

LINEE GUIDA OPERATIVE PER LA REDAZIONE DEI PROGETTI INTEGRATI DI FORESTAZIONE URBANA

con riferimento alla DGR 612 del 18 maggio 2020 e relativi allegati

INDICE GENERALE

INTRODUZIONE.....	2
1. Progettazione.....	3
a. “Dove” progettare la riforestazione urbana.....	3
b. “Come”: piante e sequestro della CO ₂	4
c. “Come”: piante e cattura degli inquinanti atmosferici.....	5
2...Riferimenti Normativi.....	6
3.. I Criteri della valutazione.....	6
a. CO ₂ stoccata	6
b. Vicinanza alla sorgente emissiva.....	16
4. Elementi premianti.....	19
a. Filiera corta del materiale di impianto.....	19
b. Reimpiego della biomassa.....	19
c. Monitoraggio.....	25
5. Best practices.....	25
Allegato I Caratteristiche delle specie più comuni.....	29

Introduzione

La forestazione urbana, intesa come l'introduzione di alberi in ambito urbano (così come definito dall'Art. 4 L.R. 65/2014), è costituita da un insieme di pratiche di gestione degli alberi in città volte a garantire il loro contributo ottimale al benessere fisiologico, sociologico ed economico delle società urbane. Caratterizzata da un approccio integrato, interdisciplinare, partecipativo e strategico per la pianificazione e la gestione delle foreste e degli alberi nelle città si basa spesso anche sul coinvolgimento diretto dei cittadini (anche educandoli sul valore e i benefici degli alberi e delle foreste) nella cura della crescita e della vita delle piante, siano esse di proprietà pubblica o privata. Gli alberi possono essere inseriti strategicamente nello spazio urbano garantendo diversi benefici che includono effetti positivi sulla qualità dell'ambiente fisico (sequestro dei gas climalteranti, attenuazione del fenomeno dell'“isola di calore”, rimozione di inquinanti dell'aria, riduzione dei fenomeni di ruscellamento ed allagamento), quelli ecologici (aumento della biodiversità), quelli legati al risparmio energetico (riduzione dei consumi energetici attraverso l'ombreggiamento e la creazione di un microclima) e quelli legati ad aspetti sociali (creazione di lavoro) e sanitari (benessere psicologico). L'inserimento di alberi è una scelta strategica anche per quanto riguarda la riqualificazione estetica degli spazi residuali della città, spesso destinati a parcheggi temporanei. Intervenire piantando gli alberi nel suolo o in contenitori ad-hoc aumenta la gradevolezza estetica degli spazi. Le funzioni che la forestazione urbana può rivestire qui sopra accennate variano al variare di molti fattori tra cui le specie utilizzate, la tipologia d'intervento prescelta, la gestione dell'intervento.

L'obiettivo delle seguenti linee guida è quello di fornire uno strumento pratico-applicativo a supporto della realizzazione di progetti di forestazione urbana volti in particolare all'abbattimento di gas climalteranti e alla riduzione della presenza di sostanze inquinanti nell'aria. A questo scopo si precisa che gli argomenti generali riguardanti il tema della forestazione urbana e gli effetti sull'ambiente vengono qui solamente riassunti per sommi capi, per una più approfondita trattazione si rimanda alla letteratura scientifica nel settore.

1. Progettazione

a. “Dove” progettare la riforestazione urbana

In linea di principio la creazione di interventi di verde urbano, con particolare riferimento alla forestazione, è sempre possibile laddove sussistano le condizioni ecologiche (luce, acqua, terreno e nutrienti) sufficienti a garantire la vita di una pianta. Di conseguenza, una scelta dell'area basata su principi ecologici consente un maggior successo dell'intervento di forestazione, comportando anche ingenti vantaggi di carattere economico. Molto spesso la scelta deve prendere in considerazione anche altri aspetti che possono riguardare:

- **Uso del suolo:** in ambito urbano le aree potenzialmente disponibili per interventi di forestazione si possono suddividere in: aree naturali e seminaturali (offrono il vantaggio di non necessitare di grossi interventi preparatori), terreni agricoli (valutare attentamente l'opportunità di interventi che possano interferire negativamente con le unità produttive), aree degradate (dove è sempre necessario valutare preventivamente la necessità di bonificare il suolo, magari anche attraverso approcci “green”).
- **Vincoli e prescrizioni:** la realizzazione di interventi di forestazione urbana non può prescindere dall'analisi degli strumenti pianificatori locali esistenti e le norme sovraordinate (Piano regolatore, Piani del Verde; Piani di gestione di aree protette, Piani di Bacino, Codice della Strada, etc.).
- **Clima e microclima:** una caratterizzazione preliminare del sito dal punto di vista climatico (precipitazioni e temperature) e microclimatico è indispensabile nella individuazione delle specie di piante da impiegare e delle eventuali pratiche (es. irrigazione) indispensabili alla riuscita del progetto, con particolare riferimento alle precipitazioni e alle temperature, ma anche all'umidità, al vento, all'esposizione al sole, etc.
- **Terreno:** è importante valutare il tipo di suol, che, se non idoneo alla corretta penetrazione delle radici, può rappresentare un fattore limitante la crescita delle piante.
- **Vegetazione:** la conoscenza della vegetazione eventualmente preesistente sul sito consente una migliore selezione delle associazioni vegetali da utilizzare negli interventi

di forestazione, valorizzando la potenzialità specifica del sito e facilitando l'instaurarsi di comunità vegetali stabili sul lungo periodo.

b. “Come”: piante e sequestro della CO₂

Le piante sono organismi autotrofi che sintetizzano carboidrati a partire da CO₂ e H₂O attraverso la fotosintesi clorofilliana alimentata dall'energia solare e producendo ossigeno; durante la crescita esse immagazzinano nella loro biomassa grandi quantità di carbonio, funzionando da veri e propri “depositi di carbonio” (carbon sink). Il tasso di assorbimento della CO₂ varia sia al variare delle condizioni ambientali (temperatura, disponibilità di luce, etc.) che in funzione delle caratteristiche della specie (superficie fogliare, tassi di crescita, etc.) e dell'individuo (età, stato di salute, etc.). Tale capacità di immagazzinare la CO₂ atmosferica sotto forma di biomassa vegetale o di sostanza organica del suolo costituisce un elemento cardine nella lotta ai cambiamenti climatici.

In ambiente urbano il contributo della vegetazione in tal senso è duplice e si espleta sia attraverso l'assorbimento diretto della CO₂ per via stomatica che attraverso la riduzione delle emissioni di CO₂ derivante dal risparmio energetico indotto dalla presenza degli alberi. È noto infatti che la presenza di alberi mitiga l'effetto isola di calore e ha un effetto coibente e frangivento, con conseguente risparmio energetico derivante dal minor utilizzo dei condizionatori (in estate) e dei riscaldamenti (in inverno). Nell'ottica di creare dei veri e propri “depositi di carbonio” è necessario prestare molta attenzione nella destinazione delle piante a fine ciclo. Infatti, se il legno in cui viene stoccata la maggior parte del carbonio va incontro a decomposizione, la CO₂ immagazzinata ritorna rapidamente in atmosfera. Se invece l'albero viene sostituito con nuove piante ed utilizzato per elaborare prodotti in legno (legname da opera), il carbonio rimane immagazzinato per decenni, forse addirittura per secoli. Ogni elemento in legno rappresenta quindi un “serbatoio” di stoccaggio di CO₂.

Di seguito si considererà la CO₂ stoccata definita come segue: “totale del carbonio presente nella pianta, accumulato dalla nascita al momento attuale, cioè quanta CO₂ verrebbe rilasciata se noi tagliassimo la pianta e la bruciasimo.”

c. “Come”: piante e cattura degli inquinanti atmosferici

Gli interventi di forestazione urbana mirati all'abbattimento degli inquinanti atmosferici richiedono una scelta accurata della specie o dell'associazione migliore di specie, in funzione delle loro caratteristiche ecologiche, oltre che di quelle ambientali quali clima, esposizione, disponibilità idrica e altre specie vegetali presenti. Le piante sono in grado di ridurre la quantità di composti inquinanti presenti nell'aria (polveri sottili, ossidi di azoto, etc.) “catturandoli” e riducendone quindi la dispersione nell'ambiente. Proprietà specifiche rendono alcuni tipi di piante più adatte a questo scopo. Una di queste è rappresentata dalla morfologia e dall'anatomia delle foglie: superficie fogliare, dimensione e forma delle foglie e della chioma, densità e morfologia degli stomi, spessore e struttura della cuticola, persistenza, sono tutte caratteristiche determinanti nel conferire ad una particolare specie la capacità di captare inquinanti dall'aria. Inoltre, in particolare nei riguardi delle polveri sottili, la maggiore/minore capacità di cattura risulta legata alla rugosità della superficie fogliare e alla presenza di rivestimenti cerosi, di peli e altre strutture epicuticolari della foglia. Gli studi condotti dimostrano come mediamente gli alberi siano più efficienti nella cattura delle polveri rispetto agli arbusti, vista la loro maggiore superficie fogliare disponibile e la struttura della chioma più articolata e complessa. Le conifere, in particolare i generi pini, abeti e cipressi, risultano efficienti nell'abbattimento degli inquinanti atmosferici, pur essendo sensibili alle alte concentrazioni di questi composti; per questo motivo se ne sconsiglia l'utilizzo in contesti fortemente inquinati.

2. Riferimenti Normativi

- DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE 13 maggio 2014, n. 25 - Regolamento di attuazione della legge regionale 23 luglio 2012, n. 41: stabilisce, per quanto di interesse al presente bando, gli strumenti urbanistici utili alla gestione e riqualificazione del verde urbano.
- LEGGE REGIONALE 10 NOVEMBRE 2014, n°65 e successiva modifica LEGGE REGIONALE 22 NOVEMBRE 2019, N. 69
- LEGGE REGIONALE 2015, n°30 - Norme per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio naturalistico - ambientale regionale
- SPECIFICI REGOLAMENTI COMUNALI DEL PATRIMONIO ARBOREO/VERDE URBANO

3. I Criteri della valutazione

a. CO₂ stoccata

L'approfondimento della conoscenza dei meccanismi di rimozione e abbattimento degli inquinanti da parte degli alberi e degli arbusti, ha permesso la realizzazione di modelli matematici di simulazione, che stimano le quantità di inquinanti rimosse da una data porzione di vegetazione.

i-Tree Eco è un'applicazione che fa parte di una suite di software (i-Tree Tools, 2015) sviluppata dal Servizio Foreste del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti d'America (USDA) per valutare, analizzare e quantificare i benefici e la struttura del verde urbano.

È stato ampiamente utilizzato da comuni e istituzioni per valutare i servizi eco-sistemici che gli alberi forniscono a una comunità (Martin et al., 2011, City of Providence 2014).

Lo strumento i-Tree Eco è stato progettato sulla base di valutazioni eseguite sul campo e fornisce dati dettagliati per prendere decisioni sostenibili (D. Nowak, 2013). Combina le caratteristiche delle specie arboree con informazioni sulla posizione, l'ambiente e la quantità di alberi e arbusti in base ai dati raccolti sul campo in modo da stimare la rimozione dell'inquinamento atmosferico.

Tra i risultati che si possono ottenere modellando un progetto di forestazione urbana sono inclusi il sequestro del carbonio, l'abbattimento di inquinanti atmosferici tra cui NO₂ e PM_{2.5}, ma anche i risparmi economici che possono essere ottenuti grazie al risparmio energetico. Per facilitare i calcoli ai fini della progettazione degli interventi, di seguito sono riportati gli abbattimenti relativi ad alcune specie (quelle che più frequentemente sono utilizzate in Italia e negli interventi di rimboschimento) ottenuti utilizzando un modello previsionale con riferimento a 30 anni (Toscana Carbon Neutral entro il 2050) e con riferimento a dati climatici e di inquinanti rilevati in Toscana nel 2013 (anno in linea con le medie storiche di temperatura e precipitazione della Regione).

Le specie considerate sono riportate di seguito:

Tabella 1: Abbattimenti relativi alle specie proposte in 30 anni

Nome Specie	CO ₂ stoccata [kg]	NO ₂ [kg]	PM _{2.5} [kg]
Abies alba	619	1.29	0.14
Acer campestre	215	0.69	0.014
Acer platadoines	1481	1.49	0.031
Acer pseudoplatanus	1115	1.32	0.026
Aesculus hippocastanum	1247	1.3	0.029
Alnus	538	0.92	0.02
Betula pendula	1794	0.76	0.02
Carpinus betulus	935	1.3	0.022
Catalpa bignonioides	1312	1.1	0.015
Cedrus spp	263	0.66	0.076
Celtis australis	318	1.52	0.035
Cercis siliquastrum	96	0.53	0.009
Cornus mas	516	0.95	0.015
Corylus colurna	623	0.90	0.020
Cupressus sempervirens	257	0.50	0.064
Fagus sylvatica	687	1.47	0.036
Fraxinus excelsior	1174	1.27	0.024
Fraxinus ornus	220	0.62	0.011
Fraxinus oxycarpa	1387	1.25	0.021
Ginkgo biloba	297	0.73	0.012
Gleditsia triacanthos	2561	1.27	0.013
Juglans nigra	1617	1.51	0.030
Juglans regia	1411	1.39	0.031
Koelreuteria paniculata	584	0.92	0.016
Laurus nobilis	502	1.37	0.122
Ligustrum lucidum	421	1.5	0.134
Ligustrum ovalifolium	103	0.82	0.073
Liquidambar styraciflua	1278	0.93	0.017

Liriodendron tulipifera	1126	1.43	0.035
Magnolia grandiflora	846	1.83	0.18
Malus spp	1142	0.89	0.015
Melia azedarach	1273	1.32	0.025
Morus spp	474	1.11	0.019
Ostrya carpinifolia	791	1.04	0.019
Parrotia persica	109	0.35	0.007
Photinia x fraseri	433	1.27	0.114
Picea abies	495	1.18	0.135
Pinus pinea	543	1.06	0.098
Platanus x acerifolia	1015	1.58	0.032
Populus alba	1161	0.74	0.012
Populus nigra	1161	0.75	0.012
Prunus avium	999	0.94	0.016
Pterocarya fraxinifolia	1064	1.13	0.020
Quercus cerris	1020	1.03	0.016
Quercus ilex	748	1.44	0.124
Quercus pubescens	1138	0.98	0.015
Quercus robur	1613	1.21	0.021
Salix alba	1183	0.89	0.015
Sambucus nigra	84	0.32	0.005
Sophora spp	570	0.78	0.011
Taxus baccata	258	0.89	0.100
Tilia x vulgaris	650	0.83	0.017
Ulmus americana	1271	1.47	0.029
Ulmus minor	829	1.12	0.021
Viburnum tinus	463	0.60	0.051

Questa tabella va intesa come spunto e base di calcolo per le simulazioni svolte dagli stessi Comuni.

Questo tipo di approccio richiede di fare alcune assunzioni. Ad esempio, nel modello è stato inserito che le piante messe a dimora abbiano inizialmente un diametro di 10 cm e che sopravvivranno fino a raggiungere la maturità (rateo di mortalità delle piante pari a 0%), che potrà avvenire solamente nel caso in cui non sopraggiunga una malattia e che venga sottoposta ad opportuna manutenzione. Qualora questo non avvenga non si avrebbero gli stessi benefici stimati.

Per non trascurare il contributo presente, seppur inferiore, relativo all'abbattimento degli inquinanti, sono stati introdotti due fattori di correzione (C_{NO_2} e $C_{PM_{2.5}}$) che variano da 0.8 per le specie che sono meno efficienti ad 1 per le specie che hanno un'efficienza superiore. Si sono ipotizzate 4 classi a cui corrispondono altrettanti fattori di conversione: 0.8, 0.85, 0.9, 1. Per definire quali specie ricadono in ogni gruppo è stato calcolato per NO_2 e $PM_{2.5}$ il "max-min", rispetto a quanto riportato nella tabella 1, e quindi diviso per il numero di range (pari a 4), ricavando gli scatti di abbattimento (Δ) necessari per passare di classe. Quindi, alle specie con abbattimento comprese tra $[\min; \min+\Delta]$ viene attribuito un fattore 0.8, a quelle comprese tra $(\min+\Delta; \min+2*\Delta]$ 0.85, ecc...

Tabella 2: Fattori di conversione NO_2 e $PM_{2.5}$

Nome Specie	Fattore Correzione NO_2	Fattore Correzione $PM_{2.5}$
Abies alba	0.9	1
Acer campestre	0.8	0.8
Acer platadoines	1	0.8
Acer pseudoplatanus	0.9	0.8
Aesculus hippocastanum	0.9	0.8
Alnus	0.85	0.8
Betula pendula	0.85	0.8
Carpinus betulus	0.9	0.8
Catalpa bignonioides	0.9	0.8
Cedrus spp	0.8	0.85
Celtis australis	1	0.8
Cercis siliquastrum	0.8	0.8

Cornus mas	0.85	0.8
Corylus colurna	0.85	0.8
Cupressus sempervirens	0.8	0.85
Fagus sylvatica	1	0.8
Fraxinus excelsior	0.9	0.8
Fraxinus ornus	0.8	0.8
Fraxinus oxycarpa	0.9	0.8
Ginkgo biloba	0.85	0.8
Gleditsia triacanthos	0.9	0.8
Juglans nigra	1	0.8
Juglans regia	0.9	0.8
Koelreuteria paniculata	0.85	0.8
Laurus nobilis	0.9	0.9
Ligustrum lucidum	1	0.9
Ligustrum ovalifolium	0.85	0.85
Liquidambar styraciflua	0.85	0.8
Liriodendron tulipifera	0.9	0.8
Magnolia grandiflora	1	1
Malus spp	0.85	0.8
Melia azedarach	0.9	0.8
Morus spp	0.9	0.8
Ostrya carpinifolia	0.85	0.8
Parrotia persica	0.8	0.8
Photinia x fraseri	0.9	0.9
Picea abies	0.9	0.9
Pinus pinea	0.85	0.9
Platanus x acerifolia	1	0.8
Populus alba	0.85	0.8
Populus nigra	0.85	0.8
Prunus avium	0.85	0.8
Pterocarya fraxinifolia	0.9	0.8

Quercus cerris	0.85	0.8
Quercus ilex	0.9	0.9
Quercus pubescens	0.85	0.8
Quercus robur	0.9	0.8
Salix alba	0.85	0.8
Sambucus nigra	0.8	0.8
Sophora spp	0.85	0.8
Taxus baccata	0.85	0.9
Tilia x vulgaris	0.85	0.8
Ulmus americana	1	0.8
Ulmus minor	0.9	0.8
Viburnum tinus	0.8	0.85

Un elemento che aiuta a preservare un buon livello dello stato fito-sanitario della vegetazione è la biodiversità e varietà di specie, che permette di limitare l'espansione di malattie e la conseguente morte delle alberature (vedi paragrafo 5 "Best Practices"). Per non trascurare quest'ulteriore importante elemento nella scelta delle specie è stato inserito un fattore di correzione che varia da 0,76 a 1. La metodologia di calcolo ed attribuzione prevede, a valle della definizione del numero di specie, i seguenti fattori di correzione:

Tabella 3: Numero di specie e relativo fattore di correzione

Numero di specie previste nel progetto	Fattore di correzione $C_{\text{biod, specie}}$
1	0.8
(1-3]	0.85
(3 – 6]	0.9
(6 -10]	0.95
>10	1

A valle di questa prima valutazione si tiene conto dell'alternanza tra specie sempreverdi e decidue grazie ad un ulteriore fattore, $C_{\text{biod, fogliare}}$, pari a 0.95 nel caso di adozione di una sola tipologia fogliare ed 1 nel caso di alternanza.

In conclusione, il fattore di biodiversità è così calcolato:

$$C_{biod} = C_{biod, specie} * C_{biod, fogliare}$$

Ulteriore elemento da non trascurare e che pertanto viene considerato ai fini della valutazione del presente criterio, è il potenziale effetto allergenico. Le specie vegetali possono essere classificate, secondo ISPESL (Istituto Superiore Prevenzione e Sicurezza sul Lavoro - Dipartimento di Medicina del lavoro) in:

- Specie vegetali completamente prive di effetti nocivi;
- Specie vegetali che causano danni di natura meccanica (mediante spine o aculei);
- Specie vegetali che causano dermatiti da contatto e pollinosi

Caratteristica imprescindibile delle piante, sia in area pubblica che privata, è l'assoluta assenza di nocività, si dovranno inoltre evitare specie con spine sui rami o sulle foglie, specie urticanti o con parti velenose e ridurre specie arboree con polline ad elevato contenuto allergenico (sira.arpat.toscana.it)

Di seguito si riporta una lista di piante con relativa capacità allergenica ed il coefficiente moltiplicativo che verrà applicato al quantitativo di CO₂ stoccata dalla relativa specie, così da favorire ed incentivare l'utilizzo di piante ad assente o minimo potenziale allergenico.

Tabella 4: Fattore di correzione per l'allergenicità

Nome	Capacità allergenica	Fattore correttivo C _a
Abies alba	Bassa	0.9
Acer campestre	Bassa	0.9
Acer platano	Bassa	0.9
Acer pseudoplatanus	Bassa	0.9
Aesculus hippocastanum	Nessuna	1
Alnus	Alta/molto alta	0.75
Betula pendula	Alta/molto alta	0.75
Carpinus betulus	Media	0.85
Catalpa bignonioides	Nessuna	1
Cedrus spp	Media	0.85
Celtis australis	Bassa	0.9
Cercis siliquastrum	Nessuna	1
Cornus mas	Nessuna	1
Corylus colurna	Alta/molto alta	0.75
Cupressus sempervirens	Alta/molto alta	0.75
Fagus sylvatica	Media	0.85

Fraxinus excelsior	Media	0.85
Fraxinus ornus	Media	0.85
Fraxinus oxycarpa	Media	0.85
Ginkgo biloba	Nessuna	1
Gleditsia triacanthos	Nessuna	1
Juglans nigra	Nessuna	1
Juglans regia	Nessuna	1
Koelreuteria paniculata	Nessuna	1
Laurus nobilis	Nessuna	1
Ligustrum lucidum	Nessuna	1
Ligustrum ovalifolium	Media	0.85
Liquidambar styraciflua	Nessuna	1
Liriodendron tulipifera	Nessuna	1
Magnolia grandiflora	Nessuna	1
Malus spp	Nessuna	1
Melia azedarach	Nessuna	1
Morus spp	Nessuna	1
Ostrya carpinifolia	Media	0.85
Parrotia persica	Nessuna	1
Photinia x fraseri	Nessuna	1
Picea abies	Bassa	0.9
Pinus pinea	Bassa	0.9
Platanus x acerifolia	Bassa	0.9
Populus alba	Bassa	0.9
Populus nigra	Bassa	0.9
Prunus avium	Nessuna	1
Pterocarya fraxinifolia	Nessuna	1
Quercus cerris	Media	0.85
Quercus ilex	Media	0.85
Quercus pubescens	Bassa	0.9
Quercus robur	Bassa	0.9
Salix alba	Bassa	0.9
Sambucus nigra	Nessuna	1
Sophora spp	Nessuna	1
Taxus baccata	Bassa	0.9
Tilia x vulgaris	Nessuna	1
Ulmus americana	Bassa	0.9
Ulmus minor	Bassa	0.9
Viburnum tinus	Nessuna	1

Pertanto, considerato i fattori correttivi sopra elencati, il parametro che concorrerà alla valutazione del punteggio è il seguente:

$$CO_{2, \text{stoccata corretta}}^{\square} = \sum_{i=1}^n \left[\sum \left(n_{\text{alberi}} * CO_{2, \text{stoccata}} * C_{NO_2} * C_{PM_{2.5}} * C_a \right) * C_{\text{biod.}} \right]$$

Con n numeri di interventi presentati dal Comune

Tale valore rientrerà nei range riportati nella seguente tabella:

Tabella 5: Range di valutazione per il criterio relativo all'abbattimento dei gas climalteranti

CO ₂ stoccata corretta [ton/30 anni]	Punteggio
<100	3
≥100; <1500	6
≥1500; <3000	9
≥3000; <4500	12
≥4500; <6000	15
≥6000; <7500	18
≥7500	20

b. Vicinanza alla sorgente emissiva

Anche se la capacità di riduzione della concentrazione di inquinanti nell'aria da parte del verde urbano è funzione di molte variabili (specie vegetale, età, andamento del vento, larghezza e porosità della struttura, tipo di contaminante considerato, etc.), l'entità della captazione e la conseguente riduzione di concentrazione nell'aria, nella maggior parte dei casi, è proporzionale alla vicinanza delle stesse alla sorgente di emissione e tende a ridursi man mano che ci si allontana. Per questo motivo, ciascun intervento di forestazione urbana verrà valutato anche alla luce della sua distanza dalle fonti di emissioni che è chiamato a contrastare. Da un'accurata analisi bibliografica è emerso come, per interventi volti alla riduzione di inquinanti quali le polveri sottili (PM₁₀) una distanza superiore ai 100 m dalla fonte di emissione risulta poco efficace.

Secondo lo studio effettuato da Mori et al. 2015, che esamina l'abbattimento del particolato a diverse distanze dalla sorgente emissiva, strada a lunga percorrenza, si riscontra il massimo dell'efficienza di abbattimento entro i 5m; tra i 5- 35m d'altro canto viene evidenziata una brusca riduzione nell'efficienza di abbattimento, che successivamente si stabilizza fino ad 80-100m (vedi Fig. 1).

Sulla base di queste valutazioni sono state create 4 classi di distanza dalla sorgente: $\leq 5\text{m}$; (5m-35m]; (35m-100m]; $>100\text{m}$ a cui sono stati attribuiti punteggi da 3 a 15 in funzione della classe di distanza.

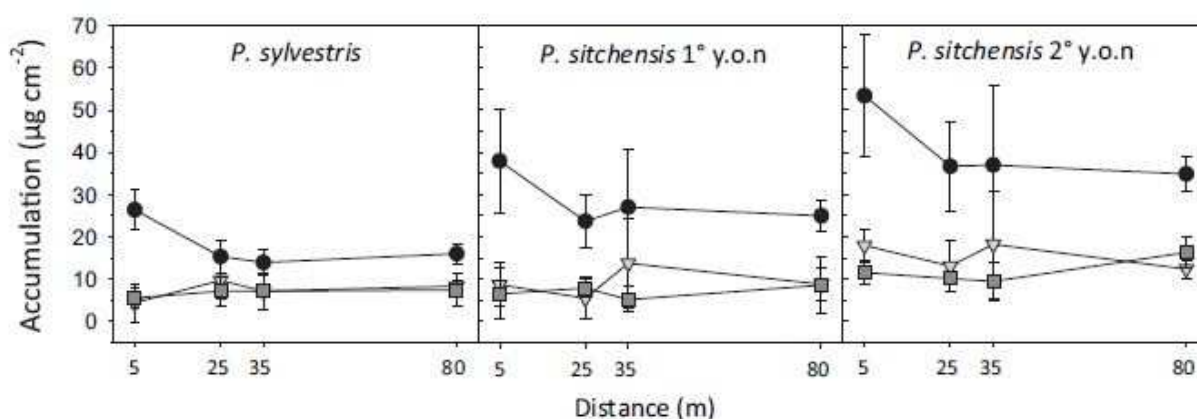


Figura 1: Andamento dell'accumulo di PM_x sull'apparato fogliare (arboreo - Picea) in funzione della distanza dalla sorgente (Mori et al. 2015)

Un altro studio svolto in Italia da Sgrigna et al., 2015, evidenzia come, per fonti emissive stradali, si abbia un maggior contributo alla deposizione di PM da parte della chioma fogliare inferiore per distanze ridotte, mentre per distanze maggiori il trend si inverte.

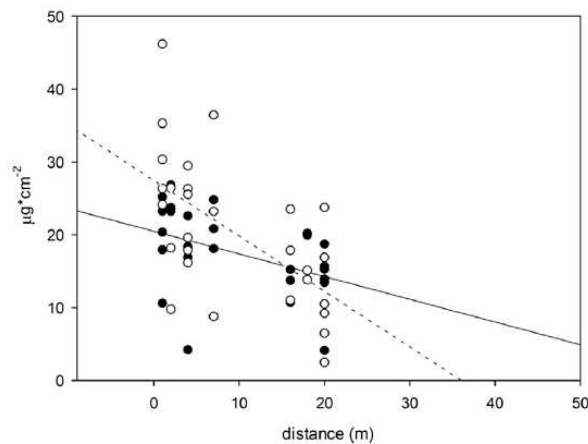


Figura 2: Deposizione nella parte superiore della chioma (punti neri) ed inferiore (punti bianchi) a distanze diverse dalla sede stradale (Sgrigna et al., 2015)

Parallelamente è stato indagato l'utilizzo di piante arbustive (Mori et al. 2018), intese come barriere verdi lungo strade, che oltre a mitigare il rumore per i pedoni, contribuiscono all'abbattimento degli inquinanti, come mostrato in Fig.3.

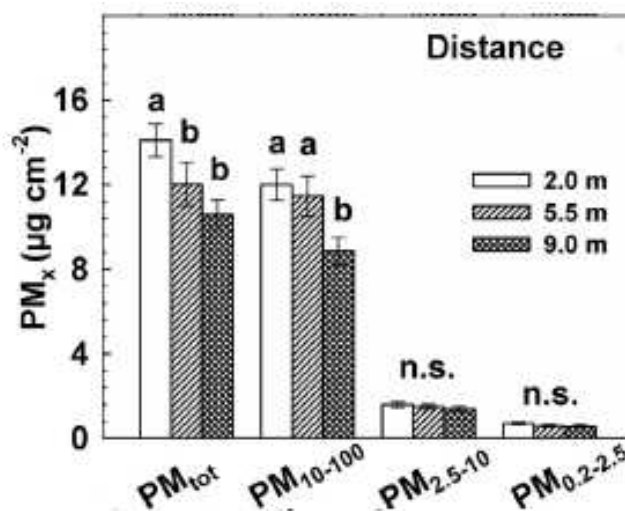


Figura 3: Deposizione di PMx per unità di area fogliare (arbustiva) in funzione della distanza dalla sorgente (Mori et al. 2018)

In generale, le barriere arbustive ed arboree modificano la direzione e riducono la velocità dei flussi d'aria impattanti (Tiwary et al., 2005). Ciò favorisce la deposizione di particelle $>0,1 \mu\text{m}$ attraverso intercettazione, impatto ed effetto gravitazionale (Fowler et al., 2003; Freer-Smith et al., 2005). La stagnazione di aria che si instaura all'interno della barriera e subito a valle di

essa, può comportare un aumento della concentrazione di inquinanti e quindi un maggior abbattimento per effetto gravitazionale; questo spiega come mai la deposizione risulta essere superiore in corrispondenza della barriera rispetto a distanze maggiori (Mori et al 2018).

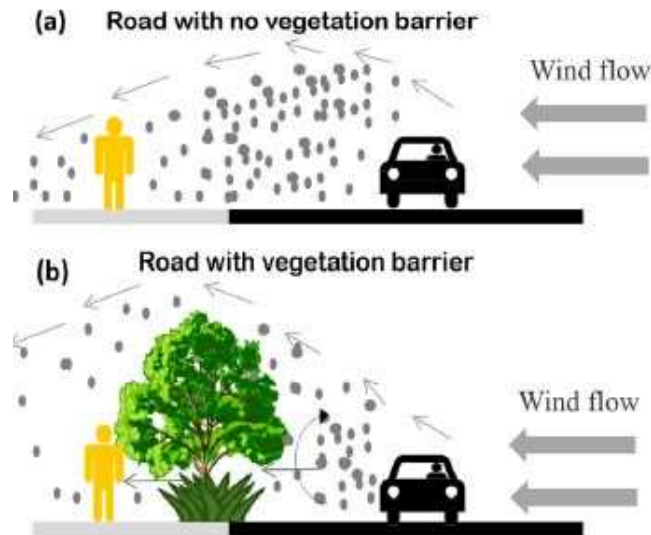


Figura 4: Modello di dispersione degli inquinanti con (b) e senza (a) una barriera vegetativa multi-livello (K.V. Abhijith et al. 2017)

4. Elementi premianti

a. Filiera corta del materiale di impianto

Nell'ottica di garantire un'attenzione a 360° sui temi del risparmio energetico e della riduzione dell'inquinamento ed incentivare e sostenere le realtà vivaistiche locali, si è provveduto ad introdurre un premio di 5 punti per quei Comuni che comprovino l'acquisto di materiale di impianto all'interno dei confini regionali.

b. Reimpiego della biomassa

La capacità fissativa degli ecosistemi forestali è di norma collegata al carbonio che viene fissato nelle biomasse legnose, nel suolo e nella lettiera; numerose indagini hanno permesso di evidenziare che queste componenti dell'ambiente forestale hanno, rispetto agli ecosistemi agrari, una maggiore capacità in termini di stock. Il legno, che costituisce la maggior parte della biomassa di una pianta, rappresenta una buona parte del deposito di CO₂ sottratta all'atmosfera. L'impiego del legno nella realizzazione di prodotti caratterizzati da cicli di vita relativamente lunghi (con impieghi nel settore edilizio, negli arredi esterni e nei mobili di media e alta gamma) consente di ridurre le emissioni in atmosfera. Ciò premesso saranno premiati gli interventi che prevedano l'effettivo reimpiego di biomassa e ne definiscano le modalità nel Piano di Gestione e Manutenzione.

A tal fine nella tabella seguente vengono riportate, per ciascuna specie la destinazione principale del legno con indicazione del potenziale reimpiego.

Tabella 6: Re-impiego della biomassa e area di utilizzazione

Nome	Utilizzazione	Potenziale di reimpiego
Abies alba	Impiegato per mobili ordinari, travature per edilizia, liste per pavimenti (parquet) e costruzioni navali (un tempo usato per alberi da nave), non adatto per infissi esterni	Medio

Acer campestre	Destinato alla produzione di legna da ardere, può avere talvolta interessanti pezzature come legname da opera per la produzione di piccoli oggetti come manici, utensili, giochi, calci di fucile.	Basso
Acer platano	Usato per mobili di pregio, tornitura, ebanisteria, sculture, zoccoli di lusso, stecche da biliardo, liste per pavimenti con forte attrito (piste da ballo, palestre, bowling), utensili casalinghi, casse armoniche di strumenti ad arco (con i pezzi a fibratura ondulata), manici e top di chitarre (ritrasmette favorevolmente le frequenze medio-acute)	Alta
Acer pseudoplatanus	Usato per mobili di pregio, tornitura, ebanisteria, sculture, zoccoli di lusso, stecche da biliardo, liste per pavimenti con forte attrito (piste da ballo, palestre, bowling), utensili casalinghi, casse armoniche di strumenti ad arco (con i pezzi a fibratura ondulata), manici e top di chitarre (ritrasmette favorevolmente le frequenze medio-acute)	Alta
Aesculus hippocastanum	Impiegato per falegnameria andante, lavori al tornio, sculture e giocattoli	Medio
Alnus	Utilizzato per mobili comuni, opere idrauliche, oltre che per realizzare botti, comode calzature (è chiamato "albero degli zoccoli"), oggetti d'uso casalingo e giocattoli, in quanto ha il vantaggio di non presentare superfici scheggiate in caso di rottura), strumenti musicali (chitarre con colorazioni sunburst) ed altri lavori di tornio e di ebanisteria	Alto
Betula pendula	Trova impiego in ebanisteria, tornitura e falegnameria per la fabbricazione di mobili, oggetti di uso domestico e attrezzi sportivi.	Medio
Carpinus betulus	Usato come legna da ardere	Trascurabile
Catalpa bignonioides	Usato per mobili andanti e calzature	Alto
Cedrus spp	Usato per costruzioni edili e navali, infissi esterni ed interni, lavori di falegnameria fine ed ebanisteria	Alto
Celtis australis	Trova impiego per la realizzazione di bastoni, stecche da biliardo, utensili da falegname, intarsi e strumenti a	Medio

	corda	
Cercis siliquastrum	Scarso interesse commerciale	Trascurabile
Cornus mas	Costruzione attrezzi soggetti a forte usura: manici di bastoni, raggi per ruote, ingranaggi per mulini, pestelli, schiaccianoci, pipe ed altri piccoli oggetti. Si presta egregiamente alla fabbricazione di archi potenti e durevoli, e delle frecce	Medio
Corylus colurna	Usato come legna da ardere	Trascurabile
Cupressus sempervirens	Particolarmente adatto infissi esterni e per mobili (soprattutto cassapanche dove riporre gli abiti in quanto l'odore del legno teneva lontane le tarme), oltre che per lavori di tornio e di ebanisteria, e avrebbe interesse anche nei rivestimenti dei guardrail.	Alto
Fagus sylvatica	Usato per la fabbricazione di mobili, listelli per pavimenti (parquet) ed anche per la lavorazione al tornio con produzione di utensili, secchi, manici di attrezzi, calci di fucili e strumenti musicali.	Alto
Fraxinus excelsior	Usato per la fabbricazione di mobili di qualità, listelli per pavimenti (parquet), piccoli oggetti (pipe), strumenti musicali (chitarre) e soprattutto attrezzi sportivi proprio grazie alla sua insuperabile elasticità: remi, racchette da tennis, mazze da golf, mazze da baseball, archi di tipo inglese, bastoni da hockey, slitte	Alto
Fraxinus ornus	Usato per manici, attrezzi sportivi, botti, ruote per carri oltre che per legna da ardere	Basso
Fraxinus oxycarpa	Usato per la fabbricazione di mobili di qualità, listelli per pavimenti (parquet), piccoli oggetti (pipe), strumenti musicali (chitarre) e soprattutto attrezzi sportivi proprio grazie alla sua insuperabile elasticità: remi, racchette da tennis, mazze da golf, mazze da baseball, archi di tipo inglese, bastoni da hockey, slitte	Medio
Ginkgo biloba	Nessun utilizzo indicato	Trascurabile
Gleditsia triacanthos	Nessun utilizzo indicato	Trascurabile
Juglans nigra	Più duro e scuro del noce nazionale e tende a scolorirsi	Alto

	nel tempo. È leggermente meno costoso. Stesso uso.	
Juglans regia	Usato per mobili e infissi di pregio, falegnameria fine, parquet. La radica di noce è usata in tornitura ed ebanisteria	Alto
Koelreuteria paniculata	Scarso interesse commerciale	Trascurabile
Laurus nobilis	Impiegato per lavori da tornio e intaglio	Basso
Ligustrum lucidum	Nessun utilizzo indicato	Trascurabile
Ligustrum ovalifolium	Scarso interesse commerciale	Trascurabile
Liquidambar styraciflua	Nessun utilizzo indicato	Trascurabile
Liriodendron tulipifera	Usato per lavori di falegnameria e nelle costruzioni navali	Alto
Magnolia grandiflora	Usato per lavori di tornitura, come fodere di coltelli tipici della tradizione giapponese e cinture di legno in alternativa al cuoio	Medio
Malus spp	Impiegato nella realizzazione di mobili di tipo comune, lavori di tornitura e di ebanisteria, strumenti musicali, utensili da lavoro e contenitori dove affinare la grappa.	Medio
Melia azedarach	Il legno è utilizzato per l'impiallacciatura del mobilio o per la realizzazione di parquet	Medio
Morus spp	Un tempo usato per fare piccoli attrezzi agricoli, mastelli, secchi, doghe per botti, parti di imbarcazioni, liste per pavimenti, lavori di tornitura ed ebanisteria	Medio
Ostrya carpinifolia	Trova impiego come ottima legna da ardere e per la produzione di carbonella. Per la sua resistenza all'usura, è usato per la realizzazione di piccoli attrezzi, stecche da biliardo, parti di strumenti musicali (pianoforti), serramenti, manici di utensili, ruote idrauliche ed ingranaggi, viti di pressione, carri agricoli.	Basso
Parrotia persica	Nessun utilizzo indicato	Trascurabile
Photinia x fraseri	Scarso interesse commerciale	Trascurabile
Picea abies	Impiegato per mobili ordinari, lavori di ebanisteria,	Medio

	strumenti musicali, casse d'imballaggio, fiammiferi, non adatto per infissi esterni	
Pinus pinea	Utilizzato per la realizzazione di mobili comuni, oltre che pannelli e cellulosa	Medio
Platanus x acerifolia	Impiegato per fabbricare mobili comuni e, essendo adatto ad essere tornito, utensili domestici	Medio
Populus alba	Usato per falegnameria andante e mobili di uso comune	Basso
Populus nigra	Utilizzato soprattutto per pasta da carta e compensati, ma trova impiego anche nella realizzazione di mobili di uso comune, che però sono soggetti facilmente ad ammaccature a causa della morbidezza del legno, e per palettine per gelato, essendo inodore ed insapore. I tronchi mazzati, in particolare quelli del pioppo nero, vengono trasformati in ricercati impiallacci pregiati	Basso
Prunus avium	Usato per mobili di pregio, ebanisteria, tornitura, stipetteria, listelli per pavimenti (parquet) e talvolta strumenti musicali.	Alto
Pterocarya fraxinifolia	Nessun utilizzo indicato	Trascurabile
Quercus cerris	È usato soprattutto come legna da ardere e talvolta per falegnameria grossolana	Basso
Quercus ilex	Usato come legna da ardere	Trascurabile
Quercus pubescens	È usato soprattutto come legna da ardere e talvolta per falegnameria grossolana	Basso
Quercus robur	Usato per mobili pregiati, listelli per pavimenti (parquet), doghe per botti, costruzioni navali.	Alto
Salix alba	Usato per mobili rustici, scheletri di sedie e poltrone, zoccoli e soles ortopediche	Medio
Sambucus nigra	Scarso interesse commerciale	Trascurabile
Sophora spp	Nessun utilizzo indicato	Trascurabile
Taxus baccata	Ottimo per mobili fini, lavori al tornio, ebanisteria (se trattato con sali di ferro, diventa nero come l'ebano), sculture, liste per pavimenti, pioli per scale, manici.	Alto
Tilia x vulgaris	Falegnameria fine (talvolta tinteggiato per assomigliare al noce od al ciliegio), tornitura ed ebanisteria, oltre che nella manifattura cornici, giocattoli, strumenti musicali	Medio

	(molto usato per il corpo di una famosa marca di chitarre), modellismo, matite, fiammiferi	
Ulmus americana	Fabbricazione di mobili di uso quotidiano, oltre che parquet e casse da imballaggio	Alto
Ulmus minor	Fabbricazione di mobili di uso quotidiano, oltre che parquet e casse da imballaggio	Alto
Viburnum tinus	Scarso interesse commerciale	Trascurabile

Sulla base di quanto riportato e delle classi di qualità alta, media, bassa, trascurabile è stato attribuito un punteggio da 0 a 5.

c. Monitoraggio

Le stazioni tradizionali di controllo della qualità dell'aria a postazione fissa normalmente presenti nelle città forniscono dati accurati ma solo in poche posizioni.

L'installazione di sensori sulla struttura arborea o comunque nell'area di intervento, permetterebbe di monitorare le concentrazioni di gas ed inquinanti e confrontarli con le concentrazioni riscontrate da centraline ARPAT o di altra proprietà posizionate al di fuori dell'area di intervento, così da analizzare le fluttuazioni e le variazioni.

Nel caso in cui i progetti prevedano l'introduzione di sensori che permettano un monitoraggio nel tempo dei benefici apportati dalle nuove installazioni in termini di concentrazione di CO₂ od inquinanti, verranno attribuiti 5 punti.

5. Best practices

Un aspetto fondamentale per la fissazione del carbonio in ambiente urbano è la scelta di specie che siano idonee ad espletare tale funzione oltre che adatte alle condizioni ambientali del sito in cui saranno messe a dimora. Nello specifico per massimizzare la fissazione di carbonio vanno adottati i seguenti criteri:

- privilegiare specie a rapido accrescimento e longeve;
- privilegiare specie che a maturità raggiungono grandi dimensioni;
- privilegiare specie che siano resistenti alle malattie e, in ambito urbano, agli stress legati all'inquinamento. In ogni caso è importante mantenere la copertura arborea sostituendo prontamente gli individui morti;
- privilegiare specie in grado di riprodursi e quindi di rinnovare in modo economico la formazione costituita o di espandersi autonomamente in aree limitrofe all'impianto;
- privilegiare specie pioniere a rapida crescita in ambiti di antosuoli ricchi in detrito o comunque di suoli sottili;
- scegliere specie diverse, ma con uguali esigenze di gestione (irrigazione, potature, fertilizzazioni, etc.). In particolare, privilegiare quelle specie con ridotte esigenze di manutenzione e che richiedono minimi interventi di potatura;
- preservare il carbonio sequestrato nel suolo riducendo i disturbi a carico delle radici: la quantità di carbonio stoccato nel suolo è infatti superiore a quella presente nella vegetazione quindi alterazioni anche minime possono incidere significativamente sulla capacità dell'area forestata di sequestrare carbonio;
- realizzare gli interventi di forestazione su superficie per quanto possibile ampie, così da poter mettere a dimora un maggior numero di piante.

Fattore da non trascurare nella progettazione di una riforestazione urbana è la biodiversità.

Il concetto di biodiversità si riferisce comunemente alla diversità della vita sulla terra, in tutte le sue forme e differenze. La componente ecologica e ambientale è rappresentata dalla ricchezza di specie presenti e dalla variabilità del loro patrimonio genetico, entrambe alla base

dei processi di adattamento e resilienza alle variazioni ambientali (Ricklefs, 2006). A seguito delle trasformazioni ambientali, nuove specie con caratteri peculiari compaiono grazie all'affermazione di interazioni geniche che si determinano per ricombinazione dei geni presenti. Maggiore è la variabilità genetica presente più elevata risulterà di conseguenza la capacità della vita di rispondere al cambiamento. Un altro fattore fondamentale è l'influenza positiva della biodiversità sulla resilienza degli ecosistemi, intesa come capacità di superare eventi anomali e ripristinare le condizioni di stabilità iniziali (Peterson et al., 1998). Uno studio condotto da Tobner nel 2014, si proponeva di misurare la biodiversità in funzione del numero di specie arboree presenti e del loro grado di diversità funzionale (quest'ultima misura la biodiversità dal punto di vista funzionale sulla base delle caratteristiche delle specie come i tratti fisiologici, morfologici ed ecologici).

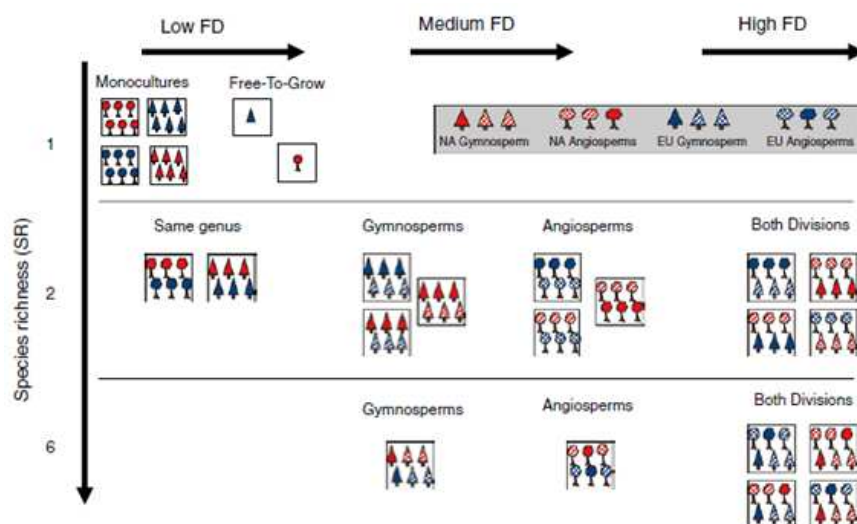


Figura 5: Relazione tra livello di diversità funzionale e numero di specie presenti (Tobner 2014)

Un basso grado di diversità funzionale (FD) viene attribuito a specie arboree dello stesso genere provenienti da uno o più continenti, alle monoculture ed ad alberi isolati; un grado medio di FD è attribuito a specie della medesima categoria (angiosperme o gimnosperme) ed infine un grado elevato di FD a sistemi misti angiosperme e gimnosperme.

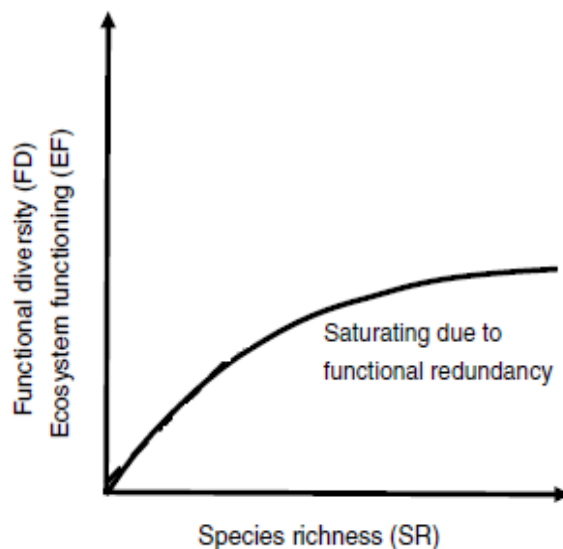


Figura 6: Relazione tra FD e SR (Tobner 2014)






Tuttavia, viene evidenziato come la correlazione non sia lineare: all'aumentare del numero di specie presenti non si ha una crescita proporzionale della FD poiché tale scenario presupporrebbe che ogni specie sia funzionalmente unica ed esclusiva, mentre nella realtà della complessità dei sistemi naturali è inevitabile un certo grado di ridondanza di tratti.





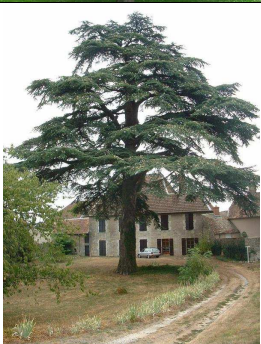

Importanza nella scelta delle specie deve essere data anche alla varietà decidue/semperverdi. Questa varietà comporta diversi benefici aggiunti: un'alternanza di specie semperverdi a decidue nella stagione primaverile ed estiva permette di massimizzare il sequestro di CO₂ ed inquinanti e parallelamente aiuta a schermare gli edifici ed altre aree sociali dai raggi solari, creando zone d'ombra e mitigando le temperature. Durante la stagione autunnale ed invernale, d'altro canto, la perdita di parte della chioma lascia passare i raggi solari e la luce, contribuendo così ad instaurare un comfort termico interno adeguato ed a limitare l'uso di energia elettrica, essa stessa responsabile dell'emissione di CO₂.







Per concludere, nella scelta delle specie da mettere a dimora non può essere tralasciato un accenno al divieto di introduzione di specie aliene invasive che possano causare impatti più o meno gravi, su singole specie o ecosistemi attraverso meccanismi come la competizione, ibridazione e la trasmissione di malattie.

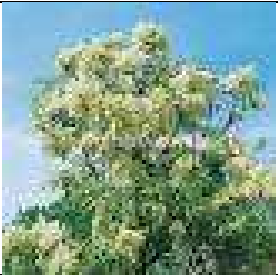





<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/linee-guida-di-forestazione-urbana-sostenibile-per-roma-capitale>






Allegato I – Caratteristiche delle specie più comuni







Specie	Decidue / sempreverdi	Immagine
Abies alba	Sempreverdi	
Acer campestre	Decidue	
Acer platanoines	Decidue	
Acer pseudoplatanus	Decidue	
Aesculus hippocastanum	Decidue	







Alnus	Decidue	
Betula pendula	Decidue	
Carpinus betulus	Decidue	
Catalpa bignonioides	Decidue	
Cedrus spp	Sempreverdi	
Celtis australis	Decidue	







Cercis siliquastrum	Decidue	
Cornus mas	Decidue	
Corylus columna	Decidue	
Cupressus sempervirens	Sempreverdi	
Fagus sylvatica	Decidue	
Fraxinus excelsior	Decidue	







Fraxinus ornus	Decidue	
Fraxinus oxycarpa	Decidue	
Ginkgo biloba	Decidue	
Gleditsia triacanthos	Decidue	
Juglans nigra	Decidue	
Juglans regia	Decidue	


<p>Koelreuteria paniculata</p>	<p>Decidue</p>	
<p>Laurus nobilis</p>	<p>Sempreverdi</p>	
<p>Ligustrum lucidum</p>	<p>Sempreverdi</p>	
<p>Ligustrum ovalifolium</p>	<p>Sempreverdi</p>	
<p>Liquidambar styraciflua</p>	<p>Decidue</p>	
<p>Liriodendron tulipifera</p>	<p>Decidue</p>	

Magnolia grandiflora	Sempreverdi	
Malus spp	Decidue	
Melia azedarach	Decidue	
Morus spp	Decidue	
Ostrya carpinifolia	Decidue	
Parrotia persica	Decidue	

Photinia x fraseri	Sempreverdi		
Picea abies	Sempreverdi		
Pinus pinea	Sempreverdi		
Platanus x acerifolia	Decidue		
Populus alba	Decidue		
Populus nigra	Decidue		

Prunus avium	Decidue	
Pterocarya fraxinifolia	Decidue	
Quercus cerris	Decidue	
Quercus ilex	Sempreverdi	
Quercus pubescens	Decidue	
Quercus robur	Decidue	

Salix alba	Decidue	
Sambucus nigra	Decidue	
Sophora spp	Sempreverdi	
Taxus baccata	Sempreverdi	
Tilia x vulgaris	Decidue	
Ulmus americana	Decidue	

Ulmus minor	Decidue	
Viburnum tinus	Sempreverdi	