

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO****EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

Attualmente, quattro europei su cinque abitano in aree urbane e la loro qualità di vita dipende direttamente dallo stato dell'ambiente nelle città.

Le città sono luoghi altamente artificiali e antropizzati e, al loro interno, la qualità dell'aria risulta estremamente alterata. Sebbene anche l'alterazione del livello di luce e rumore siano forme di inquinamento urbano, i principali inquinanti chimici dell'aria, per l'impatto che hanno sulla salute umana, sono l'ozono (O_3), il biossido di zolfo o anidride solforosa (SO_2), gli ossidi di azoto (NO_x), le polveri sottili (PM_{10}), il monossido di carbonio (CO) e l'anidride carbonica (CO_2).

La vegetazione urbana può significativamente influenzare la qualità dell'ambiente e della vita in città: oltre alle note funzioni estetiche e ricreative, è scientificamente dimostrato che il verde urbano contribuisce a mitigare l'inquinamento delle varie matrici ambientali (aria, acqua, suolo), migliora il microclima delle città e contribuisce alla conservazione della biodiversità. Gli alberi in città si trovano di fronte a una serie di avversità e un'approfondita conoscenza di come gli alberi urbani interagiscono con gli inquinanti (la vegetazione può essere utilizzata come "bioindicatore" o come "remouver") può quindi fornire informazioni utili per la pianificazione e la gestione del verde urbano e consentire di sfruttare al meglio i potenziali benefici per la salute e l'igiene delle comunità urbane.

Benefici relativi alla mitigazione dell'inquinamento

- Miglioramento degli estremi climatici e mitigazione delle isole di calore
- Stoccaggio e sequestro di carbonio
- Riduzione dell'inquinamento acustico

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO**

- Miglioramento della qualità dell'aria
- Miglioramento della qualità dell'acqua
- Riduzione della temperatura delle auto parcheggiate
- Riduzione del consumo di elettricità per riscaldamento e raffreddamento

Altri benefici

- Contributo estetico e amenità visiva
- Valorizzazione architetture degli edifici
- Aumento del valore della proprietà
- Aumento della privacy, barriere contro viste spiacevoli o stressanti
- Controllo del riverbero urbano
- Miglioramento della vivibilità e della qualità della vita in città
- Aumento del turismo
- Aumento di opportunità per le attività ricreative *outdoor*
- Contributo alla salute umana, riduzione dello stress e del livello di ansietà
- Attrazione per avifauna e altri animali selvatici

Le foreste urbane influenzano il clima attraverso la riduzione degli estremi termici (raffreddamento dell'aria e alleviamento delle isole di calore) (Akbari e Konopacki 2005; Huang et al. 1987, 1990; McPherson 1991a; McPherson et al. 1988; Rosenfeld et al. 1995, 1998; Taha 1997), a causa principalmente dell'ombreggiamento diretto e del processo di evapotraspirazione (Oke 1989).

Gli alberi urbani possono tuttavia avere anche un effetto negativo sulla qualità dell'aria ed essere essi stessi una fonte di inquinanti attraverso: l'emissione di composti organici volatili

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

di origine biologica che contribuiscono alla formazione di ozono (Benjamin e Winer 1998); indirettamente attraverso l'aumento dell'emissione di inquinanti associato alla manutenzione delle piante (uso di motoseghe, cippatrici, camion). Anche la produzione di pollini dagli alberi è una fonte di pulviscolo che può avere seri effetti negativi sulla salute delle persone allergiche (Beckett et al. 1998).

Principali inquinanti in ambiente urbano

Vengono di seguito descritti brevemente i principali inquinanti gassosi in ambiente urbano, sorvolando sugli aspetti, sempre deleteri, che questi hanno sulla salute delle piante (in quanto non sono argomento di queste linee guida), cercando invece di porre maggiore attenzione ai benefici che le piante, soprattutto gli alberi, sono in grado di apportare alla qualità dell'aria.

Ozono troposferico

L'ozono (O_3) troposferico è l'inquinante più diffuso e dannoso nei paesi industrializzati e la sua presenza è costantemente in aumento, specialmente nei Paesi in via di sviluppo.

Nella bassa atmosfera, l' O_3 si forma normalmente in presenza di ossigeno (O_2) e luce, ma degrada velocemente tornando ad ossigeno; la presenza di altri inquinanti atmosferici, specialmente ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili (VOC), altera il bilancio di questa reazione e ne favorisce la formazione.

Ossidi di zolfo e di azoto

Gli ossidi di zolfo (SO_2) e di azoto (NO_x) vengono emessi durante la combustione dei combustibili fossili e le massime concentrazioni si registrano lungo le strade altamente

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

frequentate, essendo il traffico la fonte principale. Negli ultimi anni tuttavia, l'uso di combustibili a basso livello di zolfo, la costruzione di alte ciminiere che disperdano l'inquinamento e l'impiego di filtri per i gas di scarico hanno contribuito a ridurre le emissioni dannose.

L' SO_2 e gli NO_x non sono tossici nella forma gassosa o di polvere fin quando sono trasformati in solfato e nitrato che causano però l'acidificazione del terreno, mentre gli NO_x entrano a far parte anche del processo di eutrofizzazione e nello smog fotochimico.

Polveri

Le polveri atmosferiche o '*particulate matter*' (PM) sono classificate in base al diametro in micron (es. PM_{10}). Le polveri più grossolane si originano a seguito di combustioni incontrollate e per processi meccanici di erosione e disgregazione dei suoli (e includono pollini e spore), mentre le polveri fini derivano dalle emissioni prodotte dal traffico veicolare, dalle attività industriali, dagli impianti di produzione di energia.

Oltre ai composti di azoto e zolfo sopra citati, le polveri includono anche i 'metalli pesanti' quali piombo (Pb), rame (Cu), cadmio (Cd), nickel (Ni), platino (Pt), zinco (Zn), mercurio (Hg) e arsenico (As). I primi tre possono trovarsi sia nelle polveri che nelle precipitazioni, mentre gli altri quattro cadono al suolo principalmente attraverso le precipitazioni.

Anidride carbonica

La concentrazione media di anidride carbonica nell'atmosfera è passata dai 280 ppm (parti per milione) dell'era pre-industriale ai 390 ppm degli ultimi anni. L'urbanizzazione è una delle maggiori cause dei cambiamenti climatici e delle alterazioni del ciclo del carbonio. Le emissioni di anidride carbonica, derivanti dalla combustione di combustibili fossili per la produzione di energia e dal settore dei trasporti, sono strettamente correlate all'ampiezza e alla distribuzione delle aree urbane e sono in costante aumento.

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO****Effetti della foresta urbana sulla qualità dell'aria****Riduzione dell'inquinamento**

Gli alberi in città influenzano l'inquinamento dell'aria attraverso due importanti processi:

- direttamente, attraverso la deposizione secca con la quale gli inquinanti atmosferici (sia gassosi che particellari) possono essere rimossi dall'aria. La vegetazione può ridurre le quantità di polveri dall'aria sia intrappolandole sulla superficie fogliare, sia direzionandole al terreno durante la pioggia. I gas vengono invece assorbiti a livello stomatico e, una volta dentro le foglie, si diffondono negli spazi intercellulari per formare altri composti o reagire con le superfici interne della foglia (Smith 1984, 1990). La deposizione di inquinanti è maggiore sulle piante arboree rispetto alla vegetazione arbustiva ed erbacea (Fowler et al. 1989) in quanto dotate di una maggiore area fogliare.
- indirettamente, attraverso il raffreddamento della temperatura dell'ambiente e quindi il rallentamento del processo di formazione dello smog (Akbari 2002). Le piante possono ridurre la temperatura dell'aria attraverso l'ombreggiamento diretto e l'evapotraspirazione, riducendo così, in estate, le emissioni di inquinanti che derivano dal processo di generazione dell'energia necessaria per raffreddare l'aria (es. condizionatori). Inoltre, ridotte temperature possono rallentare le reazioni chimiche che producono inquinanti secondari (Taha 1996; Nowak et al. 2000).

I valori di rimozione dell'inquinamento, per ogni inquinante, variano tra le città a seconda del valore della copertura arborea, della concentrazione dell'inquinante, della lunghezza della stagione vegetativa (più lunga è la stagione, maggiore è la rimozione), della quantità delle

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

precipitazioni e di altre variabili meteorologiche che influenzano la traspirazione e la velocità di deposizione (Nowak et al. 2006), nonché in base allo stato di salute e alla dimensione degli alberi.

Ozono

Gli alberi emettono composti organici volatili (VOC), soprattutto isoprenoidi (isoprene e monoterpeni) che possono contribuire ai problemi inerenti la qualità dell'aria, inclusa la formazione di O₃ (Chameides et al. 1988).

Molti VOC possono essere piuttosto reattivi alle condizioni atmosferiche, con una “vita chimica” che varia da qualche minuto ad alcune ore. Isoprene e monoterpeni, in particolare, come i loro prodotti di reazione, sono coinvolti nella chimica della troposfera alimentando (direttamente o indirettamente) la produzione di inquinanti atmosferici o di gas serra, come l'O₃, il monossido di carbonio (CO) e il metano (CH₄), e incrementando l'acidità e la produzione di aerosol (Kesselmeier e Staudt 1999).

Gli isoprenoidi sono prodotti dalle piante in quanto implicati nella protezione delle membrane contro lo stress ossidativo provocato dall'O₃ (Loreto et al. 2001), dalla siccità (Sharkey e Loreto 1993) e dalle elevate temperature (Loreto e Sharkey 1990). Le piante possono rilasciare sotto forma di VOC dal 2 al 10% del carbonio fissato con la fotosintesi. Sebbene quantitativamente le emissioni di idrocarburi di origine biologica, nelle aree urbane, siano minimi o insignificanti rispetto agli idrocarburi di origine antropogenica, l'alta reattività degli idrocarburi biogenici, stimata essere 2-3 volte superiore a quella degli idrocarburi derivanti dalla combustione della benzina (Carter 1994), aumenta il loro contributo relativo alla formazione di ozono.

Cardelino e Chameides (1990) hanno trovato che una diminuzione del 20% della superficie forestata può condurre a un aumento della concentrazione di O₃ del 14% e che l'aumento della temperatura dell'aria, concomitante alla perdita di alberi, ha fatto aumentare l'emissione di VOC da parte delle piante rimanenti e dalle fonti antropogeniche. Secondo

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

Taha (1996) le specie che emettono in un'ora approssimativamente più di $2 \mu\text{g g}^{-1}$ di isoprene o $1 \mu\text{g g}^{-1}$ di monoterpeni, non dovrebbero essere introdotte in città in grossa quantità perché peggiorerebbero il livello di O_3 nell'aria.

Polveri

L'effetto benefico degli alberi sulla qualità dell'aria, attraverso la cattura delle polveri, è ampiamente documentato in letteratura ed è spesso citato come uno dei maggiori benefici dell'impianto di alberi in città (Beckett et al. 1998, 2000a, 2000b).

Le polveri vengono rimosse dall'atmosfera quando entrano in contatto con una superficie attraverso i processi di sedimentazione, diffusione, turbolenza, dilavamento e deposizione occulta.

La quantificazione dei benefici degli alberi urbani, nel rimuovere l'inquinamento da polveri, è stata effettuata da McPherson et al. (1994) per la città di Chicago, dove gli alberi hanno rimosso all'incirca 234 tonnellate di PM_{10} , provocando un miglioramento, della media oraria della qualità dell'aria, dello 0.4%. Similmente, Nowak et al. (1997) hanno stimato che gli alberi della città di Filadelfia hanno migliorato la qualità dell'aria dello 0.72% per quanto riguarda la riduzione di polveri fini.

Anidride carbonica

Gli alberi sequestrano CO_2 presente nell'atmosfera e la fissano nei loro tessuti con un tasso variabile in base a parametri quali la dimensione a maturità, la longevità e il tasso di accrescimento (Nowak et al. 2002d). Gli alberi più grandi hanno un'area fogliare maggiore per intrappolare gli inquinanti e tendono ad estrarre più anidride carbonica dall'atmosfera Wee (1999). Da calcoli effettuati da Akbari (2002) è risultata una media di rimozione di CO_2 di circa 4.6 kg all'anno sulla vita di un albero fino all'ampiezza della chioma di 50 m^2 . Quando l'albero cresce, il tasso di sequestro del carbonio aumenta fino ad 11 kg all'anno (oltre i 50

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

m² di chioma). Johnson e Gerhold (2001) hanno calcolato, invece, che la quantità di carbonio immagazzinata negli alberi urbani, escludendo foglie e radici, varia da 2.1 kg in alberi piccoli, a 37.5 kg negli alberi più grandi. Secondo le stime di Rosenfeld et al. (1998) gli stessi alberi eviterebbero inoltre la combustione di altri 18 kg di carbonio per albero all'anno, grazie all'azione indiretta sul riscaldamento/raffreddamento degli edifici. Molti studi, infatti, hanno evidenziato una netta diminuzione nell'uso energetico e relativa diminuzione nelle emissioni di anidride carbonica grazie agli alberi piantati vicino agli edifici (Akbari 2002; Akbari e Konopacki 2005; Akbari et al. 1989, 1992, 1993, 1997, 1999; Akbari e Taha 1992; Huang et al. 1990; McPherson et al. 1994) con risparmi energetici stagionali dal 30% al 50%.

L'utilizzo sia di piante sempreverdi che decidue, durante la stagione più calda, può contribuire a ridurre i costi per il raffreddamento attraverso l'ombreggiatura e l'evapotraspirazione. Gli alberi sempreverdi possono inoltre ridurre la necessità di riscaldamento durante l'inverno poichè bloccano i venti, anche se tale effetto benefico può essere in parte sminuito da un eccessivo ombreggiamento del sole (Brack 2002).

Scelta delle migliori specie arboree per la città ed indirizzi di gestione forestale

Gli alberi in ambiente urbano sono soggetti a numerosi stress che differiscono da quelli a cui sono soggette le piante in ambiente rurale (Saebo et al. 2003). Il processo di selezione delle specie per l'impiego in ambiente urbano deve considerare inoltre non solo i limiti di natura ambientale (insetti, malattie, clima, microclima e suolo) ma anche i fattori culturali, estetici ed economici. Mentre le caratteristiche delle piante principalmente studiate e conosciute riguardano l'adattamento alle condizioni climatiche, la resistenza alle malattie e la loro plasticità fenotipica, quelle che sono legate alle situazioni urbane riguardano gli stress

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

causati da fattori sociali, dallo spazio di suolo e aereo limitati, dall'inquinamento del suolo e dell'aria, dalla carenza di macro- e micro-elementi nutrizionali, dal vento e dalla siccità (Miller 1997). In più, anche i fattori estetici, il potenziale e la forma di crescita, e la resistenza alla rottura dei rami sono importanti criteri nella selezione. La priorità di scelta tra tutti questi fattori dipende dall'ambiente in cui le piante devono essere collocate.

Rispetto all'inquinamento atmosferico, i principali parametri da considerare per la scelta delle specie sono: le fonti principali di inquinanti; i fattori meteorologici quali la direzione del vento e le precipitazioni; gli scopi della strategia di riduzione dell'inquinamento; nonché proprio in funzione di quest'ultima, l'età e le dimensioni raggiungibili dalle singole specie.

Nessuna specie si può considerare assolutamente resistente all'inquinamento. La resistenza è sempre relativa e dipende da: il tipo di inquinante, la sua concentrazione e la durata dell'esposizione (dose); la fase di sviluppo della pianta (età, stagione, condizioni generali di salute), e l'età fisiologica delle foglie; le condizioni di crescita (suolo, clima, elementi nutrizionali); la locazione (distanza dal suolo, schermatura da parte di edifici o piante).

Esistono liste che elencano le piante in base alla loro resistenza agli inquinanti (es. Bernatzky 1978; Flager 1998), anche se molte indagini sono state condotte in condizioni di laboratorio (esposizione ad alta concentrazione dell'inquinante per un breve periodo e in condizioni ottimali di nutrienti, acqua, luce e temperatura)..

In questo contesto si è volutamente fatto a meno di fornire liste o classifiche di specie per evitare integralismi e considerazioni basate esclusivamente su di un singolo fattore come la tolleranza o la capacità di rimozione di un inquinante o l'idoneità maggiore o minore ad un determinato ambiente inquinato.

In queste linee guida sono fornite indicazioni più generali che, da una parte, devono invitare ad uno studio approfondito a tutto tondo del 'sistema' pianta-luogo d'impianto, e dall'altra forniscono comunque delle indicazioni, anche se generiche, come alcune

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO**

macrocaratteristiche comuni a più specie che sono favorevoli a mitigare gli effetti di uno o più inquinanti atmosferici.

Per informazioni ed approfondimenti sulle singole specie si rimanda e si invita a consultare i risultati dell'azione 2 del progetto.

Riguardo alla riduzione dell'O₃:

- specie “a bassa emissione” di VOC, possono essere una valida strategia per contribuire a ridurre i livelli di O₃ in città (vedere schede per specie nell'Azione 2).

Relativamente alla fissazione della CO₂:

- piantare specie longeve;
- a basso mantenimento;
- a crescita medio-veloce,
- che siano grandi a maturità;
- praticare cure colturali che aumentano la longevità e la sopravvivenza delle specie;
- minimizzare l'uso di combustibile fossile per la gestione del verde;
- utilizzare il legno degli alberi eliminati per diminuire la richiesta di energia da altre fonti;

Riguardo alla riduzione dei consumi di energia:

- nei climi caldi usare piante decidue che ombreggiano gli edifici (risparmio di energia per il raffreddamento);
- nei climi freddi, le piante sempreverdi riparano gli edifici dai venti freddi (risparmio di energia per il riscaldamento).

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO**

- a livello gestionale, un fattore che riduce la capacità di rimuovere l'inquinamento sono le intense potature; sono quindi da evitare specie che necessitano di tale pratica.

Riguardo la rimozione di polveri:

- l'efficacia aumenta se le foglie e la corteccia sono ruvide, appiccicose, pelose, resinose o squamose;
- specie con foglie molto lisce e cerosi sono poco efficienti;
- le foglie piccole o strette sono molto più efficienti di quelle larghe;
- a livello di chioma sono più efficienti specie a struttura più sottile e più complessa del fogliame e dei rametti;
- le conifere sono più efficienti delle latifoglie;
- una o più file di alberi hanno una capacità di filtrare l'aria dalle polveri maggiore di un individuo isolato;
- frangivento efficienti per la captazione del particolato dovrebbero essere costituiti da specie con la chioma alta, densa, e uniforme per tutta l'altezza;
- frangivento composti da specie a foglia larga come gli eucalipti e molte acacie possono essere efficaci vicino a strade polverose.

Le caratteristiche di una specie arborea riguardanti l'abilità di rimuovere l'inquinamento in generale possono essere riassunte come segue:

- Un albero piantato in prossimità della sorgente dell'inquinante può essere più efficace nel mitigare l'inquinamento;

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO**

- le piante sempreverdi hanno (generalmente) una maggiore efficienza per la durata superiore del fogliame;
- specie con foglie dotate di elevata area fogliare totale sono più efficienti;
- tra le latifoglie sono preferibili specie che hanno una foliazione precoce ed una loro caduta autunnale ritardata, che sono cioè dotate di una prolungata stagione vegetativa;
- alberi di grandi dimensioni e in buono stato di salute rimuovono più inquinamento di alberi piccoli;
- gli alberi che crescono più velocemente sono più efficienti, anche se anche la longevità della specie è importante perché consente di ritenere più a lungo l'inquinante sequestrato;
- le caratteristiche delle foglie influenzano la deposizione degli inquinanti sulla loro superficie;
- se una pianta è sensibile a un certo tipo di inquinante, non può essere usata vicino alla fonte di tale sostanza;
- gli alberi con un alto tasso di emissione di VOC e di polline dovrebbero essere evitate.

Riguardo alla capacità di crescere in ambiente urbano invece, i fattori che devono essere considerati nella scelta della specie da inserire sono:

- la resistenza alle malattie e agli attacchi patogeni per l'impossibilità di utilizzare pesticidi in aree densamente popolate;
- l'adattabilità ai suoli di città, che sono fortemente compatti, hanno bassa areazione e capacità d'infiltrazione, e scarso apporto di nutrienti;
- l'adattabilità al clima locale;

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO**

- la capacità di resistere alla siccità;
- la longevità della specie, per ragioni economiche legate ai costi di abbattimento e reimpianto.

In conclusione le strategie di impianto e gestione della foresta urbana per migliorare la qualità dell'aria (Nowak 2000a, 2000b) dovrebbero prendere in considerazione:

- aumentare il numero di alberi sani (per aumentare la rimozione dell'inquinamento);
- mantenere la copertura arborea esistente (per salvaguardare il tasso di rimozione dell'inquinamento);
- massimizzare l'uso di piante a bassa emissione di VOC (per ridurre la formazione di O₃ e di CO);
- favorire lo sviluppo di grossi alberi (alberi grandi sono più efficienti di alberi piccoli);
- utilizzare specie longeve e che non hanno bisogno di cure colturali (per ridurre le emissioni derivanti dalle attività di mantenimento);
- ridurre l'uso di combustibili fossili nelle operazioni di manutenzione della vegetazione;
- piantare gli alberi in zone strategiche per ridurre il consumo di energia;
- piantare gli alberi vicino ai parcheggi, in zone densamente popolate o molto inquinate;
- fornire acqua alla vegetazione (aumenta la capacità di rimozione degli inquinanti e di riduzione della temperatura);
- evitare specie sensibili agli inquinanti (per favorire la salute della pianta);
- possibilmente utilizzare il materiale legnoso di risulta o di fine ciclo per la produzione di energia.

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO**

Infine negli impianti in città, allo scopo di assicurare una congrua diversità specifica e fare in modo che le piante siano poco soggette agli attacchi di insetti o alle malattie, la foresta urbana dovrebbe contenere non più del 10% di ogni singola specie, non più del 20% di specie di uno stesso genere, e non più del 30% di specie di una stessa famiglia.

Ringraziamenti:

Un ringraziamento particolare alla Dr.ssa Elena Paoletti dell'Istituto per la Protezione delle Piante – CNR di Firenze per aver messo a disposizione oltre alla propria competenza, le informazioni relative alla CONVENZIONE PER LO SVILUPPO DI UN PROGRAMMA INTEGRATO PER LA RIDUZIONE DEI LIVELLI DI ANIDRIDE CARBONICA E OZONO AD OPERA DELLE FORESTE URBANE che ha costituito la fonte di ispirazione principale per la presente relazione.

Bibliografia di riferimento

- Abas MR, Shah A, Awang MN 1992. Fluxes of ions in precipitation, throughfall and stemflow in an urban forest in Kuala Lumpur, Malaysia. *Environmental Pollution* 75, 209-213.
- Akbari H 2002. Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution* 116, S119-S126.
- Akbari H, Bretz SE, Hanford JW, Kurn DM, Fishman B, Taha H, Bos W 1993. Monitoring Peak Power and Cooling Energy Savings of Shade Trees and White Surfaces in the Sacramento Municipal Utility District (SMUD) Service Area: Data Analysis, Simulations, and Results (Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL- 34411). Berkeley, CA (December).
- Akbari H, Bretz SE, Kurn DM, Hanford JW 1997. Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings* 25, 139-148.
- Akbari H, Davis S, Dorsano S, Huang J, Winnett S 1992. Cooling our communities: A guidebook on tree planting and light-colored surfacing. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Akbari H, Konopacki S 2005. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* 33, 721-756.
- Akbari H, Rose LS, Taha H 1999. Characterizing the Fabric of the Urban Environment: A Case Study of Sacramento, California (Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL-44688). Berkeley, CA (December).
- Akbari H, Rosenfeld AH, Taha H 1989. Cooling urban heat islands. In: Rodbell PD (ed), *Proceedings of the Forth Urban Forestry Conference*. St Louis, Missouri, pp. 50-57.
- Akbari H, Taha H 1992. The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. *Energy* 17, 141-149.

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO**

- Beckett KP, Freer-Smith PH, Taylor G 2000a. The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *Arboricultural Journal* 24, 209-230.
- Beckett KP, Freer-Smith PH, Taylor G 2000b. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology* 6, 995-1003.
- Beckett KP, Freer-Smith PH, Taylor G 2000c. Effective tree species for local air quality management. *Journal of Arboriculture* 26, 12-19.
- Beckett PK, Freer-Smith PH, Taylor G 1998. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99, 347-360.
- Benjamin MT, Sudol M, Bloch L, Winer AM 1996. Low-emitting urban forests: a taxonomic methodology for assigning isoprene and monoterpene emission rates. *Atmospheric Environment* 30, 1437-1452.
- Benjamin MT, Winer AM 1998. Estimating the ozone-forming potential of urban trees and shrubs. *Atmospheric Environment* 32, 53-68.
- Bernatzky A 1978. *Tree ecology and preservation*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.
- Berrang P, Karnosky DF, Mickler RA, Bennet JP 1986. Natural selection for ozone tolerance in *Populus tremuloides*. *Canadian Journal of Forest Research* 16, 1214-1216.
- Brace S, Peterson DL, Bowers D 1999. *A guide to ozone injury in vascular plants of the Pacific Northwest*. USDA Forest Service Pacific Northwest Research Station. General Technical Report PNW-GTR-446.
- Brack CL 2002. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution* 116, S195-S200.
- Brandt CJ, Rhoades RW 1973. Effects of limestone dust accumulation on lateral growth of forest trees. *Environmental Pollution* 4, 207-213.
- Cardelino CA, Chameides WL 1990. Natural hydrocarbons, urbanization, and urban ozone. *Journal of Geophysical Research* 95 (D9), 13971-13979.
- Carter WPL 1994. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. *Journal of the Air Waste Management Association* 44, 881-899.
- Centritto M, Liu S, Loreto F 2005. Biogenic emissions of volatile organic compounds by urban forests. *Chinese Forestry Science and Technology* 4, 20-26.
- Chameides WL, Lindsay RW, Richardson J, Kiang CS 1988. The role of biogenic hydrocarbons in urban photochemical smog: Atlanta as a case study. *Science* 241, 1473-1475.
- Doley D 2006. Airborne particulates and vegetation: Review of physical interactions. *Clean Air and Environmental Quality* 40, 36-42.
- Donovan RG, Stewart HE, Owen SM, MacKenzie AR, Hewitt CN 2005. Development and application of an urban tree air quality score for photochemical pollution episodes using the Birmingham, United Kingdom, area as a case study. *Environmental Science and Technology* 39, 6730-6738.
- Farmer AM 1993. The effects of dust on vegetation – a review. *Environmental Pollution* 79, 63-75.
- Fergusson JE, Hayes RW, Yong TS, Thiew SH 1980. Heavy metal pollution by traffic in Christchurch, New Zealand: lead and cadmium content of dust, soil, and plant samples. *New Zealand Journal of Science* 23, 293-310.

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI**EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO**

- Flagler B 1998. Recognition of air pollution injury to vegetation: A Pictorial Atlas. Second Edition. Air & Waste Management Association, Pittsburgh.
- Flückiger W, Oertli JJ, Flückiger H 1979. Relationship between stomatal diffusive resistance and various applied particle sizes on leaf surfaces. Zeitschrift der Pflanzenphysiol. 91, 173-175.
- Fowler D, Cape JN, Unsworth MH 1989. Deposition of atmospheric pollutants on forests. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 324, 247-265.
- Freer-Smith PH, El-Khatib AA, Taylor G 2004. Capture of particulate pollution by trees: a comparison of species typical of semi-arid areas (*Ficus nitida* and *Eucalyptus globulus*) with European and North American species. Water, Air, and Soil Pollution 155, 173-187.
- Golubiewski NE 2006. Urbanization transforms prairie carbon pools: effects of landscaping in Colorado's Front Range. Ecological Applications 16, 555-571.
- Gusmailina 1996. The role of several urban forest plants on the mitigation of emission in the air [Peranan beberapa jenis tanaman hutan kota dalam pengurangan dampak emisi logam berat di ubara]. Buletin Penelitian Hasil Hutan 14, 76-83.
- Heisler GM 1986. Energy savings with trees. Journal of Arboriculture 12, 113-125.
- Hewitt N 2003. Trees are City Cleaners. Sylva 1-2.
- Huang YJ, Akbari H, Taha H 1990. The wind-shielding and shading effects of trees on residential heating and cooling requirements. ASHRAE Transactions 96, 1403-1411.
- Huang YJ, Akbari H, Taha H, Rosenfeld AH 1987. The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. Journal of Climate and Applied Meteorology 26, 1103-1116.
- Innes JL, Skelly JM, Schaub M 2001. Ozone and broadleaved species. A guide to the identification of ozone-induced foliar injury. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern Paul Haupt, 136 pp.
- Jo HK, McPherson EG 1995. Carbon storage and flux in urban residential greenspace. Journal of Environmental Management 45, 109-133.
- Jo HK, McPherson EG 2001. Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, USA. Journal of Environmental Management 61, 165-177.
- Johnson AD, Gerhold HD 2001. Carbon storage by utility-compatible trees. Journal of Arboriculture 27, 57-67.
- Karnosky DF, Steiner KC 1981. Provenance and family variation in response of *Fraxinus americana* and *Fraxinus pennsylvanica*. Phytopathology 71, 804-807.
- Kesselmeier J, Staudt M 1999. Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC): an overview on emission, physiology and ecology. Journal of Atmospheric Chemistry 33, 23-88.
- Killham K, Wainwright M 1982. Determination of the extent of air pollution contamination of a woodland ecosystem sited downwind of a coking works. Environmental Technology Letters 3, 75-78.
- Kulshreshtha K, Farooqui A, Srivastava K, Singh KJ, Ahmad KJ, Behl HM 1994. Effect of diesel exhaust pollution on cuticular and epidermal features of *Lantana camara* L. and *Syzygium cumini* L. (Skeels.). Journal of Environmental Science and Health A29, 301-308.

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

- Larsen JB, Yang W, Tiedemann AV 1990. Effects of ozone on gas exchange, frost resistance, flushing and growth of different provenances of European silver fir (*Abies alba* Mill.). *European Journal of Forest Pathology* 20, 211-218.
- Loreto F, Ferranti F, Mannozi M, Maris C, Nascetti P, Pasqualini S 2001. Ozone quenching properties of isoprene and its antioxidant role in plants. *Plant Physiology* 126, 993-1000.
- Loreto F, Sharkey TD 1990. A gas-exchange study of photosynthesis and isoprene emission in *Quercus rubra* L. *Planta* 182, 523-531.
- Manning WJ, Feder WA 1980. *Biomonitoring Air Pollutants With Plants*. Applied Science Publishers, London.
- Mayew J 2000. Carbon storage in Edinburgh's urban forest. *Scottish Forestry* 54, 37-41.
- McPherson EG 1991a. Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. Drachman Institute for Land and Regional Development Studies, Tucson, Arizona.
- McPherson EG 1998. Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24, 215-222.
- McPherson EG, Herrington LP, Heisler G 1988. Impacts of vegetation on residential heating and cooling. *Energy and Buildings* 12, 41-51.
- McPherson EG, Nowak DJ, Rowntree RA 1994. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. General Technical Report Northeastern Forest Experiment Station, USDA Forest Service, No. NE-186, 201 pp.
- McPherson EG, Simpson JR 1998b. Guidelines for tree planting to reduce atmospheric carbon dioxide in Chula Vista, CA. Davis, CA: USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Center for Urban Forest Research, 14 pp.
- McPherson EG, Simpson JR 1999. Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters. General Technical Report PSWGTR-171. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 237 pp.
- McPherson EG, Simpson JR 2000. Reducing Air Pollution Through Urban Forestry. In: Adams D (ed) *Proceedings of the 48th meeting of California Pest Council*, 1999 November 18-19, Sacramento, CA.
- McPherson EG, Simpson JR, Peper PJ, Maco SE, Xiao Q 2005c. Municipal forest benefits and costs in five US cities. *Journal of Forestry* 103, 411-416.
- Miller RW 1997. *Urban forestry – Planning and managing urban greenspaces*. 2nd edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Nali C, Guidi L, Filippi F, Soldatini GF, Lorenzini G 1998. Photosynthesis of two poplar clones contrasting in O₃ sensitivity. *Trees* 12: 196-200.
- Nali C, Paoletti E 2002. Risposta differenziale all'ozono in cloni di pioppo e faggio. *Informatore Fitopatologico*, LII (3): 27-30.
- Nowak DJ 1993. Atmospheric carbon reduction by urban trees. *Journal of Environmental Management* 37, 207-217.
- Nowak DJ 1994a. Air pollution removal by Chicago's urban forest. In: *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, USDA Forest Service

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

- General Technical Report NE-186. Edited by: EG McPherson, DJ Nowak, RA Rowntree (eds): 63-81. Forest Service USDA, Radnor PA.
- Nowak DJ 1994b. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project, USDA Forest Service General Technical Report NE-186. Edited by: EG McPherson, DJ Nowak, RA Rowntree (eds): 83-94. Forest Service USDA, Radnor PA.
- Nowak DJ 2000a. Impact of urban forest management on air pollution and greenhouse gases. In: Proceedings of the Society of American Foresters 1999 national convention; 1999 September 11-15; Portland, OR. SAF Publ. 00-1. Bethesda, MD, Society of American Foresters, pp. 143-148.
- Nowak DJ 2000b. Tree Species Selection, Design, and Management to Improve Air Quality. Annual meeting proceedings of the American Society of Landscape Architects, Construction Technology, 24-27.
- Nowak DJ 2006. Institutionalizing urban forestry as a "biotechnology" to improve environmental quality. *Urban Forestry & Urban Greening* 5, 93-100.
- Nowak DJ, Crane DE 2000. The urban forest effects (UFORE) model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen M and Burk T (eds), proceedings integrated tools for natural resources inventories in the 21st century, IUFRO conference 16-20 august 1998, Boise ID. General Technical Report NC-212, US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station, St. Paul, MN, pp. 714-720.
- Nowak DJ, Crane DE 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution* 116, 381-389.
- Nowak DJ, Crane DE, Stevens JC 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 4, 115-123.
- Nowak DJ, McHale PJ, Ibarra M, Crane D, Stevens JC, Luley CJ 1997. Modeling the effects of urban vegetation on air pollution. In: 22nd NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, NATO/CCMS, Brussels: 276-282.
- Nowak DJ, Stevens JC, Sisinni SM, Luley CJ 2002d. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture* 28, 113-122.
- Oke 1989. The micrometeorology of the urban forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 324 (1223), 335-349.
- Pääkkönen E, Paasisalo S, Holopainen T, Kärenlampi L 1993. Growth and stomatal responses of birch (*Betula pendula* Roth.) clones to ozone in open-air and chamber fumigations. *New Phytologist* 125, 615-623.
- Paoletti E, Nali C, Lorenzini G 2002. Photosynthetic behavior of two Italian clones of European beech (*Fagus sylvatica* Mill.) exposed to ozone. *Phyton - Annales Rei Botanicae*, 42 (3): 149-155.
- Percy KE, Awmack CS, Lindroth RL, Kubiske ME, Kopper BJ, Isebrands JG, Pregitzer KS, Hendrey GR, Dickson RE, Zak DR, Oksanen E, Sober J, Harrington R, Karnosky DF 2002. Altered performance of forest pests under CO₂- and O₃-enriched atmospheres, *Nature* (in stampa).
- Pouyat RV, Yesilonis I, Nowak DJ 2006. Carbon storage by urban soils in the USA. *Journal of Environmental Quality* 35, 1566-1575.

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

- Rank B 1997. Oxidative stress response and photosystem 2 efficiency in trees of urban areas. *Photosynthetica* 33, 467-481.
- Ricks GR, Williams RJH 1974. Effects of atmospheric pollution on deciduous woodland part 2: effects of particulate matter upon stomatal diffusion resistance in leaves of *Quercus petraea* (Mattuschka) Leibl. *Environmental Pollution* 6, 87-109.
- Rosenfeld AH, Akbari H, Bretz S, Fishman B L, Kurn DM, Sailor D, Taha H 1995. Mitigation of urban heat islands materials, utility programs, updates. *Energy and Building* 22, 255-265.
- Rosenfeld AH, Romm JJ, Akbari H, Pomerantz M 1998. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Building* 28, 51-62.
- Rowntree RA 1990. Urban forestry, carbon dioxide and global climate change. In: *Forestry on the Frontier: Proceedings of the 1989 Society of American Foresters National Convention*, September 24-27, 1989, Spokane, Washington. Bethesda, MD, Society of American Foresters, pp. 429-433.
- Rowntree RA, Nowak DJ 1991. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture* 17, 269-275.
- Saebo A, Benedikz T, Randrup TB 2003. Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries. *Urban Forestry & Urban Greening* 2, 101-114.
- Santamour F 1990. Trees for urban planting: Diversity, uniformity and common sense. *Proceedings, Metro Tree Improvement Alliance. METRIA* 7, 57-65.
- Scott KI, Simpson JR, McPherson EG 1999. Effects of tree cover on parking lot microclimate and vehicle emissions. *Journal of Arboriculture* 25, 129-142.
- Sharkey TD, Loreto F 1993. Water stress, temperature, and light effects on the capacity for isoprene emission and photosynthesis of kudzu leaves. *Oecologia* 95, 328-333.
- Shkaraba EM, Perevedentseva LG 1991. Consortium of forest plants and fungi under conditions of industrial pollution. *Soviet Journal of Ecology* 22, 350-354.
- Skelly J, Davis D, Merrill W, Cameron A, Brown HD, Drummond DB, Dochinger LS 1987. *Diagnosing Injury to Eastern Forest Trees. A manual for identifying damage caused by air pollution, pathogens, insects and abiotic stresses*. USDA-Forest Service, Forest Response Program. Pennsylvania State University, 122 pp.
- Smith WH 1984. Pollutant uptake by plants. In: Treshow M (ed.) *Air Pollution and Plant Life*. John Wiley, New York.
- Smith WH 1990. *Air pollution and forests*. New York, Springer-Verlag. 618 p.
- Taha H 1996. Modeling impacts of increased urban vegetation on ozone air quality in the South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment* 30, 3423-3430.
- Taha H 1997. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings* 25, 99-103.
- Taha HS, Chang C, Akbari H 2000. Meteorological and air-quality impacts of heat island mitigation measures in three US cities (Rep No LBL-44222). Lawrence Berkeley national Laboratory, Berkeley, CA.
- Taylor GE 1994. Role of genotype in the response of loblolly pine to tropospheric ozone: effects at the whole-tree, stand, and regional level. *Journal of Environmental Quality* 23, 63-82.

AZIONE 8 – LINEE GUIDA LOCALI

EFFETTO DELLE FORESTE URBANE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E PRINCIPALI INQUINANTI IN AMBIENTE URBANO

- Thompson JR, Nowak DJ, Crane DE, Hunkins JA 2004. Iowa, U.S., communities benefit from a tree-planting program: characteristics of recently planted trees. *Journal of Arboriculture* 30, 1-10.
- Tyrväinen L, Pauleit S, Seeland K, de Vries S 2005. Benefits and uses of urban forests and trees. In: Konijnendijk CC, Nilsson K, Randrup TB, Schipperijn J (eds) *Urban Forests and Trees*. Springer, Heidelberg, pp 81-114.
- Wee ML 1999. Predicting urban tree benefits and costs using growth models. Thesis Australian National University Canberra Australia.
- Xiao QF, McPherson EG 2003. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban Ecosystems* 6, 291-302.
- Xiao QF, McPherson EG, Simpson JR 1998. Rainfall interception by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24, 235-244.
- Yang J, McBride J, Zhou J, Sun Z 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban Greening* 3, 65-78.