/custructuralsoilwebpdf.pdf>
- Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H. and Taylor, G. (1998) Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99: 347-360.
- Broadmeadow, M., Beckett, K. P., Jackson, S., Freer-Smith, P. H. and Taylor, G. 1998. Trees and pollution abatement. Forestry Commission Research Report 1998.
- Cappiella K., Schueler T., Wright T., 2005. Urban Watershed Forestry Manual. Part 1: Methods for Increasing Forest Cover in a Watershed. Sec2: 11 Center for Watershed Protection. Viewed December 22, 2005
- Carter W.P.L., 1994 Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. *J. Air & Waste Management Association*, 44: 881-889.
- Celestian, S. B., and Martin, C. A., 2005. Effects of Parking Lot Location on Size and Physiology of Four Southwestern U.S. Landscape Trees. *Journal of Arboriculture* 31: 191-197.
- Chow, J. C., Watson, J. G. and Lowenthal, D. H. (1996) Sources and chemistry of PM10 aerosol in Santa Barbara County, CA. *Atmospheric Environment* 30(9), 1489-1499.
- Comune di Forlì, 2006. Primo rapporto sullo stato dell'ambiente. Anno 2006. Comune di Forlì, Settore ambiente, pp.222
- Clark, C., , Peter Adriaens P., F. Brian Talbot, 2005. Green Roof Valuation: A Probabilistic Economic Analysis of Environmental Benefits University of Michigan.
- Clark, C., B. Talbot, J. Bulkley, and P. Adriaens. 2005. Optimization of green roofs for air pollution mitigation. p. 482-597. In Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.
- Comune di Forlì, Servizio Ambiente, 2006. Piano Energetico Ambientale. Realizzato da: Agenzia per l'Energia e lo Sviluppo Sostenibile della Provincia di Forlì-Cesena, pp. 246.
- Comune di Forlì, 2007. Enhance Health – Sistema di sorveglianza ambientale e sanitaria in aree urbane in prossimità di impianti di incenerimento e complessi industriali. Programma Interreg IIC zona Est, n. 2E00401, Linee guida – Gennaio 2004/Marzo 2007.
- Ontario Ministry of the Environment. Air Quality in Ontario 2002 & 2003 Report Environmental Monitoring and Reporting Branch of the Ontario Ministry of the Environment. <http://www.ene.gov.on.ca/envision/techdocs/4521e01.pdf>
- Currie, B.A., B. Bass. 2005. Estimates of air pollution with green plants and green roofs using the UFORE model. p. 265-276. In Proc. World Green Roof Congress/ Welt Gründach - Kongress, 15-16. September, 2005. Basel, Switzerland.
- Currie, B.A. and B. Bass. 2005. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. p. 495-511. In Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.
- Dwyer, J.F., E.G. McPherson, H.W. Schroeder and R.A. Rowntree. 1992. Assessing the benefits and costs of the urban forest. *Journal of Arboriculture* 18(5): 227-234.
- Freer-Smith P. H., Holloway, S. and Goodman, A., 1997 The uptake of particulates by an urban woodland: site description and particulate composition. *Environmental Pollution* 95(1), 27-35.
- Impens R. A., Delcarte, E. (1979) Survey of urban trees in Brussels, Belgium. *Journal of Arboriculture* 5:169-176.
- Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications* 4:629-650.
- Kenney, W.A. & Associates. 2001. The Environmental Role of Midtown Toronto's Urban Forest. ON ENV (99) 4691.
- McPherson and Simpson, 1999, Carbon Dioxide Reduction Through Urban Forestry: Guidelines for Professional and Volunteer Tree Planters
- Smith, 1981, Air pollution and Forests: interactions between Air Contaminants and Forest Ecosystems.
- McPherson, G. 2003. A benefit-cost analysis of ten street tree species. *Journal of Arboriculture* 29, January 2003
- Ministero dell'Ambiente, 2001. Relazione sullo Stato dell'Ambiente L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO E I CAMBIAMENTI CLIMATICI, Roma, pp.518.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Hoehn, R.E and Stevens, J.C. Unpublished. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Nowak, D. J. 1995. The Effects of Urban Trees on Air Quality. <http://www.coloradotrees.org/> Viewed September 19, 2005
- Nowak, D.J.; Rowntree, R.A.; McPherson, E.G.; Sisinni, S.M.; Kerkmann, E.; Stevens, J.C. 1996. Measuring and analyzing urban tree cover. *Landscape and Urban Planning*. 36: 49-57.
- Nowak D. et al., 2000, Brooklyn's Urban Forest, United States Department of Agriculture Forest Service.
- Nowak D.J., Crane D.E. 2000. The urban forest effects (UFORE) model: quantifying urban forest structure and functions. Hansen, Mark; Burk, Thomas, eds. In: Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century: proceedings of the IUFRO conference; 1998 August 16-20; Boise, ID. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, pp. 714-720.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Walton, J. T., Twardus, D. B., and Dwyer J. F., 2005. Understanding and Quantifying Urban Forest Structure, Functions, and Value. USDA Forest Service. Viewed November 3 2005.
- Nowak D.J., Crane D.E., Stevens, J.C., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 4: 115-123.

- Regione Lombardia, Politecnico di Milano, Linee guida per la valutazione degli impatti delle grandi infrastrutture sul sistema rurale e per la realizzazione di proposte di interventi di compensazione - Val.Te.R. - VALorizzazione del Territorio Rurale. [http://www.agricoltura.regione.lombardia.it/admin/rla\\_Documenti/1352/valter\\_dic2006\\_completo.pdf](http://www.agricoltura.regione.lombardia.it/admin/rla_Documenti/1352/valter_dic2006_completo.pdf)
- Scott K.I., Mc Opherson E.G., Simpson J.R., 1998. Air pollutant uptake by Sacramento's Urban forest. *J. of Arboriculture* 24: 224-234.
- Scott, K.I., Simpson, J.R., and E.G. McPherson. 1999. Effects of Tree Cover on Parking Lot Microclimate and Evaporative Hydrocarbon Emissions from Parked Vehicles. [http://www.fs.fed.us/psw/programs/cufr/products/11/cufr\\_68.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/programs/cufr/products/11/cufr_68.pdf)
- Tan, P.Y., N.H. Wong, Y. Chen, C.L. Ong, and A. Sia. 2003. Thermal benefits of rooftop gardens in Singapore. p. 283-291. In Proc. of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago. 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Trowbridge, J.P. and Nina L. Bassuk. 2004. *Trees in the urban landscape. Site Assessment, Design, and Installation*. John Wiley & Sons, Inc.
- Vilela Lozano J., 2004. Distribución del arbolado urbano en la ciudad de Fuenlabrada y su contribución a la calidad del aire. *Ciudad y territorio - Estudios Territoriales* 140:419-427.
- Wu Z., Wu W., Gao J., Zhang S., 2002. Analysis of urban forest landscape pattern in Hefei. *The Journal of Applied Ecology* 12: 2117 - 2122.