

THE ROLE OF VEGETATION IN THE MECHANISMS OF ABSORPTION AND ACOUSTIC ISOLATION

Abstract

The article explores the possibility of reducing the negative effects of anthropic noise pollution, originating from human activities in the area, acting on a target, which can be placed either outdoor (courtyard, private garden) or indoor (interiors of a building). In this regard, the technical literature - especially the one specializing in Environmental Design - recommends creating "green barriers", ie consisting of plants capable of reducing sound pressure on users: the presence of foliage would oppose the propagation of the mechanical wave generated by the source, consequently reducing the acoustic impact. In other words, the strategic choice of placing plants, the selection of tree species according to their height and the geometry of branches and leaves, allows reducing the acoustic load on the target, with obvious positive effects on user comfort. However, it is difficult to find an estimate of the reduction obtained by introducing green into a project: the proposed work focuses precisely on the quantitative data, trying to establish the real impact on the project. The acoustic signal reduction will be evaluated using the procedures described in ISO 9623-2: 1996, in order to numerically quantify the effects of the analyzed design solutions.

Keywords: Tree, shrub, sound absorption, green barrier, comfort.

Introduction

The relationship between natural and built environment is one of the main problems analyzed by the Architectural Design in general, and in particular the Environmental one. A well-designed architecture project must consider the relationship between the building and its surroundings, harmonizing with the cultural and natural context in which it is located. In this perspective, the use of green has always had a complex meaning, because it plays on different aspects: formal, technical, artistic, evocative, symbolic. The inclusion of vegetation allows, for example, to create a sort of living clock, able to mark the passing of the seasons, or to remember the evolution of life. Often, however, trees and shrubs are also used as screens: the hedges, for example, guarantee privacy in open spaces in a natural way and less invasive than a built fence. It is therefore evident that, in environmental control techniques, the use of green shields has had a great development, with the aim of regulating the amount of sunshine (light and heat), but also of constituting an obstacle to noise pollution. This article aims to verify, using the

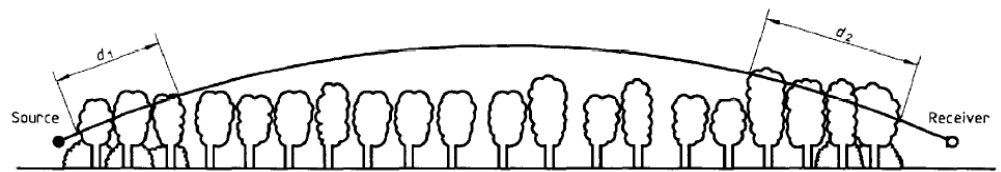


Fig. 1 - Foliage attenuation

Distance <i>m</i>	Frequency <i>Hz</i>							
	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
$10 \leq d_t \leq 20$	Attenuation, <i>dB</i>							
	0	0	1	1	1	1	2	3
$20 \leq d_t \leq 200$	Attenuation, <i>dB/m</i>							
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

Tab.1 - Attenuation due to propagation at distance d_t

calculation methods in ISO 9613, the real capacity of a green wall to oppose the spread of noise, and which strategies of choice should be used, in order to pursue this goal in the best way.

Propagation of the acoustic signal

Laws of mechanics [1] regulate the way in which an acoustic signal, sound or noise is propagated; however, their application in architecture is extremely complex [2]. For this reason, a detailed acoustic analysis is usually carried out using a suitable software that, through a finite element approach, allows to obtain adequately approximate and reliable numerical solutions. A long work of modeling, calculation and interpretation of data is necessary, and must be carried out by specific professionals capable of managing this complex segment of the Design.

Often, in the preliminary phase or - even before - when the masterplan is processed, when economic and temporal resources are not yet available to spend on an acoustic study, it is necessary to use simplified procedures, which allow to determine approximately the sound pressure level that affects a determined target point, knowing the size and position of the sound source. For this reason it is possible to use some procedures reported in the ISO standards, and in particular in ISO 9613; the Acoustics title. Attenuation of sound during propagation outdoors clearly indicates its field of application. As indicated in Part 2 [3], the sound pressure level present at a given point, due to the presence of a known power source, is given by:

$$L_{fT}(DW) = L_W + D_C - A$$

where $L_{fT}(DW)$ is the sound pressure level, L_W is the source power, D_C is directivity correction

(zero for isotropic source), and A is the attenuation due to all the physical phenomena that occur during signal propagation and contribute to the decrease the wave pressure. Appendix A of the Standard refers to paragraph A.1 a method to determine the attenuation due to the passage of sound waves through the foliage (A_{fol}).

Figure 1 shows the curve connecting the source and the receiver, consisting of a circumference arc of 5 km radius: called d_1 and d_2 the lengths of the curve portions that cross the vegetation, and $d_t = d_1 + d_2$, the value of A_{fol} can be determined using table 1. Observing the method, very important considerations regarding the design of green walls can be deduced, and in particular:

- less than 10 meters distances produce no sound insulation, so they are useless for this purpose;
- the effectiveness of the screen is higher at high frequencies, while it is almost zero at low frequencies;
- between 10 and 20 meters, the attenuation is constant; between 20 and 200 meters depends on the distance d_t ;
- for distances greater than 200 meters, the values that would be obtained for $d_t = 200$ should be used;
- in any case, the maximum value to be applied to the attenuation is 10 dB.

Table 2 was created considering the previous ones: for each frequency, the maximum value of A_{fol} that can be obtained and the relative distance d_t beyond which it is useless to use other plants are reported. If d_t coincides with the distance between source and reception point, or in other words the entire course of the noise crosses the vegetation, the final attenuation also depends on the geometric divergence A_{div} , which is estimated by [3]:

$$A_{div} = 11 + 20 \log_{10} d.$$

Frequency Hz							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Foliage attenuation, dB							
4	6	8	10	10	10	10	10
Geometric divergence attenuation, dB							
57	57	57	57	55	53	52	49
distance, m							
200	200	200	200	167	125	111	83

Tab.2 – Maximum foliage attenuation, and distance

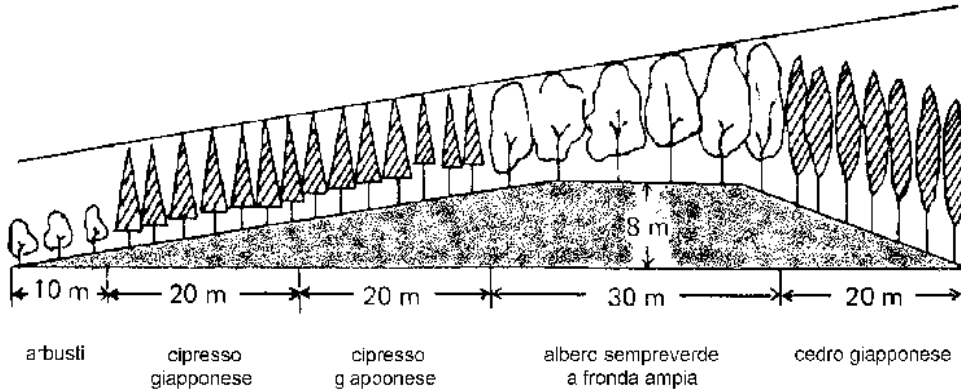


Fig. 2 – Cross section of a green screening

conforming the acoustic barriers to the sides of the roads using arched profiles, with an elevated central part planted with tall trees (figure 2 [4]), does not find here however an effective theoretical feedback: a circumference section of 5 km radius, passing through two points 200 meters away, has a central one-meter arrow. This practice would be justified only if the designer decides to adopt a straight sound wave path inclined at 15° to the ground: this simplified alternative, permitted by the standard [3], involves a central height of 27 meters. Considering the typical acoustic spectrum of a road during daytime [5], and applying the attenuation values found in table 2 per band octave, it is possible to verify that, at an initial noise of 83.8 dBA corresponds a reduction of about 9.5 dBA due to the presence of the foliage only, to which must be added a further reduction of 57 dBA due to the distance¹. Figure 3 shows the noise spectrum produced by traffic (black line), the attenuation contribution due to the foliage (green line) and finally the pressure level that reaches the distance of 200 meters (blue line) in which the divergence also appears geometric.

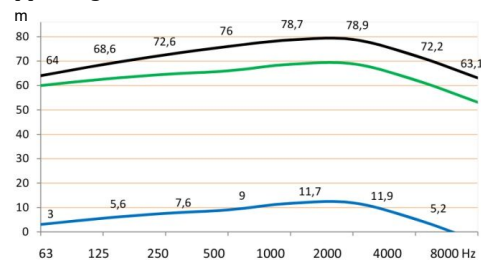


Fig. 3 – Attenuation (dB) by foliage and distance (m) of a road noise

Using a green wall instead of the normal soundproofing panels can also have another aim, when the source and receiver are placed on the same side with respect to the barrier. This case occurs, for example, in urban streets surrounded by buildings: the noise hits the receiver both directly and indirectly, because the sound is reflected from the surrounding walls without getting lost in the environment

(figure 4 [4]). Arboreal species on the sides partially absorb the acoustic signal, decreasing the pressure. Some researches [6] have determined that the presence of soil with grass increases the acoustic absorption (figure 5 [7]), and the presence of a single tree is able to modify the dispersion of sound in an urban context (figure 6 [8]). It is evident that vegetation contributes to reducing the phenomenon of reflection, especially where it is not possible to use traditional acoustic panel barriers.

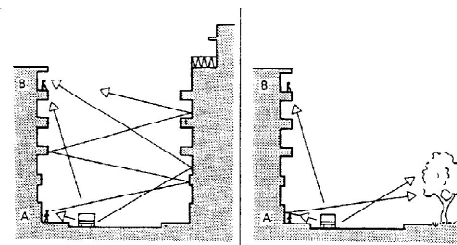


Fig. 4 – Building reflection of a road noise

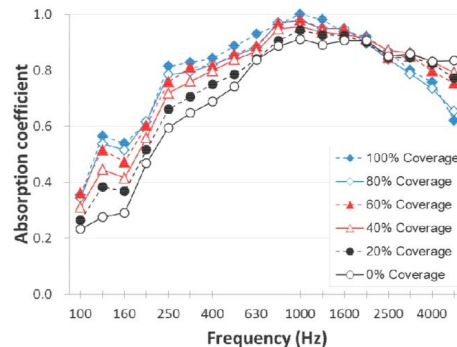


Fig. 5 – Absorption coefficient of topsoil with vegetation coverage

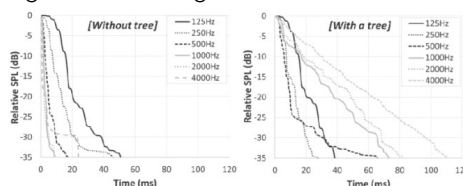


Fig. 6 - Decay curves in the absence and presence of a single tree

Plant species

The choice of tree species for the construction of green walls cannot be accidental: several factors, such as the climate, the land, the need for irrigation, care and maintenance, are relevant. As living organisms, trees and shrubs may not adapt to local conditions, and for this reason it is advisable to use only vegetation belonging to that particular habitat in which we are working. On the other hand, in order to perform their function as an acoustic barrier, other parameters must also be respected, such as the shape and height of the trunk and crown, as well as the quality and quantity of the leaves. The ISO standard makes explicit reference to *dense foliage* [3], because empty spaces between the branches are a point of passage to sound, without obstacles. Moreover, as is known in the literature [3, 4], the green barrier must start from the ground, filling the spaces at the base of the trunks with lower essences, as can be seen in the drawing in figure 7, magnification of the left part of fig.1.

To correctly select the plants to be used, the first distinction made in this phase was carried out by identifying the shrubs with respect to the trees, meaning the first as «perennial, woody plant, of medium height (from 1 to 5 m) in which also the branches basal persist, so that the main branches start near the ground, from a common stock» [8], and therefore optimal for the realization of the low layer of the green wall.

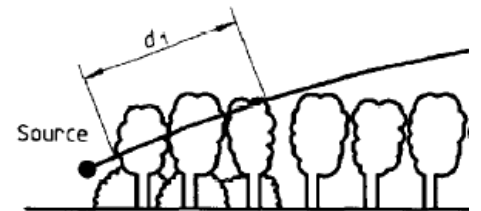
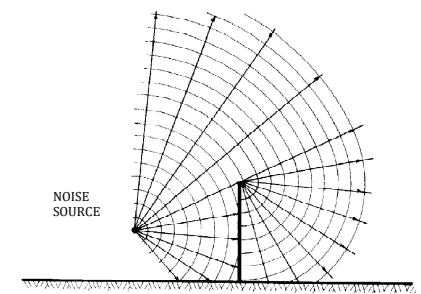


Fig. 7 – Small plants between tree trunks

Table 3 shows some of the most used hedge shrubs, and their average height. A green wall properly so called, that is a support on which arboreal essences grow, can also be realized using rigid supports where climbing plants. In this case it is necessary to choose only the perennial types, ie excluding those with deciduous leaves. During the period of absence of the foliage, from November to February, the only structure consisting of trunk and branches would not allow to block the propagation of sound. However, if the support is made with continuous panels, these will work as a screen, and the plant will only be the finishing layer.



Because of their height, the shrubs do not allow themselves to obtain a particularly efficient screen: the sound waves propagate also in the acoustic shadow area, starting from the upper vertex of the obstacle (figure 8 [4]). If the screen is high, the sound wave will be more

absorbed by the geometric divergence, which depends on the distance. As for the shrubs, also the trees - limited to the evergreen essences - have been classified according to the average height, but also the habit, meaning last the conformation of the foliage, the trunk and the branches.

Name ²	Height	Source ³
Abela	3,5 m	
Aucuba	3 m	
Berberis ilicifolia	4 m	
Camellia	5 m	
Cisto	60 cm	1
Fillirea	6 m	
Ginestra odorosa	1,5 m	
Grevillea	1 m	1
Griselinia littoralis	3 m	8
Ilex crenata	4 m	
Lauroceraso	7 m	
Lavanda	1,5 m	
Lentisco	3 m	
Loropetalo cinese	2,5 m	
Mirto	2 m	
Nandina	2 m	
Oleandro	5 m	7
Olivagno	8 m	
Osmano	7 m	
Piracanta	3 m	9
Pittosporo	3 m	10
Rododentro (rosa delle Alpi)	1,5 m	
Rosmarino	1,5 m	
Rovo	2 m	
Sarcococca	1,5 m	
Viburno	5 m	

Tab. 3 – Shrubs, and their average height

Unfortunately, there is no scientifically shared taxonomy for the habit of trees because they are living organisms, and the shapes they assume during growth are influenced by pruning, the presence of obstacles or particular weather conditions (such as, for example, the wind-blown type called, with the inclined trunk, which is located in heavily ventilated places). For this reason, the following list of habits has been prepared [9, 10]:

1. Pyramidal: crown of triangular section determined by the typical growth process: the trunk develops vertically a main sucker on which every year a new round of lateral branches is formed, which every year continue to grow; on the whole it constitutes an evident scalar, or "pyramid"; in relation to the species, the branches can tend to the top, to the bottom, or be substantially horizontal; it is the characteristic habit of many conifers.
2. Columnar: ascending (or flame-shaped) crown with branches that develop parallel and very close to the trunk; on this, branches grow with an angle always less than 45 °; reference examples are the cypress (*Cupressus sempervirens*) and the cypress poplar (*Populus nigra* 'Italica').
3. Spherical: spherical-shaped crown, which can take on a rounded or domed appearance (a vaguely spherical dome with the base cut horizontally); characterized by the development of branches diverging from the trunk, on which they are inserted with an angle always greater than 45 °; often the trunk also tends to split into two or more secondary trunks; a typical example is the hackberry (*Celtis australis*).
4. Umbrella: spherically shaped crown rather flattened horizontally, with a bare trunk somewhat long with respect to the vertical

development of the crown; a typical example is the domestic pine (*Pinus pinea*).

5. Harvest: ovoid-shaped crown (in many cases narrower in the upper part), between the spherical and the columnar, characterized by branches that grow on the trunk with an angle less than 45 ° but which tend to widen moderately; the ratio between height and width is normally 3 or 4 to 1; a typical example is the evergreen magnolia (*Magnolia grandiflora*).
6. Harvest: ovoid-shaped crown (in many cases narrower in the upper part), between the spherical and the columnar, characterized by branches that grow on the trunk with an angle less than 45 ° but which tend to widen moderately; the ratio between height and width is normally 3 or 4 to 1; a typical example is the evergreen magnolia (*Magnolia grandiflora*).
7. Decombing: "weeping" crown characterized by branches that are conspicuously inclined (or arched) towards the ground; usually this shape is determined by a characteristic of the gems which, being particularly sensitive to direct solar radiation, tend to grow downwards (often benefiting from the light reflected on the water, where many species with decombic growth grow); reference example is the weeping willow (*Salix babylonica*), but also the birch trees.
8. Prostrate: creeping crown, where the trunk tends to grow horizontally and the branches lengthen often root when they touch the ground; rather rare habitation among the trees, but widespread among the shrubby plants, characteristic of particularly hostile environments (especially windy and with little nourishment in the soil); Typical examples are different Juniperus, but also some dwarf willows (*Salix reticulata*, *Salix retusa*).

Table 4 shows the evergreen trees that are interesting for the formation of green barriers, their average height and growth habit, obtained by analyzing a series of images of different specimens grown in the wild, without pruning that may have altered their shape. Some authors suggest creating a green curtain using three types of plants, distinguishing them by sizes [11]; their mixture allows to create a dense foliage. We can affirm that trees with open spheres of spherical or expanded type, with ratio between height and width close to 1, are to be preferred; on the other hand, collected and columnar trees, with h/l ratios of 3 or 4, allow us to reach considerable heights of over 20 meters. Pyramidal species, although they are very tall, tend to be rarefied on top due to their shape; umbrella trees (the trunk remains almost completely naked), decombing and prostrate are to be rejected.

Conclusions

Determining the propagation of sound and noise in open spaces, allows us to estimate the acoustic attenuation due to foliage, and to verify how this value cannot exceed 10 dBA; this value is lower than the performance of traditional shields made of soundproofing and absorbent panels.

On the other hand, the presence of trees, especially in urban canyons where the streets are surrounded by buildings, makes it possible

to contribute, for some frequencies even in a sensitive way, to the dispersion of traffic noise, which would otherwise bounce between the building facades sides of the road.

Name ⁴	Height	Source ⁵	Habit
Abete	30 m		1
Acacia	20 m		6
Agrifoglio	8 m		5
Agrume	10 m	2	6
Alloro	8 m		3
Carrubo	8 m		2
Castagno	20 m		4
Cedro	50 m		6
Cipresso	40 m		1
Eucalipto	20 m	5	6
Ficus elastica	30 m		3
Fotinia	4 m		2
Ginepro	2 m	3	4
Leccio	25 m	1	6
Ligustro	7 m	1	5
Magnolia grandiflora	20 m		5
Melograno	4 m	1	6
Mimosa (acacia dealbata)	12 m		6
Olivio	20 m		3
Palissandro (Dalbergia)	20 m		2
Picea (abete rosso)	35 m		1
Pino marittimo	25 m		4
Pino silvestre	25 m	1	1
Sughera	15 m		6

Tab. 4 – Tree essences, average height and habit

The tree species in the Project can therefore also be used considering that they contribute to mitigating noise pollution, because they partially attenuate and absorb the acoustic signals that propagate in the open spaces. The tables proposed in this research aim to classify shrubs and trees according to size and shape, so as to allow a reasoned selection of plants for the construction of effective green barriers.

REFERENCES

- [1] Spagnolo, R. (2001). *Manuale di acustica applicata*, Utet, Torino
- [2] Cingolari, S., Spagnolo, R. (2004). *Acustica musicale e architettonica*, Utet, Torino
- [3] ISO 9613-2:1996, *Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors*
- [4] Cellai G., Secchi, S., *Fondamenti di Acustica*, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Acustica
- [5] Moretti, E. (2010). *Acustica Ambientale 2*. Retrieved April 6, 2019 to http://www.crbnet.it/FisicaTecnica/didattica/lezioni/edilizia_2010_11/L.%20Acustica_Ambienti_Aperti.pdf
- [6] Kang, J. (2015). The use of vegetation for noise control, *Rivista italiana di Acustica*, 39 vol.2
- [7] Yang, H., Kang, J., Cheal, C. (2013). *Random-incidence absorption and scattering coefficients of vegetation*, Acta Acust United Acust., 2013
- [8] Rumore (2011). Retrieved April 10, 2019 to <http://www.treccani.it/enciclopedia/rumore/>
- [9] *Il Portamento*. (2005). Retrieved April 2, 2019, from <http://www.zulianivivai.it/it/rubrica/portamento.htm>
- [10] *Albero*. (2005). Retrieved April 3, 2019 from <https://it.wikipedia.org/wiki/Albero>
- [11] de Marchi, R. (2008). *Prontuario per le mitigazioni ambientali di infrastrutture viarie e aeroportuali nel comune di Sommacampagna, Allegato C*. Retrieved April 5 2019 to <https://www.comune.sommacampagna.vr.it/dam/jcr:7a23a046-151b-4250-9554-c52fe5166897/Allegato%2520C.pdf>

NOTES

1. Knowing the pressure level for each frequency, the final level is obtained with:
$$L_p = 10 \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$$
2. The commercial name of the essences is reported in Italian.
3. References are:
 1. www.archweb.it/verde-giardini/parchi_urbani/ Abaco_Alberature/ Abaco-essenze-arboree.htm
 2. www.ovovideo.com/agrumi/
 3. www.treccani.it
 4. archivio.piantemati.com/docs/07_MATI%20partam_alberi.pdf
 5. www.greenstyle.it/alberi-sempreverdi-mediterranei-quali-244764.html
 6. www.giardini.biz/piante/piante-spontanee/cotogno-2/
 7. www.ideegreen.it/come-coltivare-oleandro-76053.html
 8. www.ortosemplice.it/piante/griselinia-littoralis/
 9. www.wikihow.it/Coltivare-la-Piracanta
 10. www.giardinaggio.net/giardino/siepi/siepi-dipitosforo.aspWhere not specified, the data is considered taken from it.wikipedia.org or en.wikipedia.org.
4. The commercial name of the essences is reported in Italian.
5. See note 3.

IL RUOLO DELLA VEGETAZIONE NEI MECCANISMI DI ASSORBIMENTO ACUSTICO

Abstract

L'articolo esplora la possibilità di riduzione degli effetti negativi dell'inquinamento acustico antropizzato, cioè proveniente da attività umane sparse sul territorio, agenti su una posizione bersaglio, che può essere collocata tanto in uno spazio aperto (cortile, giardino privato) quanto in uno chiuso (ambienti interni ad un edificio). A tal proposito, la letteratura tecnica – soprattutto quella specializzata nella Progettazione Ambientale – consiglia di realizzare "barriere verdi", cioè costituite da piante in grado di ridurre la pressione sonora sugli utenti: la presenza del fogliame si opporrebbe alla propagazione dell'onda meccanica generate dalla sorgente, riducendo di conseguenza l'impatto acustico. In altre parole, la scelta strategica di collocare piantumazioni, la selezione delle essenze arboree in funzione della loro altezza e della geometria dell'impalcato di rami e foglie, permetterebbe di ridurre il carico acustico gravante sul target, con evidenti effetti positivi sul benessere uditivo degli utilizzatori. Difficilmente però è possibile trovare una stima della riduzione che si ottiene introducendo il verde all'interno di un progetto: il lavoro proposto si concentra proprio sul dato quantitative, cercando di stabilire la reale ricaduta sul progetto. La riduzione del segnale acustico sarà valutata attraverso le procedure previste nella ISO 9623-2:1996, al fine di quantificare numericamente gli effetti delle soluzioni progettuali analizzate.

Parole chiave: albero, arbusto, assorbimento acustico, barriera verde, comfort.

Introduzione

Il rapporto tra ambiente naturale e costruito costituisce uno dei principali spunti di riflessione della Progettazione Architettonica in generale, e di quella Ambientale in particolare. Un progetto di Architettura ben realizzato deve tener conto dell'interazione esistente tra la Costruzione e ciò che la circonda, armonizzandosi con il contesto culturale e naturale in cui si trova. In quest'ottica, l'uso del verde ha sempre avuto un significato complesso, perché gioca su diversi aspetti: formali, tecnici, artistici, evocativi, simbolici. L'inserimento della vegetazione permette, ad esempio, di realizzare una sorta di orologio vivente, in grado di

scandire il passare delle stagioni, o di alludere all'evoluzione della vita. Spesso però, alberi e arbusti sono utilizzati anche come schermi: le siepi, ad esempio, garantiscono la privacy negli spazi aperti in modo naturale e meno invasivo rispetto ad una recinzione costruita. È quindi evidente come, nelle tecniche di controllo ambientale, l'uso di schermature verdi ha avuto sempre maggiore diffusione, con l'obiettivo di regolare il soleggiamento (luce e calore), ma anche di costituire un ostacolo all'inquinamento acustico. Questo articolo ha lo scopo di verificare, utilizzando i metodi di calcolo presenti nelle ISO 9613, la reale capacità di una parete vegetale di opporsi alla diffusione dei rumori, e quali strategie di scelta occorre mettere in campo, per perseguire nel modo migliore tale scopo.

La propagazione del segnale acustico

Le modalità con le quali un segnale acustico, suono o rumore, si diffonde sono regolate da note leggi della meccanica [1], la cui applicazione in ambito architettonico è comunque estremamente complessa [2]. Per tale motivo, un'analisi acustica dettagliata viene di solito condotta utilizzando un adeguato software che, attraverso un approccio agli elementi finiti, permette di ottenere soluzioni numeriche adeguatamente approssimate ed affidabili. Ciò comporta un lungo lavoro di modellazione, calcolo ed interpretazione dei dati, che viene svolto da specifiche professionalità in grado di gestire questo complesso segmento della Progettazione. Spesso, nella fase preliminare o – ancor prima – quando viene elaborato il masterplan, quando cioè non sono ancora disponibili risorse economiche e temporali da dedicare ad un approfondito studio acustico, occorre ricorrere a procedure semplificate, che permettono per grandi linee di determinare il livello di pressione sonora che colpisce un determinato punto-obiettivo, conoscendo l'entità e la posizione della sorgente sonora. Per tale necessità è possibile utilizzare alcune procedure riportate nelle norme ISO, ed in particolare nelle ISO 9613, il cui titolo Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors ne indica con chiarezza il campo di applicazione. Secondo quanto indicato nella Parte 2 [3], il livello di pressione sonora presente in un determinato punto, per effetto della presenza di una sorgente di cui sia nota la potenza è dato dalla relazione:

$$L_{pT}(DW) = L_w + D_c - A$$

dove $L_{pT}(DW)$ è il livello di pressione sonora cercato, L_w è la potenza della sorgente, D_c è il coefficiente di correzione della direzionalità (pari a zero nel caso di sorgente isotropa e omnidirezionale), e A l'attenuazione dovuta a tutti i fenomeni fisici che si verificano durante la propagazione del segnale e contribuiscono alla diminuzione della pressione dell'onda.

In particolar modo, nell'appendice A la norma riporta al paragrafo A.1 un metodo per determinare l'attenuazione dovuta al passaggio delle onde sonore attraverso il fogliame (A_{fol}).

Con riferimento alla figura 1, si considera una curva che collega sorgente e ricevitore costituita da un arco di circonferenza di 5 km di raggio: dette d_1 e d_2 le lunghezze delle porzioni di curva che attraversano la vegetazione, e $d_1 = d_1 + d_2$, il valore di A_{fol} può determinarsi utilizzando la tabella 1.

Dall'osservazione del metodo proposto, possono evincersi importantissime considerazioni relative alla progettazione di pareti verdi ai fini dell'isolamento acustico, ed in particolare:

- distanze inferiori ai 10 metri non producono alcun isolamento acustico, quindi sono inutili a tal fine;
- l'efficacia dello schermo è maggiore alle alte frequenze, mentre è quasi nullo a quelle basse;
- per distanze comprese tra 10 e 20 metri, l'attenuazione è costante; tra 20 e 200 metri dipende dalla distanza d_i ;
- per distanze superiori a 200 metri, devono usarsi i valori che si otterrebbero per $dt = 200$;
- in qualunque caso, il massimo valore da applicare all'attenuazione è di 10 dB.

Tutto ciò permette di costruire una seconda tabella, la n.2, nella quale sono riportati, per ogni frequenza, il massimo valore di A_{fol} che si può ottenere, e la relativa distanza d_i oltre la quale risulta inutile realizzare ulteriori piantumazioni. Se d_i coincide proprio con la distanza tra sorgente e punto di ricezione, o in altre parole l'intero percorso del rumore attraverso la vegetazione, l'attenuazione finale dovrà tener conto anche della divergenza geometrica A_{div} , che si stima con la relazione [3]:

$$A_{div} = 11 + 20 \log_{10} d.$$

L'uso di conformare le barriere acustiche ai lati delle strade utilizzando profili ad arco, con una parte centrale sopraelevata e piantumata con alberi di alto fusto (figura 2 [4]), non trova però qui un effettivo riscontro teorico perché un tratto di circonferenza di 5 km di raggio, passante per due punti posti a 200 metri di distanza, ha una freccia centrale di un metro. Tale pratica troverebbe giustificazione solo qualora il progettista decidesse di adottare per l'onda sonora, in via approssimativa, un percorso rettilineo ed inclinato di 15° rispetto al suolo: tale alternativa semplificata, comunque prevista dalla norma [3], comporterebbe una monta centrale di quasi 27 metri.

Prendendo in considerazione lo spettro acustico di tipico di una strada in orario diurno [5], ed applicando i valori di attenuazione trovati nella tabella 2 per ottava di banda, è possibile verificare che, ad un rumore iniziale di 83,8 dB_A corrisponde una riduzione di circa 9,5 dB_A per la presenza del solo fogliame, a cui si deve aggiungere un'ulteriore riduzione di ben 57 dB_A per effetto della distanza¹. La figura 3 riporta lo spettro del rumore prodotto dal traffico (linea nera), il contributo di attenuazione dovuto al fogliame (linea verde) ed infine il livello di pressione che giunge alla distanza di 200 metri (linea blu) in cui figura anche la divergenza geometrica.

L'uso di un muro verde in luogo dei normali pannelli fono isolanti può avere anche un altro scopo, quando sorgente e ricevitore sono posti dallo stesso lato rispetto alla barriera. Questa occorrenza si verifica, ad esempio, nelle strade urbane circondate da edifici: in questo caso, il rumore investe sia direttamente che indirettamente il ricevitore, in quanto viene riflesso dalle pareti circostanti senza disperdersi nell'ambiente (figura 4 [4]).

La presenza di essenze arboree ai lati permette di assorbire in parte il segnale acustico, diminuendone la pressione. Ricerche in tal senso [6] hanno determinato che la presenza di suolo inerbito aumenta l'assorbimento acustico (figura 5 [7]), e la presenza di un solo albero è in grado di modificare la dispersione del suono in un contesto di tipo urbano (figura 6 [8]). È quindi evidente che la vegetazione contribuisca a ridurre il fenomeno della riflessione, soprattutto dove – tra l'altro – non è pensabile utilizzare le tradizionali barriere acustiche a pannelli.

Le essenze arboree

La scelta delle specie arboree per la realizzazione di muri verdi non può essere casuale: essa dipende da numerosi fattori, quali il clima, il terreno, la necessità di irrigazione, cura e manutenzione. In quanto organismi viventi, alberi ed arbusti possono non adattarsi alle condizioni del luogo, e per tale motivo sarebbe opportuno utilizzare esclusivamente vegetazione appartenente a quel particolare habitat in cui si sta intervenendo. D'altro canto, per poter assolvere alla loro funzione di barriera acustica, dovranno essere rispettati anche altri parametri, quali forma e altezza del tronco e della chioma, nonché la qualità e la quantità delle foglie. Non deve dimenticarsi infatti che la norma ISO fa riferimento esplicito a fogliame denso [3], in quanto spazi vuoti tra i rami costituirebbero un punto di passaggio senza ostacoli al suono. Inoltre, come è noto in letteratura [3, 4], la barriera verde deve partire dal suolo, riempiendo gli spazi alla base dei tronchi con essenze più basse, come si vede nel disegno di figura 7, ingrandimento della parte sinistra della fig.1.

Per selezionare correttamente le piante da utilizzare, la prima distinzione operata in questa fase è stata condotta individuando gli arbusti rispetto agli alberi, intendendo i primi come «pianta perenne, legnosa, di

media altezza (da 1 a 5 m) in cui anche i rami basali persistono, in modo che le ramificazioni principali partano vicino al suolo, da un ceppo comune» [8], e quindi ottimale per la realizzazione dello strato basso della parete verde.

Nella tabella 3 sono riportati alcuni tra i più utilizzati arbusti da siepe, e la loro altezza media. Una parete verde propriamente detta, intesa come un supporto sul quale fare crescere essenze arboree, può essere realizzata anche utilizzando dei supporti rigidi su cui far sviluppare delle piante rampicanti. In tal caso occorre scegliere esclusivamente i tipi perenni², escludendo cioè quelle a foglie caduche. Durante il periodo di assenza del fogliame, e quindi nei mesi da novembre a febbraio, il solo impalcato costituito da tronco e rami non permetterebbe di ostacolare la propagazione del suono. Se però il supporto viene realizzato con pannelli continui, saranno questi ad assolvere alla funzione di schermo, mentre la pianta sarà soltanto lo strato di finitura.

A causa della ridotta altezza, gli arbusti non permettono da soli di ottenere uno schermo particolarmente efficace perché le onde sonore si propagano anche nella zona di ombra acustica, a partire dal vertice superiore dell'ostacolo (figura 8 [4]). Più risulta alto lo schermo, maggiore sarà l'assorbimento acustico che subirà l'onda sonora, dovuto alla divergenza geometrica che è funzione della distanza. Come per gli arbusti, anche gli alberi – limitatamente alle essenze sempreverdi – sono stati classificati in funzione dell'altezza media, ma anche del portamento, intendendo con quest'ultimo la conformazione della chioma, del tronco e dei rami. Purtroppo non esiste una tassonomia scientificamente condivisa per il portamento degli alberi perché, trattandosi di organismi viventi, le forme che assumono durante la crescita sono influenzate dalla potatura, dalla presenza di ostacoli o di condizioni meteorologiche particolari (come, ad esempio, il tipo detto spazzato dal vento, dal tronco inclinato che si riscontra in luoghi fortemente ventilati). Per tale motivo, è stato elaborato il seguente elenco di portamenti [9, 10]:

- 1 Piramidale: chioma di sezione triangolare determinata dal tipico processo di crescita, per cui il tronco sviluppa in verticale una sorta di pollone principale sul quale ogni anno si viene a formare un nuovo giro di rami laterali, che continuano a crescere con regolarità di anno in anno costituendo nell'insieme un'evidente prospetto scalare, o "a piramide"; relativamente alle specie, i rami possono tendere all'alto, al basso, oppure essere sostanzialmente orizzontali; si tratta del portamento caratteristico di molte conifere.
- 2 Colonnare: chioma di forma ascendente (o fastigiata) con rami che si sviluppano paralleli e assai vicini al tronco, sul quale si innestano con un angolo sempre inferiore a 45°; esempi di riferimento sono il cipresso (*Cupressus sempervirens*) e il pioppo cipressino (*Populus nigra* 'Italica').
- 3 Sferico: chioma di forma sferoidale, che può assumere un aspetto tondeggianti oppure a cupola (una calotta vagamente sferica con la base tagliata orizzontalmente); caratterizzata dallo sviluppo di rami divaricati rispetto al tronco, sul quale si inseriscono con un angolo sempre superiore a 45°; crescendo spesso anche il tronco tende a suddividersi in due o più tronchi secondari; un esempio tipico è il bagolaro (*Celtis australis*).
- 4 Ombrelliforme: chioma di forma sferoidale piuttosto appiattita orizzontalmente, con un tronco nudo alquanto lungo rispetto allo sviluppo verticale della chioma; un esempio tipico è il pino domestico (*Pinus pinea*).
- 5 Raccolto: chioma di forma ovoidale (in molti casi più ristretta nella parte superiore), intermedia tra la sferica e la colonnare, caratterizzata da rami che crescono sul tronco con angolo inferiore a 45° ma che tendono poi ad allargarsi moderatamente; il rapporto fra altezza e larghezza normalmente è di 3 o 4 a 1; un esempio tipico è la magnolia sempreverde (*Magnolia grandiflora*).

- 6 Espanso: chioma di forma scomposta, vagamente sferica, caratterizzata da rami che crescono sul tronco con angolo superiore a 45° e che tendono a disporsi in modo alquanto divaricato; spesso crescendo anche il tronco si suddivide in due o più tronchi secondari; il rapporto altezza/larghezza della chioma tende a essere 1 a 1; esempio tipico è il salice bianco (*Salix alba*).
- 7 Decombente: chioma di forma "piangente" caratterizzata da rami vistosamente inclinati (o arcuati) verso il terreno; di solito questa forma è determinata da una caratteristica delle gemme le quali, essendo particolarmente sensibili all'irradiazione solare diretta, tendono a crescere verso il basso (beneficiando spesso della luce riflessa sull'acqua, presso la quale crescono molte specie a portamento decombente); esempio di riferimento è il salice piangente (*Salix babylonica*), ma anche le betulle.
- 8 Prostrato: chioma a sviluppo strisciante, dove il tronco tende a crescere orizzontalmente e i rami allungandosi spesso radicano quando toccano il terreno; portamento piuttosto raro tra gli alberi, ma diffuso tra le piante arbustive, caratteristico di ambienti particolarmente ostili (soprattutto ventosi e con scarso nutrimento nel suolo); esempi tipici sono diversi *Juniperus*, ma anche alcuni salici nani (*Salix reticulata*, *Salix retusa*).

Nella tabella 4 sono riportate le essenze arboree sempreverdi che si ritengono di maggior interesse per la formazione di barriere verdi, la loro altezza media ed il portamento, ricavato analizzando una serie di immagini di diversi esemplari cresciuti in natura, senza interventi di potatura che possano averne alterato la forma. Volendo realizzare una cortina verde, alcuni autori suggeriscono l'impiego di ben tre tipi di piante, distinguendole per grandezze [11], per miscelarle allo scopo di creare un fogliame fitto. Certamente può affermarsi che alberi con chiome aperte di tipo sferico o espanso, con rapporto tra altezza e larghezza prossimo a 1, sono da preferire; d'altro canto, alberi raccolti e colonnari, con rapporti h/l pari a 3 o 4 permettono di giungere ad altezze considerevoli, superiori ai 20 metri. Specie piramidali, per quanto alte, tendono a rarefarsi in cima proprio in virtù della loro forma; sono invece da scartare quelli ombrelliformi (il tronco resta quasi completamente nudo), decombenti e prostrate.

Conclusioni

La norma ISO 9613-2:1996, riferimento per la determinazione della propagazione del suono e del rumore negli spazi aperti, permette di eseguire una stima dell'attenuazione acustica dovuta al fogliame, e di verificare come tale valore non possa superare i 10 dB_A, valore inferiore rispetto alle prestazioni delle tradizionali schermature costituite da pannelli fonoisolanti e assorbenti. D'altro canto, la presenza di alberi, soprattutto nei canyon urbani costituiti da strade circondate da edifici, permette di contribuire, per alcune frequenze anche in modo sensibile, alla dispersione del rumore automobilistico, che altrimenti rimbalzerebbe tra le facciate delle costruzioni prospicienti la strada. Le essenze arboree nel Progetto possono quindi essere impiegate anche considerando che contribuiscono a mitigare l'inquinamento acustico, perché attenuano e assorbono parzialmente i segnali acustici che viaggiano negli spazi aperti. Le tabelle proposte in queste pagine hanno lo scopo di classificare arbusti ed alberi in funzione della dimensione e della forma, in modo da permettere una selezione ragionata delle piante per la costruzione di efficaci barriere verdi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Spagnolo, R. (2001). *Manuale di acustica applicata*, Utet, Torino
- [2] Cingolari, S., Spagnolo, R. (2004). *Acustica musicale e architettonica*, Utet, Torino
- [3] ISO 9613-2:1996, *Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors*
- [4] Cellai G., Secchi, S., *Fondamenti di Acustica*, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Acustica
- [5] Moretti, E. (2010). *Acustica Ambientale 2*. Retrieved April 6, 2019 to

- http://www.crbbnet.it/FisicaTecnica/didattica/lezioni/dilizia_2010_11/L.%20Acustica_Ambienti_Aperti.pdf
- [6] Kang, J. (2015). The use of vegetation for noise control, *Rivista italiana di Acustica*, 39 vol.2
 - [7] Yang, H., Kang, J., Cheal, C. (2013). *Random-incidence absorption and scattering coefficients of vegetation*, Acta Acust United Acust., 2013
 - [8] Rumore (2011). Retrieved April 10, 2019 to <http://www.treccani.it/enciclopedia/rumore/>
 - [9] *Il Portamento*. (2005). Retrieved April 2, 2019, from <http://www.zulianivivai.it/it/rubrica/portamento.htm>
 - [10] *Albero*. (2005). Retrieved April 3, 2019 from <https://it.wikipedia.org/wiki/Albero>
 - [11] de Marchi, R. (2008). *Prontuario per le mitigazioni ambientali di infrastrutture viarie e aeroportuali nel comune di Sommacampagna, Allegato C*. Retrieved April 5 2019 to <https://www.comune.sommacampagna.vr.it/dam/jcr:7a23a046-151b-4250-9554-c52fe5166897/Allegato%2520C.pdf>

NOTE

1. Conoscendo il livello di pressione per ogni frequenza, il livello finale si ottiene con la relazione: $L_p = 10 \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$
2. Queste sono l'edera, il gelsomino ed il falso gelsomino.