



Can trees and shrubs make cities quieter? the role of urban forests in mitigating noise pollution

Alberi e arbusti possono rendere le città più silenziose? Il ruolo delle foreste urbane nella mitigazione dell'inquinamento sonoro

Mario Pagano ^{(a)(*)} - Veronica Amodeo ^(b) - Francesco Belli ^(c) - Giacomo Mocarli ^(c)
Simone Secchi ^(b)

^(a) Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri, Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRET-CNR); via Madonna del Piano 10 - 50019 Sesto Fiorentino (FI).

^(b) Dipartimento di Architettura (DIDA), Università degli Studi di Firenze; via della Mattonaia 8 - 50121 Firenze.

^(c) Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze; Piazzale delle Cascine 18 - 50144 Firenze, Italia.

(*) Corresponding Author; mariopagano.81@gmail.com

Abstract: Environmental noise pollution is widely recognized as a major source of environmental degradation worldwide, with road traffic representing the predominant contributor in urban areas. Exposure to sound levels above 55 dBA is associated with significant health risks, including sleep disturbances, psychosocial stress, and cardiovascular effects, as highlighted by the World Health Organization. Urban green spaces have emerged as an effective strategy for mitigating noise exposure, not only through physical sound attenuation mechanisms but also by providing psychological restoration that can reduce perceived noise annoyance. Dense vegetation barriers - particularly multilayered arrangements combining trees, shrubs, and ground cover - can provide considerable attenuation at medium and high frequencies. Species selection is therefore crucial and must consider climatic suitability, evergreen foliage, rapid growth, and planting density. However, the acoustic performance of vegetation is limited by physiological stressors typical of urban environments, including drought, heat, and pollution, which reduce plant vitality and thus their ecosystem service provision. ISO 9613-2 provides standardized methods for estimating attenuation due to foliage, showing modest but measurable reductions that increase with forest density and frequency. Overall, when properly designed, maintained, and integrated with site specific acoustic conditions, vegetation represents a multifunctional and ecologically valuable tool for mitigating urban noise and improving environmental and human well-being. Therefore, the purpose of this review is to evaluate the acoustic mitigation potential of urban forests, analyzing both the physical and psychological mechanisms involved, species-specific performance, and the operational limitations imposed by urban stressors and standard international predictive models.

Key words: urban forests; noise pollution; sound absorption; Nature-Based Solutions (NBS).

Citation: Pagano, M., Amodeo, V., Belli, F., Mocarli, G., & Secchi, S. (2026). Alberi e arbusti possono rendere le città più silenziose? Il ruolo delle foreste urbane nella mitigazione dell'inquinamento sonoro. *L'Italia Forestale e Montana*, 81(2), 91–102. <https://dx.doi.org/10.36253/ifm-1238>

Received: 05/03/2026 **Revised version:** 09/06/2026 **Published online:** 07/07/2026

1. INTRODUZIONE

L'inquinamento acustico è ampiamente riconosciuto come un fattore di degrado ambientale in ogni cultura (Khan et al., 2023). Nelle aree urbane, il traffico veicolare è la fonte dominante di inquinamento acustico (Margaritis & Kang 2017; Khan et al., 2023). Per l'essere umano, l'esposizione al rumore, in particolare a livelli superiori a 55 dBA, può essere causa di seri rischi per la salute, inclusi disturbi del sonno e stress psico-sociale (Dzhambov & Dimitrova, 2014; Dzhambov & Dimitrova, 2015). Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), il rumore ambientale rappresenta un importante rischio per la salute pubblica, con effetti che includono disturbi del sonno, stress psicofisiologico e effetti cardiovascolari. Le "Night Noise Guidelines for Europe" dell'OMS raccomandano un livello medio notturno (*Lnight*) all'esterno inferiore a 40 dBA per proteggere la salute, con un valore di 30 dBA suggerito per il rumore interno nelle camere da letto durante la notte (World Health Organization, 2009). In questo contesto, l'aumento degli spazi verdi urbani è considerato una strategia utile per mitigare l'esposizione al rumore delle persone e migliorare la qualità della vita urbana (Margaritis & Kang, 2017; Ferrini et al., 2020). Oltre agli effetti fisici, gli spazi verdi fungono da "cuscinetto psicologico" contro l'impatto negativo del rumore, un aspetto cruciale dell'igiene ambientale (Dzhambov & Dimitrova, 2014). La vegetazione influisce sulla percezione del rumore da parte delle persone (Dzhambov & Dimitrova, 2014). Si stima che la vegetazione arborea e arbustiva con opportune densità di impianto possa mitigare la percezione negativa del rumore con un impatto sul benessere simile a una riduzione di 10 dB (corrispondente a una riduzione a un decimo dell'energia sonora) nel livello sonoro (Ferrini et al., 2020). Inoltre, la

vicinanza a uno spazio verde è stata associata a una minore *annoyance* da rumore (Dzhambov & Dimitrova, 2015). In generale, vi è un forte e coerente consenso sul fatto che una maggiore composizione e configurazione degli spazi verdi sia collegata a una diminuzione dei livelli di rumore antropogenico (Stuhlmacher et al., 2024). Sotto il profilo psicologico, un ruolo determinante è svolto dal mascheramento visivo: l'interruzione della linea di vista tra il ricettore e la sorgente di rumore operata da una fitta barriera verde riduce significativamente la percezione soggettiva del disturbo acustico, determinando una minore sensazione di fastidio (*annoyance*) a parità di decibel reali (Van Renterghem & Botteldooren, 2016). A questo effetto si somma la componente del mascheramento sonoro naturale (*soundscape*): i suoni biologici e geofisici generati dall'infrastruttura verde - quali il fruscio delle fronde mosse dal vento e il canto degli uccelli - introducono uno sfondo sonoro acusticamente gradevole in grado di mascherare parzialmente le frequenze più irritanti del rumore urbano (De Coensel et al., 2011). Uno studio di Biocca et al. (2019) ha valutato l'efficacia acustica di siepi di *Prunus laurocerasus* L. (lauroceraso) e *Laurus nobilis* L. (alloro), analizzando in particolare come la loro densità influenzi la capacità di ridurre il rumore. Le prove sperimentali, condotte utilizzando due diverse sorgenti sonore, hanno evidenziato attenuazioni significative solo nel caso di rumori ad alta frequenza (come quello prodotto da un decespugliatore) e unicamente quando la porosità ottica delle siepi era inferiore al 4,6%. La riduzione media osservata è stata pari a 2,7 dB(A), con picchi fino a 7 dB(A) alle frequenze più elevate. La siepe più performante, composta da quattro file di alloro con una porosità dello 0,7%, ha registrato un'attenuazione media di 4,6 dB(A), confermando che le migliori prestazioni si ottengono con porosità inferiori all'1% (Biocca et al.,

2019). Un altro studio, condotto da Yasin et al. (2020), ha invece analizzato l'inquinamento acustico generato da una strada molto trafficata di Yogyakarta (Indonesia), dove nelle ore di punta sono stati misurati livelli sonori di circa 62 dB(A). In particolare, in questo studio gli autori propongono l'impiego del bambù come barriera verde, in quanto questa specie presenta le seguenti caratteristiche vantaggiose: crescita estremamente rapida, elevata capacità di assorbire CO₂ ed efficacia nel ridurre il rumore, resa possibile dalla struttura fitta e flessibile. A tale riguardo gli autori concludono che il bambù può contribuire a riduzioni dell'ordine di 5-8 dB, configurandosi come una soluzione ecologica e adatta alle aree urbane ad alta intensità di traffico (Yasin et al., 2020). Pertanto, nel complesso le evidenze disponibili confermano che la vegetazione, se adeguatamente progettata e gestita, rappresenta uno strumento efficace e multifunzionale per mitigare l'inquinamento acustico urbano, migliorare il benessere psicofisico della popolazione e contribuire alla qualità ambientale delle città. Lo scopo principale del presente lavoro è stato quello di fornire una rassegna critica e aggiornata della letteratura scientifica internazionale riguardante la capacità multifunzionale della vegetazione urbana nella mitigazione del rumore. Per fare ciò, la ricerca della letteratura scientifica è stata condotta attraverso la consultazione dei principali database accademici internazionali e motori di ricerca bibliografici, con particolare riferimento a Web of Science, Scopus e Google Scholar.

2. CONCETTI BASE DI ACUSTICA

Il suono è un'onda di pressione generata da un oggetto in vibrazione e si propaga attraverso corpi elastici (gas, liquidi o solidi). Le

sue principali caratteristiche sono la frequenza, espressa in Hertz (Hz), il livello di pressione sonora, misurata in decibel (dB), e il timbro, ovvero quella qualità della percezione uditiva che permette a un ascoltatore di distinguere due suoni come differenti, anche quando vengono presentati nello stesso modo e hanno la stessa intensità e altezza tonale (Houtsma, 1997). Un'oscillazione completa di un'onda sonora è chiamata ciclo; la frequenza indica quanti cicli si verificano in un secondo. Ad esempio, 1 Hz corrisponde a un ciclo al secondo (Pagano & Del Prete, 2024). Il tempo necessario per completare un'oscillazione si chiama periodo, T , si misura in secondi, e corrisponde al reciproco della frequenza. In acustica, la scala della pressione sonora è costruita in modo che un aumento di dieci volte dell'energia trasportata dall'onda corrisponda a un incremento di 1 bel. Tuttavia, l'unità di misura bel risulta spesso troppo grande per un uso pratico. Per questo motivo si preferisce utilizzare il decibel (dB), che corrisponde a un decimo di bel (1 dB = 0,1 bel). Il livello di pressione sonora (L_p) viene espresso come il logaritmo del rapporto al quadrato tra due pressioni sonore: una misurata (p) e una di riferimento (p_{ref}).

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^2$$

Nell'aria, l'intensità sonora diminuisce in modo proporzionale all'inverso del quadrato della distanza dalla sorgente, ovvero secondo il rapporto $1/r^2$, dove r rappresenta la distanza dal punto di emissione (Kuperman & Roux, 2007; Pagano & Del Prete, 2024). Nell'ambito dello spettro acustico, le frequenze più basse sono classificate come infrasuoni, con valori inferiori a circa 20 Hz. Al contrario, si parla di ultrasuoni quando la frequenza supera i 20.000 Hz. Tali onde sonore sono ampiamente utilizzate in medicina da oltre cinquant'an-

ni, sia per scopi diagnostici che terapeutici (O'Brien, 2007; Whittingham, 2007; Rokhina et al., 2009). Il suono udibile dall'orecchio umano si colloca invece tra i 20 e i 20.000 Hz (Pagano & Del Prete, 2024).

3. L'EFFETTO DELLA VEGETAZIONE NELL'ATTENUAZIONE DEL RUMORE

A livello scientifico è riconosciuto che la vegetazione può attenuare il suono attraverso una combinazione di meccanismi fisici (Dzhambov & Dimitrova, 2014). Tra questi rientrano la riflessione e la diffusione delle onde sonore da parte di fusti, rami e foglie (Nunho dos Reis et al., 2022; Manasa et al., 2023), mentre una parte dell'energia acustica può essere assorbita dagli elementi vegetali e trasformata in vibrazioni meccaniche (Dzhambov & Dimitrova, 2014; Khan et al., 2023). L'efficacia acustica delle barriere vegetali dipende da un insieme complesso di fattori fisici e biologici, tra cui la densità e la composizione della fascia arborea, la larghezza e l'altezza complessiva, nonché le caratteristiche del terreno e la frequenza del rumore incidente. Studi pionieristici in questo settore furono condotti da Cook e D. F. van Haverbeke nel 1971 (Cook & Van Haverbeke, 1971), e successivamente approfonditi dallo stesso Cook nel 1980 (Cook, 1980). L'attenuazione prodotta dal fogliame di alberi o cespugli è in genere molto limitata e per ottenere effetti non trascurabili di schermatura è necessario che la vegetazione sia molto densa, tale almeno da nascondere completamente la vista della sorgente. Ad esempio, per una barriera vegetale spessa circa 30 metri si può prevedere una fascia composta da siepi di 2-3 metri di altezza sul lato verso la sorgente di rumore, e per il resto da alberi di 10 metri e oltre, appartenenti a specie diverse, non caducifoglie e selezionate per garantire una più efficace at-

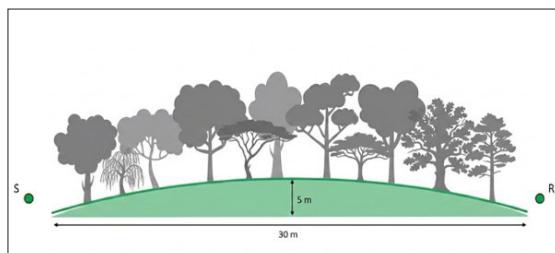


Figura 1 - Esempio di fascia arborea su terrapieno, molto efficace nell'attenuazione sonora.

nuazione del suono. Tuttavia, la realizzazione della succitata fascia arborea su un terrapieno consentirebbe di incrementare l'efficacia della barriera acustica, garantendo al contempo un adeguato inserimento paesaggistico e un'attenuazione del rumore sin dalle prime fasi di impianto (Figura 1).

4. SELEZIONE DELLE SPECIE PER LA MITIGAZIONE DEL RUMORE URBANO

Nella selezione delle specie arboree per la realizzazione di una fascia con caratteristiche fonoisolanti, è opportuno considerare che:

- le specie siano adatte alle condizioni climatiche dell'area d'intervento;
- abbiano fogliame fitto e siano preferibilmente sempreverdi;
- abbiano una crescita rapida e possano essere piantate fittamente;
- siano facili da mantenere e poco soggette a malattie.

L'attenuazione sonora dipende principalmente dallo spessore della fascia, dall'altezza dell'alberatura, dalla densità della piantagione e solo in seconda battuta dalle caratteristiche morfologiche delle piante, come la forma delle foglie o la lunghezza dei rami. Ciò avviene perché gli effetti di diffusione e diffrazione risultano prevalenti su quello di assorbimento. L'attenuazione dipende inoltre significativamente dalla frequenza dei suoni che investo-

no la fascia arborea, risultando maggiore nel campo delle alte frequenze. Valori indicativi dell'attenuazione, espressa in dB/100 m in funzione della frequenza, mostrano come le specie sempreverdi siano particolarmente idonee alla realizzazione di barriere acustiche, mentre le specie caducifoglie presentino una ridotta efficacia nei periodi di assenza del fogliame. La vegetazione sempreverde si conferma pertanto più adatta nei casi in cui si desideri garantire un effetto fonoisolante continuo durante tutto l'anno. L'efficacia della mitigazione del rumore è strettamente legata alla configurazione, alla densità e al tipo di vegetazione utilizzata (Ferrini et al., 2020). In particolare, variabili come la larghezza, l'altezza e la densità delle cinture arboree influenzano significativamente la riduzione del rumore (Fang & Ling, 2003). In generale, per massimizzare l'attenuazione del rumore è consigliata una composizione vegetale pluristratificata, che combini alberi, arbusti e coperture del suolo (Ferrini et al., 2020).

5. IDONEITÀ DELLE SPECIE VEGETALI ALLA RIDUZIONE DEL RUMORE

La vegetazione arborea urbana contribuisce alla mitigazione del rumore attraverso l'assorbimento e la diffusione delle onde sonore. Rispetto alle barriere antirumore artificiali, le piante offrono vantaggi multipli, combinando valore estetico e miglioramento delle condizioni ecologiche urbane (Joshi et al., 2013). Anche le infrastrutture verdi, come i tetti verdi, garantiscono buone prestazioni in termini di assorbimento acustico, con il substrato e la morfologia vegetale che influenzano il comportamento acustico complessivo (Tadeu et al., 2024). Inoltre, la composizione e la densità della copertura arborea risultano direttamente correlate ai livelli di rumore attenuati (Nunho

Tabella 1 - La tabella riassume le specie vegetali adatte alla funzione di barriera sonora. Tabella rielaborata da Khan et al. (Khan et al., 2023).

SPECIE VEGETALI	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO
<i>Thuja occidentalis</i>	(Lanphear, 1971)
<i>Bambusa</i> spp.	(Huda et al., 2012)
<i>Abies</i> spp.	(Maleki & Hosseini, 2011)
<i>Picea</i> spp.	(Renterghem et al., 2003)
<i>Laurus nobilis</i>	(Martínez-Sala et al., 2006)
<i>Prunus laurocerasus</i>	(Biocca et al., 2019)
<i>Cupressus atlantica</i> 'Glaucua'	(Erdogan & Yazgan, 2009)
<i>Illicium anisatum</i>	(Wang et al., 2014)
<i>Pinus sylvestris</i>	(Ozer et al., 2008)
<i>Populus nigra</i>	(Ozer et al., 2008)
<i>Tamarix tetrandra</i>	(Irmak & Yilmaz, 2008)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	(Miltiadou et al., 2018)
<i>Terminalia arjuna</i>	(Pandey et al., 2015)
<i>Lagerstroemia</i> spp.	(Jumingan et al., 2016)
<i>Nerium oleander</i>	(Joshi et al., 2020)
<i>Viburnum tinus</i>	(Fan et al., 2010)
<i>Murraya paniculata</i>	(Pathak et al., 2008)
<i>Broussonetia papyrifera</i>	(Gini et al., 2012)
<i>Platycladus orientalis</i>	(Fredianelli et al., 2019)
<i>Pyracantha coccinea</i>	(Mutlu & Onder, 2012)
<i>Cornus alba</i>	(Esmeray & Eren, 2021)
<i>Pittosporum coccineum</i>	(Gratani & Varone, 2013)
<i>Pittosporum tobira</i>	(Gratani & Varone, 2013)
<i>Berberis thunbergii</i>	(Mutlu & Onder, 2012)
<i>Euonymus japonicus</i>	(Zhu et al., 2019)

dos Reis et al., 2022). Nella tabella 1 è riportato l'elenco delle specie che, secondo la bibliografia, sono considerate idonee a svolgere la funzione di barriera sonora. Tuttavia, l'efficacia dei processi di mitigazione acustica di una barriera vegetale dipende in modo sostanziale dallo stato fisiologico e dalle caratteristiche strutturali delle essenze che la compongono, nonché dalle condizioni ambientali a cui viene esposta.

6. GLI ALBERI NELL'AMBIENTE URBANO

Gli alberi in ambiente urbano sono soggetti a numerose fonti di stress che incidono negativamente sui processi fisiologici e riducono la capacità di fornire servizi ecosistemici essenziali come, ad esempio, il miglioramento della qualità dell'aria e l'attenuazione dell'inquinamento acustico. Siccità, stress termico e inquinamento rappresentano i principali fattori di stress in ambito urbano, risultando particolarmente critici nel contesto del cambiamento climatico (Kopecká et al., 2023; Zhang et al., 2023; Pagano et al., 2025). In particolare, lo stress da siccità, associato a una ridotta umidità del suolo e a elevati tassi di traspirazione, compromette la crescita e può causare danni strutturali, con un conseguente aumento della mortalità delle specie arboree poste a dimora (Muhammad et al., 2024; Hörmann et al., 2025). Lo stress termico riduce la produttività e la funzionalità complessiva delle piante (Alabdallah et al., 2024), mentre l'inquinamento ambientale, dovuto alle attività antropiche, provoca l'accumulo di sostanze inquinanti nell'acqua, nel suolo e nell'aria, costituendo una grave minaccia per gli ecosistemi e per la salute umana. Nel complesso, queste condizioni compromettono la fotosintesi e i relativi processi metabolici, determinando in ultima analisi una riduzione della funzionalità degli alberi posti a dimora (Siddiqi et al., 2025).

7. MODELLI PREVISIONALI DELL'EFFETTO DEL FOGLIAME SULL'ATTENUAZIONE SONORA

La valutazione dell'efficacia delle masse arboree nell'attenuare la propagazione del suono è complessa, poiché intervengono diversi fenomeni: l'assorbimento sonoro da parte di fogliame e rami, la diffrazione acustica sugli ostacoli, l'effetto suolo dovuto all'incidenza radente delle onde sonore sulla superficie, nonché effetti meteorologici come gradienti di temperatura, vento e altri fattori. Tutti questi processi dipendono dalla frequenza del suono e generalmente determinano un'attenuazione più efficace alle frequenze medie e alte. La complessità aumenta considerando che la propagazione sonora su lunghe distanze non avviene sempre in linea retta: può verificarsi una deviazione del percorso dell'onda acustica, con la conseguenza che lo spessore di vegetazione effettivamente attraversato dal suono risulta inferiore a quello suggerito dalla semplice proiezione in pianta dell'area boscata (vedi figura 2). La norma di riferimento per il calcolo della propagazione sonora in ambiente esterno è la ISO 9613-2 (International Organization for Standardization, 2024), la quale specifica i metodi di calcolo dell'attenuazione dovuta a fogliame. La norma prevede due distinti metodi di calcolo, uno semplificato ed uno dettagliato che forniscono l'attenuazione sonora in dB in funzione dello spessore di fogliame at-

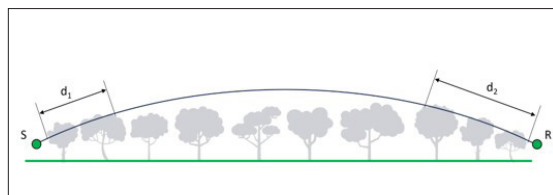


Figura 2 - Andamento della linea di propagazione sonora su lunghe distanze. S = sorgente sonora; R = ricevitore. Il raggio di curvatura del percorso di propagazione sonora si assume pari a 5 km. (Fonte: International Organization for Standardization, 2024).

Tabella 2 - Attenuazione sonora in bande di ottava in funzione della distanza d_f attraverso fogliame denso. (Fonte: International Organization for Standardization, 2024).

Spessore di fogliame attraversato, d_f (m)	Frequenza (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$10 \leq d_f \leq 20$	Attenuazione (dB)							
	0	0	1	1	1	1	2	3
$20 \leq d_f \leq 200$	Attenuazione (dB/m)							
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

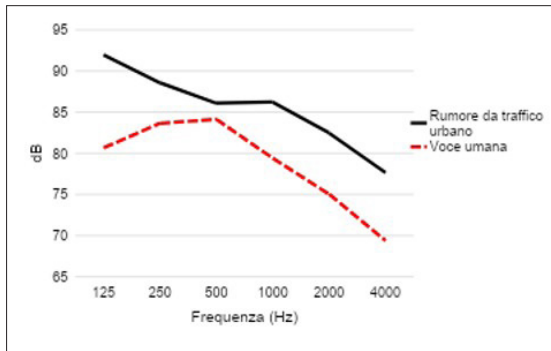


Figura 3 - Spettro tipo del rumore da traffico urbano e della voce umana. Rielaborata da UNI EN ISO 717-1, 2021.

traversato dalla propagazione sonora. Secondo il metodo semplificato lo spessore di fogliame attraversato dal fronte di propagazione sonora, d_p , si ottiene come somma delle distanze d_1 e d_2 di figura 2.

In pratica, per distanze usuali in ambiente urbano (distanza tra sorgente e ricevitore minore di 100 metri) l'effetto della curvatura dei raggi sonori può tuttavia essere trascurata. Noto lo spessore di fogliame d_f attraversato dalla propagazione sonora, l'attenuazione è fornita, in forma semplificata, dalla tabella 2.

Si osserva che per spessori di fogliame compresi tra 10 e 20 metri l'attenuazione a media frequenza (500-1000 Hz) è compresa tra 1 e 2 dB complessivi. Nella valutazione dei dati riportati in tabella 2 e nelle successive, si

deve tenere conto che la frequenza dei rumori normalmente presenti in ambiente urbano è maggiore alle medie e basse frequenze sonore. In particolare, la forma tipica dello spettro del rumore da traffico urbano prevede livelli maggiori a bassa frequenza (sotto 500 Hz) mentre la forma tipica dello spettro della voce umana prevede un massimo a media frequenza (500 Hz) (Figura 3).

La ISO 9613-2 fornisce anche un metodo dettagliato di calcolo dell'attenuazione sonora da parte di fogliame che tiene conto di alcuni parametri forestali elencati in tabella 3 insieme al relativo range di variazione.

In tabella 4 si riportano invece, sempre secondo ISO 9613-2, i valori assunti dai diversi parametri per tre classi di foreste (leggera, media e densa), mentre in figura 4 i valori di attenuazione (in dB per chilometro di fogliame) in funzione della frequenza del suono per le stesse classi di foreste.

Si osserva che anche con il metodo dettagliato della ISO 9613-2 l'attenuazione a media frequenza (1000 Hz) varia all'incirca tra 12 e 57 dB per chilometro di fogliame a seconda della densità della foresta (tra 0,4 e 1,7 dB per 30 metri di spessore di fogliame). Nella lettura di questi dati si deve tenere conto che differenze inferiori a 1 dB risultano normalmente difficili da percepire dall'udito umano, mentre

Tabella 3 - Range di variazione dei parametri forestali. (Fonte: International Organization for Standardization, 2024).

PARAMETRO	UNITÀ	SIMBOLO	RANGE TIPICO
Diametro del fusto (<i>stem diameter</i>)	cm	D	10-40 cm
Area basale (<i>basal area</i>)	m ² /10 ⁴ m ²	G	15-50 m ² /10 ⁴ m ²
Volume di alberi in piedi (<i>standing stock</i>)	m ³ /10 ⁴ m ²	V	100.400 m ³ /10 ⁴ m ²
Strutturazione orizzontale - classe (<i>horizontal structuring - classing</i>)	1	S	0-2
Livello di contaminazione - classe (<i>low hight fouling - classing</i>)	1	Z	0-2

Tabella 4 - Classi di densità delle foreste e relativi parametri. (Fonte: International Organization for Standardization 2024).

SIMBOLO	UNITÀ	FORESTA LEGGERA	FORESTA NORMALE	FORESTA DENSE
D	cm	10	25	40
G	m ² /10 ⁴ m ²	15	32	50
V	m ³ /10 ⁴ m ²	100	250	400
S	-	0	1	2
Z	-	0	1	2

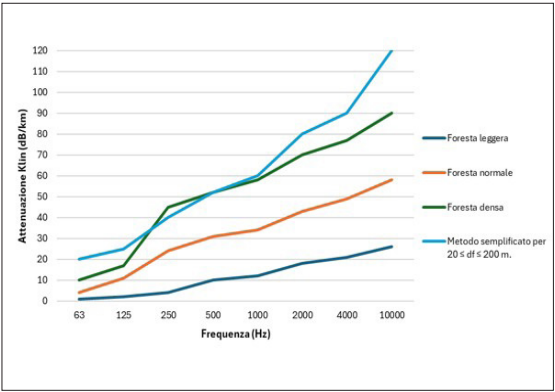


Figura 4 - Attenuazione sonora in funzione della frequenza per diverse classi di densità delle foreste (rielaborato da UNI EN ISO 9613-2).

una variazione di 3 dB, che corrisponde approssimativamente anche ad un dimezzamento dell'energia sonora, è normalmente ben percepibile. Si tratta comunque di quantità in generale esigue rispetto a quanto si trova in letteratura e che pertanto denotano un approccio cautelativo da parte della norma nella valutazione dell'efficacia acustica di barriere di fogliame. Si deve altresì tenere conto che queste quantità non tengono conto di altri effetti che possono avvenire nell'attraversamento di un'area boscata, come l'effetto suolo, che può generare attenuazioni anche molto significative a media frequenza del suono. L'effetto suolo è dovuto all'interferenza tra l'onda sonora di-

retta e l'onda riflessa dalla superficie del terreno, che può attenuare o rinforzare il suono a seconda della distanza, frequenza, angolo di incidenza e caratteristiche del suolo. In particolare, secondo ISO 9613-2 l'attenuazione è particolarmente significativa per incidenza del suono di tipo radente sul suolo (angoli di incidenza inferiori a 1°), con suoli porosi (ad esempio, manti erbosi, suoli arati o innevati) e per frequenze medie del suono (vedi figura 5). L'attenuazione dovuta ad effetto suolo può essere anche molto più significativa dell'attenuazione dovuta all'attraversamento di uno strato di fogliame ma avviene solo nelle condizioni sopra definite (incidenza radente, suoli

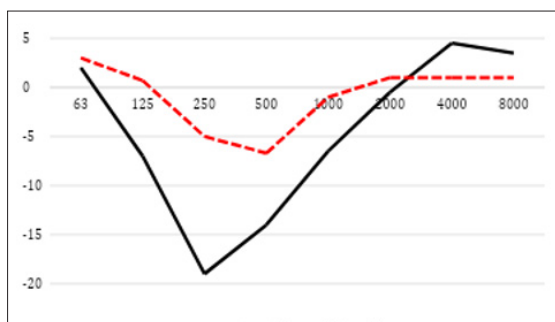


Figura 5 - Attenuazione per effetto suolo secondo lo studio di Roman Gołębiewski (2007) per suolo caratterizzato da resistività al flusso di 25 kPa s/m² (neve soffice o terreno di foresta) altezza della sorgente 0,5 m, altezza del ricevitore 1,2 m e distanza tra sorgente e ricevitore 40 m. (Rielaborata da Gołębiewski, 2007).

porosi, medie frequenze del suono), può essere condizionata da fattori di contesto (stato del suolo, effetti meteorologici ecc.) ed avviene comunque in concomitanza con altri fenomeni (diffrazione, riflessione) che ne possono ridurre l'effetto.

8. CONCLUSIONI

Gli studi analizzati hanno evidenziato che la capacità di attenuazione dipende soprattutto dalla densità, dall'altezza e dallo spessore della fascia vegetale, mentre le specie sempreverdi garantiscono risultati costanti durante tutto l'anno. Il caso del bambù evidenzia inoltre come alcune specie, oltre ad essere preferite per l'attenuazione del suono, possano offrire anche altri benefici particolarmente adatti a contesti fortemente antropizzati, come la rapida crescita in biomassa e la contestuale e veloce fissazione della CO₂, rendendole quindi idonee anche a contesti urbani in espansione. È importante, tuttavia, sottolineare che le barriere vegetali non possono sostituire completamente le barriere fisiche, come quelle in calcestruzzo o in altri materiali ad alta densità. La loro efficacia

è più limitata ma possono comunque contribuire in modo significativo al miglioramento del comfort acustico, integrando prestazioni tecniche, qualità ambientale e valore paesaggistico. Per quanto riguarda la comprensione dei meccanismi fisici e psicologici, questa analisi mette in luce come le ricerche esistenti mostrino una forte variabilità nei metodi di misurazione, rendendo difficile stabilire regole generalmente adeguate. Inoltre, vi è una mancanza di studi a lungo termine capaci di valutare l'efficienza acustica delle piante anche quando queste sono colpite dagli stress tipici delle città, come la siccità stagionale. Questi elementi suggeriscono la necessità di futuri approfondimenti capaci di integrare meglio i modelli matematici con la reale percezione del rumore da parte dei cittadini.

RIASSUNTO

L'inquinamento acustico ambientale è ampiamente riconosciuto come una delle principali cause di deterioramento ambientale a livello mondiale, con il traffico stradale che rappresenta la fonte predominante nelle aree urbane. L'esposizione a livelli sonori superiori a 55 dBA è associata a significativi rischi per la salute, tra cui disturbi del sonno, stress psicosociale ed effetti cardiovascolari, come evidenziato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Le aree verdi urbane si sono affermate come una strategia efficace per mitigare l'esposizione al rumore, non solo attraverso meccanismi fisici di attenuazione del suono, ma anche grazie alla capacità di favorire il recupero psicologico, riducendo così il fastidio percepito dovuto al rumore. Barriere vegetali dense, in particolare configurazioni multilivello che combinano alberi, arbusti e copertura erbacea, possono garantire una considerevole attenuazione delle frequenze medie e alte. La selezione delle specie vegetali riveste pertanto un ruolo cruciale e deve tenere conto dell'idoneità climatica, della persistenza del fogliame durante tutto l'anno, della rapidità di crescita e della densità di impianto. Tuttavia, le prestazioni acustiche della vegetazione sono limitate dagli stress fisiologici tipici degli ambienti urbani, tra cui siccità, elevate temperature e inquinamento, fattori

che riducono la vitalità delle piante e, di conseguenza, la loro capacità di fornire servizi ecosistemici. La norma ISO 9613-2 fornisce metodi standardizzati per la stima dell'attenuazione dovuta al fogliame, evidenziando riduzioni modeste ma misurabili che aumentano con la densità della copertura forestale e con la frequenza del suono. Nel complesso, se adeguatamente progettata, mantenuta e integrata con le specifiche condizioni acustiche del sito, la vegetazione rappresenta uno strumento multifunzionale ed ecologicamente prezioso per la mitigazione del rumore urbano e per il miglioramento della qualità ambientale e del benessere umano. Pertanto, lo scopo della presente revisione è valutare il potenziale di riduzione dell'impatto acustico delle foreste urbane, analizzando sia i meccanismi fisici e psicologici coinvolti, sia le prestazioni specifiche delle diverse specie vegetali, nonché le limitazioni operative imposte dagli stress tipici dell'ambiente urbano e dai modelli previsionali standardizzati a livello internazionale.

BIBLIOGRAFIA

- Alabdallah, N. M., Alluqmani, S. M., Almarri, H. M., & AL-Zahrani, A. A. (2024). Physical, chemical, and biological routes of synthetic titanium dioxide nanoparticles and their crucial role in temperature stress tolerance in plants. *Heliyon*, 10(4), e26537. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26537>
- Biocca, M., Gallo, P., Di Loreto, G., Imperi, G., Pochi, D., & Fornaciari, L. (2019). Noise attenuation provided by hedges. *Journal of Agricultural Engineering*, 50, 113–119. <https://doi.org/10.4081/jae.2019.889>
- Cook, D. I. (1980). Trees, solid barriers, and combinations: alternatives for noise control. In *Proceedings of the National Urban Forestry Conference, November 13–16, 1978, Washington D.C., USA* (pp. 330–339). State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, ESF Publication 80-003.
- Cook, D. I., & Van Haverbeke, D. F. (1971). *Trees and shrubs for noise abatement*. Nebraska Agricultural Experiment Station Research Bulletin, 246. University of Nebraska.
- De Coensel, B., Vanwetswinkel, S., & Botteldooren, D. (2011). Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(4), EL148–EL153. <https://doi.org/10.1121/1.3567073>
- Dzhambov, A., & Dimitrova, D. (2014). Urban green spaces' effectiveness as a psychological buffer for the negative health impact of noise pollution: A systematic review. *Noise and Health*, 16, 157. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.134916>
- Dzhambov, A. M., & Dimitrova, D. D. (2015). Green spaces and environmental noise perception. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 1000–1008.
- Erdogan, E., & Yazgan, M. (2009). Landscaping in reducing traffic noise problem in cities: Ankara case. *African Journal of Agricultural Research*, 4, 1015–1022.
- Esmeray, E., & Eren, S. (2021). GIS-based mapping and assessment of noise pollution in Safranbolu, Karabuk, Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 23(10), 15413–15431. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01303-5>
- Fan, Y., Zhiyi, B., Zhu, Z., & Jiani, L. (2010). The investigation of noise attenuation by plants and the corresponding noise-reducing spectrum. *Journal of Environmental Health*, 72, 8–15.
- Fang, C.-F., & Ling, D.-L. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63(4), 187–195. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00190-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00190-1)
- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., & Gori, A. (2020). Role of vegetation as a mitigating factor in the urban context. *Sustainability*, 12, 4247. <https://doi.org/10.3390/su12104247>
- Fredianelli, L., Pizzo, L., & Licitra, G. (2019). Recent developments in sonic crystals as barriers for road traffic noise mitigation. *Environments*, 6, 14. <https://doi.org/10.3390/environments6020014>
- Gini, R., Passoni, D., Pinto, L., & Sona, G. (2012). Aerial images from an uav system: 3d modeling and tree species classification in a park area. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B1, 361–366. <https://doi.org/10.5194/ispr-sarchives-XXXIX-B1-361-2012>
- Gołębiewski, R. (2007). Simple methods for determination of the acoustical properties of ground surfaces. *Archives of Acoustics*, 32, 827–837.
- Gratani, L., & Varone, L. (2013). Carbon sequestration and noise attenuation provided by hedges in Rome: the contribution of hedge traits in decreasing pollution levels. *Atmospheric Pollution Research*, 4(3), 315–322. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.035>
- Hörmann, V. J., Özgen-Xian, I., Beyer, M., Gerchow, M., Gillefalk, M., Hoppenbrock, J., Strohbach, M.

- W., Preidl, S., & Quambusch, M. (2025). Urban tree drought stress: A practitioner-focused review of detection and monitoring methods. *Hydrological Processes*, 39(10), e70298. <https://doi.org/10.1002/hyp.7029>
- Houtsma, A. J. M. (1997). Pitch and timbre: Definition, meaning and use. *Journal of New Music Research*, 26(2), 104–115. <https://doi.org/10.1080/09298219708570720>
- Huda, S., Reddy, N., & Yang, Y. (2012). Ultra-light-weight composites from bamboo strips and polypropylene web with exceptional flexural properties. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1658–1664. <https://doi.org/10.1016/j.composite-sb.2012.01.017>
- Irmak, M., & Yilmaz, H. (2008). Determination of the usability of woody plant species in Tortum - Creek Watershed for functional and aesthetical uses in the respect of landscape architecture. *Journal of Agricultural Faculty of Ataturk University*, 39(2), 181–190.
- Joshi, A., Deshmukh, V., Joshi, D. N., & Rane Acharakar, P. (2013). Studies on foliar sound absorption capacities of some urban trees by impedance tube method. *Pollution Research*, 32, 419–424.
- Joshi, N. C., Joshi, A. N., & Bist, B. (2020). *Phyto-monitoring and mitigation of air pollution by plants*. Semantic Scholar. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:226463369>; https://doi.org/10.1007/978-3-030-45669-6_5
- Jumangan, J., Dahlan, Z., & Setiabudidayana, D. (2016). Effect of architectural tree model to the noise level of motor vehicle on demang lebar daun street Palembang. *BIOVALENTIA: Biological Research Journal*, 2(2), 71–78. <https://doi.org/10.24233/BIOV.2.2.2016.35>
- Khan, S., Fatima, K., Hussain, S., Ali, M., Mannan, A., & Butt, N. (2023). Mitigation of noise pollution in urban areas by strategically planting trees and shrubs. *Journal CleanWAS*, 7, 41–47. <https://doi.org/10.26480/jcleanwas.01.2023.41.47>
- Kopecká, R., Kameniarová, M., Černý, M., Brzobohatý, B., & Novák, J. (2023). Abiotic stress in crop production. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6603. <https://doi.org/10.3390/ijms24076603>
- Kuperman, W., & Roux, P. (2007). Underwater acoustics. In T. D. Rossing (Ed.), *Springer Handbook of Acoustics* (pp. 149–204). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-30425-0_5
- Lanphear, F.O. (1971). Urban Vegetation: Values and Stresses. *HortScience*, 6(4), 332–334. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.6.4.332>
- Maleki, K., & Hosseini, S. M. (2011). Investigation of the effects of leaves, branches and canopies of trees on noise pollution reduction. *Environmental Sciences*, 8(4), 39–52.
- Manasa, C., Salimath, S., Hegde, R., Dechamma, D., & Gooli, M. (2023). Roles of trees for abatement of environmental pollution: A review. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 14, 1403–1410. <https://doi.org/10.23910/1.2023.4074>
- Margaritis, E., & Kang, J. (2017). Relationship between green space-related morphology and noise pollution. *Ecological Indicators*, 72, 921–933. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.032>
- Martínez-Sala, R., Rubio, C., García-Raffi, L. M., Sánchez-Pérez, J. V., Sánchez-Pérez, E. A., & Llinares, J. (2006). Control of noise by trees arranged like sonic crystals. *Journal of Sound and Vibration*, 291(1), 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.05.030>
- Miltiadou, M., Campbell, N. D. F., Gonzalez Aracil, S., Brown, T., & Grant, M. G. (2018). Detection of dead standing *Eucalyptus camaldulensis* without tree delineation for managing biodiversity in native Australian forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 67, 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.008>
- Muhammad, M., Waheed, A., Wahab, A., Majeed, M., Nazim, M., Liu, Y.-H., Li, L., & Li, W.-J. (2024). Soil salinity and drought tolerance: An evaluation of plant growth, productivity, microbial diversity, and amelioration strategies. *Plant Stress*, 11, 100319. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100319>
- Mutlu, Z., & Onder, S. (2012). Investigation of the noise reduction provided by bush belts in Konya, Turkey. *Journal of International Environmental Application & Science*, 7(1), 48–54.
- Nunho dos Reis, A., Biondi, D., & Oliveira, J. (2022). The role of urban green areas in noise pollution attenuation. *DYNA*, 89, 210–215. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n220.95822>
- O'Brien, W. D. (2007). Ultrasound–biophysics mechanisms. *Effects of Ultrasound and Infrasound Relevant to Human Health*, 93(1), 212–255. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.010>
- Ozer, S., Irmak, M. A., & Yilmaz, H. (2008). Determination of roadside noise reduction effectiveness of *Pinus sylvestris* L. and *Populus nigra* L. in Erzurum, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*,

- 144(1), 191–197. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9978-6>
- Pagano, M., & Del Prete, S. (2024). Symphonies of growth: Unveiling the impact of sound waves on plant physiology and productivity. *Biology*, 13(5), 326. <https://doi.org/10.3390/biology13050326>
- Pagano, M., Lunetta, E., Belli, F., Mocarli, G., Cocozza, C., & Cacciotti, I. (2025). Advancements in agricultural nanotechnology: An updated review. *Plants*, 14(18), 2939. <https://doi.org/10.3390/plants14182939>
- Pandey, A. K., Pandey, M., Mishra, A., Tiwary, S. M., & Tripathi, B. D. (2015). Air pollution tolerance index and anticipated performance index of some plant species for development of urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 866–871. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.08.001>
- Pathak, V., Tripathi, B. D., & Mishra, V. K. (2008). Dynamics of traffic noise in a tropical city Varanasi and its abatement through vegetation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146(1), 67–75. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-0060-1>
- Renterghem, T., Botteldooren, D., Cornelis, W., & Gabriels, D. (2003). Reducing screen-induced refraction of noise barriers in wind by vegetative screens. *Acta Acustica united with Acustica*, 88, 231–238.
- Rokhina, E. V., Lens, P., & Virkutyte, J. (2009). Low-frequency ultrasound in biotechnology: State of the art. *Trends in Biotechnology*, 27(5), 298–306. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.02.001>
- Siddiqi, K. S., Husen, A., Zahra, N., & Moheman, A. (2025). Harnessing silicon nanoparticles and various forms of silicon for enhanced plant growth performance under salinity stress: Application and mechanism. *Discover Nano*, 20(1), 89. <https://doi.org/10.1186/s11671-025-04270-2>
- Stuhlmacher, M., Woods, J., Yang, L., & Sarigai, S. (2024). How does the composition and configuration of green space influence urban noise?: A systematic literature review. *Current Landscape Ecology Reports*, 9(4), 73–87. <https://doi.org/10.1007/s40823-024-00099-0>
- Tadeu, A., Carrilho, J., Cortês, A., Ferreira, F., & Almeida, J. (2024). Acoustic absorption, scattering, and diffusion provided by green roof systems. *Building and Environment*, 262, 111778. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111778>
- UN UNI EN ISO 717-1:2021. (2021). *Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Isolamento acustico per via aerea*. UNI.
- UNI ISO 9613-2:2024. (2024). *Acustica - Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Parte 2: Metodo tecnico progettuale per la previsione di livelli di pressione sonora all'aperto*. UNI.
- Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2016). View on outdoor vegetation reduces noise annoyance for dwellers near busy roads. *Landscape and Urban Planning*, 148, 203–215. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.018>
- Wang, Y., Mei, M., Ni, Y., & Kokot, S. (2014). Combined NIR/MIR analysis: A novel method for the classification of complex substances such as *Illicium verum* Hook. f. and its adulterants. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 130, 539–545. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.04.062>
- Whittingham, T. A. (2007). Medical diagnostic applications and sources. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93(1), 84–110. <https://doi.org/10.1016/j.pbimolbio.2006.07.004>
- World Health Organization. (2009). *Night noise guidelines for Europe*. WHO Regional Office for Europe.
- Yasin, I., Hendro Widaryanto, L., & Sutrisno, W. (2020). The technique of green belt bamboo constructions for highway noise effect reductions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1456, 012006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1456/1/012006>
- Zhang, Y., Xu, J., Li, R., Ge, Y., Li, Y., & Li, R. (2023). Plants' response to abiotic stress: Mechanisms and strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10915. <https://doi.org/10.3390/ijms241310915>
- Zhu, J., Wang, S., Wu, S., Lu, C., Jiang, J., & Zhou, S. (2019). Response of dust particle pollution and construction of a leaf dust deposition prediction model based on leaf reflection spectrum characteristics. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(36), 36764–36775. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06635-4>