

Il rumore esterno

La presenza sempre più invasiva del rumore all'interno dei luoghi di vita e di lavoro produce effetti rilevanti sul giudizio di benessere ambientale. La progettazione degli edifici deve quindi tenere conto delle esigenze acustiche, onde evitare di dover ricorrere a posteriori a interventi correttivi che risultano decisamente sconvenienti anche come rapporto costo/beneficio.

Si deve tener presente che la normativa di legge oggi in vigore pone indirettamente vincoli sulla prestazione acustica degli edifici, in relazione alla rumorosità presente nell'ambiente esterno convenzionalmente definita mediante suddivisione del territorio in classi, secondo la destinazione d'uso dello stesso.

Verranno pertanto nel seguito analizzate brevemente le cause di rumore "esterno", tenuto conto che le peculiarità dello stesso (e in particolare la composizione in frequenza) sono fondamentali per valutare la prestazione acustica delle tecniche costruttive adottate; per una più dettagliata descrizione della materia si rimanda al cap. 7, parte prima.

Si illustreranno inoltre i dati di rumorosità previsti dalla vigente normativa, in funzione della destinazione d'uso del territorio, e i vincoli posti da tale normativa per i progettisti.

4.1 Tipologia delle sorgenti

Le sorgenti di rumore esterno di più vasta diffusione sul territorio sono: rumore da traffico stradale, rumore da traffico ferroviario, rumore da traffico aereo, sorgenti fisse legate a installazioni industriali o civili, sorgenti mobili di uso temporaneamente limitato.

4.1.1 Rumore da traffico stradale

Relativamente al rumore da traffico, occorre qui richiamare soprattutto il tipico spettro in frequenza dello stesso: la figura 8 riporta lo spettro normalizzato del rumore da traffico secondo le norme francesi (AFNOR NF S 31-051), tedesche (ZTV-81) e secondo la nuova ISO/DIS 717/1. Come si può osservare, nonostante alcune differenze, sono presenti soprattutto basse frequenze: ciò significa che esse passano facilmente attraverso pareti e finestre e superano agevolmente gli ostacoli di dimensioni finite (schermi, terrapieni, altri edifici).

Va però detto che, poiché solitamente si valuta l'effetto del rumore sull'uomo in termini di dB(A), la ponderazione A riduce in larga misura il livello sonoro delle componenti a bassa frequenza rispetto al corrispondente livello in dB lineari. È comunque evidente che una fi-

nestra avrà diverse prestazioni di potere fonoisolante in dB(A) a seconda dello spettro del rumore esterno. La figura 9 illustra con un esempio un caso concreto: la stessa lastra di vetro fornisce un potere fonoisolante di 39,8 dB(A) quando il rumore esterno è bianco, di 35,7 quando il rumore è rosa e di soli 32,4 dB(A) quando ha lo spettro del rumore da traffico già visto nella figura 8 (curva AFNOR). Risulta pertanto auspicabile anche in Italia l'adozione di norme tecniche per la misura del potere fonoisolante di componenti edilizi destinati alle facciate che prevedano non solo l'indicazione dell'indice ISO a 500 Hz come descrittore con un singolo numero della prestazione acustica, ma anche del potere fonoisolante in dB(A) relativamente a rumore con spettro rosa e stradale.

Per quanto riguarda la stima del livello sonoro prodotto dal traffico stradale, si fa presente come siano disponibili semplici relazioni analitiche, basate su correlazione di dati sperimentali, tarate sulla realtà urbanistica e di circolazione di varie città italiane, che forniscono il livello equivalente L_{eq} in dB(A) in funzione delle portate orarie dei veicoli leggeri e pesanti (Q_L e Q_P) e della distanza d (in m) dall'asse stradale. Vengono qui riportate due di queste formule, piuttosto simili tra loro; la prima è quella nota come CNR ed è stata tarata sulla città di Roma:

$$L_{eq} = 35,1 + 10 \lg(Q_L + 8 Q_P) + 10 \lg\left(\frac{d_0}{d}\right) + \sum_i \Delta L_i \quad (1)$$

dove $d_0 = 25$ m e i termini correttivi ΔL_i sono i seguenti:

ΔL_V = termine correttivo per la velocità (da -1,5 a +4 dB);

ΔL_S = termine correttivo per la superficie del manto (da -0,5 a +4 dB);

ΔL_G = termine correttivo per la pendenza della strada (da 0 a +3 dB);

ΔL_{vb} = termine correttivo per vicinanza incrocio (da 0 a +1 dB).

La seconda formula, denominata TURBO (Traffico Urbano Rumore Bologna), deriva dalla prima, ma fornisce valori di rumorosità più bassi:

$$L_{eq} = 38,9 + 9,9 \lg(Q_L + 8 Q_P) + 5,6 \lg\left(\frac{d_0}{d}\right) - 0,02 V + \sum_i \Delta L_i \quad (2)$$

dove $d_0 = 25$ m e i termini correttivi ΔL_i sono i seguenti:

ΔL_P = termine correttivo per presenza portici (+1 dB);

ΔL_U = termine correttivo per strade strette e alte ($H > L$) (+1 dB);

ΔL_V = termine correttivo per velocità minore di 30 km/h (-1,5 dB);

ΔL_S = termine correttivo per la superficie del manto (da -2 a +1 dB);

ΔL_G = termine correttivo per la pendenza della strada (da 0 a +3 dB);

ΔL_{vb} = termine correttivo per vicinanza incrocio (da 0 a +1 dB);

ΔL_W = termine correttivo per assenza veicoli pesanti (-1,8 dB).

4.1.2 Rumore ferroviario

Per il rumore ferroviario si deve osservare che il relativo spettro sonoro è sostanzialmente più spostato verso le alte frequenze di quello del rumore stradale: la figura 10 riporta tale tipico andamento in frequenza, ricavato da rilievi eseguiti su vari tipi di treni in servizio sulla linea Milano-Roma. Ciò significa una maggior efficacia isolante dei componenti edilizi e una maggior "schermabilità" del rumore mediante ostacoli artificiali o naturali.

La considerazione di cui sopra spiega almeno in parte il motivo per cui spesso il rumore ferroviario è considerato meno disturbante di quello stradale. A ciò va poi aggiunto anche il fatto che il rumore ferroviario presenta caratteristiche temporali di discontinuità ben diverse da quelle del rumore stradale: la sporadicità degli eventi sonori può in certi casi aumentare il disturbo (risveglio di soprassalto durante la notte), mentre in altri casi lo mitiga.

Per il rumore ferroviario si deve quindi tenere in considerazione che la valutazione del solo livello equivalente non consente una valida stima del grado di disturbo, come invece succede con altre sorgenti di rumore ambientale. Occorre pertanto valutare anche la rumorosità massima nell'istante di massima vicinanza del convoglio. Esistono a questo scopo modelli matematici più complessi di quelli impiegati per il rumore stradale, quale quello di Cato che consente di prevedere l'intero profilo temporale della rumorosità. Si riporta qui solo l'espressione di L_{eq} ottenuta in base al suddetto modello matematico:

$$L_{eq} = 22,5 + 10 \lg\left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \frac{V_i^{3,2} L_i}{d}\right) \quad (3)$$

dove:

T = durata complessiva del periodo considerato (in s);

V_i = velocità (in km/h);

L_i = lunghezze (in m) degli N treni che transitano in tale periodo;

d = distanza dall'asse del binario (in m).

4.1.3 Sorgenti fisse

Sovente sono presenti sorgenti di rumore costituite da macchinari o apparecchiature dislocati stabilmente nel territorio, quali ventilatori di estrazione, torri di raffreddamento, centraline di distribuzione del gas ecc. In questo caso non è possibile fornire indicazioni generali né sullo spettro sonoro prodotto, né sul livello generato. Si può tuttavia citare l'esistenza della norma tecnica ISO/DIS 8297, che consente il rilievo diretto della potenza sonora in bande di frequenza di ottava di un intero impianto rumoroso, mediante misure di livello sonoro sul perimetro dello stesso.

In altri casi, oggi sempre più frequenti, la sorgente rientra in quelle tipologie di macchinari per cui è obbligatoria la certificazione da parte del costruttore del livello di potenza sonora emesso. Ai fini della valutazione dell'impatto del rumore sugli edifici serve ovviamente la potenza sonora alle varie frequenze (in banda d'ottava è generalmente sufficiente) e quindi il solo valore complessivo in dB(A) non basta.

È però importante sapere che alcune sorgenti fisse possono essere anche molto direttive: è il caso delle torri di raffreddamento, che usualmente emettono rumore molto forte solo su un lato. Ciò significa che, nella direzione di massima emissione, la rumorosità può essere parecchio più alta di quanto stimabile con le usuali relazioni valide per sorgenti sonore omnidirezionali. Purtroppo in questi casi solo il rilievo diretto consente di valutare correttamente la situazione.

4.1.4 Sorgenti mobili a carattere temporaneo

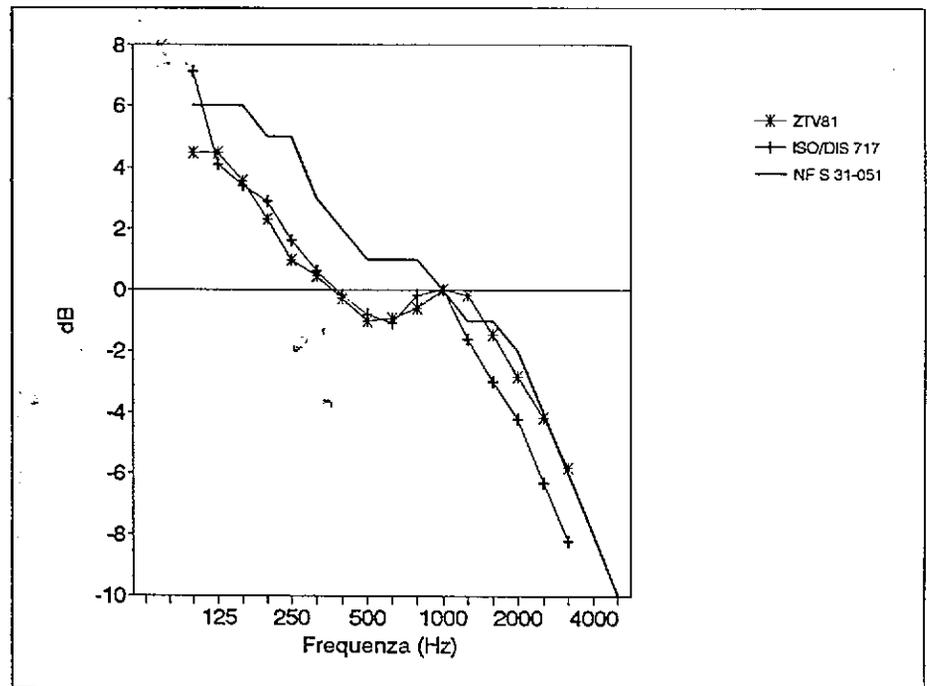
Rientrano in questa categoria le macchine e attrezzature di cantiere, le macchine agricole, e le sorgenti sonore connesse con l'esecuzione di concerti e feste all'aperto.

Le macchine movimento terra, i compressori carrellabili, i martelli pneumatici e le altre attrezzature da cantiere sono oggi soggette alle normative comunitarie (in continua evoluzione), che prescrivono l'etichettatura delle stesse con l'indicazione del livello di potenza sonora in dB(A). Purtroppo tale informazione, non consentendo di ricostruire direttamente la composizione spettrale del rumore emesso, rende difficoltosa la stima degli effetti di tale rumore. Va anche detto però che lo spettro sonoro di alcune tipologie di macchine è abbastanza tipico e in questi casi può essere sufficiente la conoscenza del solo livello di potenza complessivo in scala A.

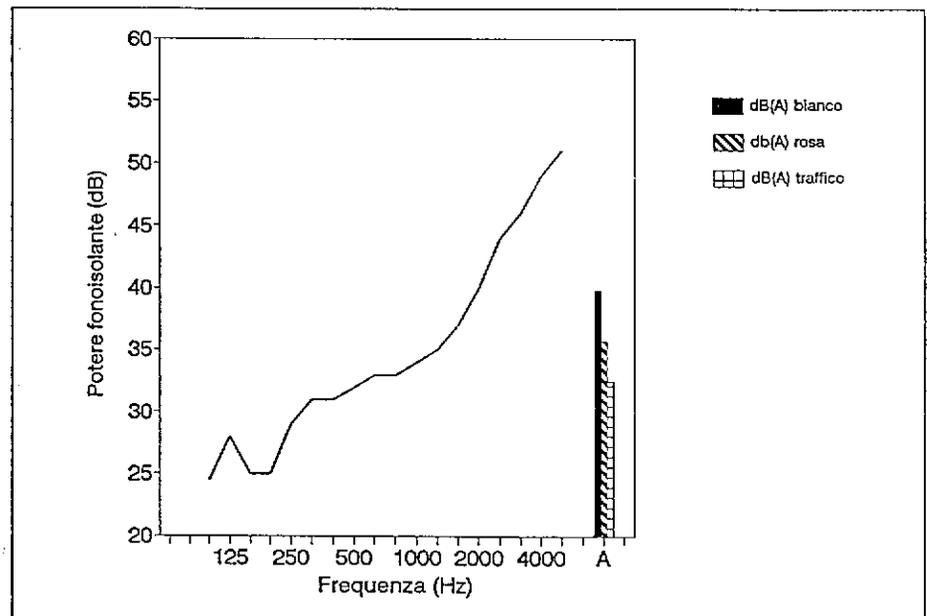
La rumorosità delle macchine agricole ha caratteristiche abbastanza simili a quelle del traffico veicolare pesante,

Fig. 8 Spettri normalizzati del rumore da traffico stradale.

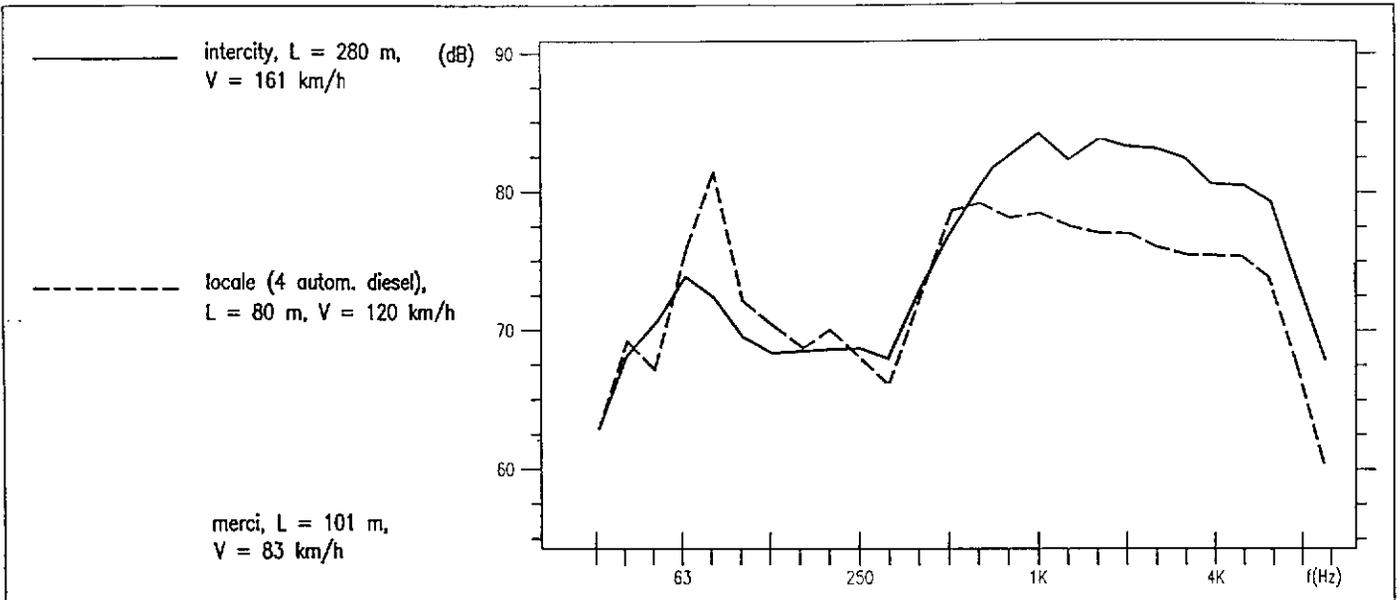
Fig. 9 Potere fonoisolante di una lastra di vetro stratificato ($s = 12$ mm).



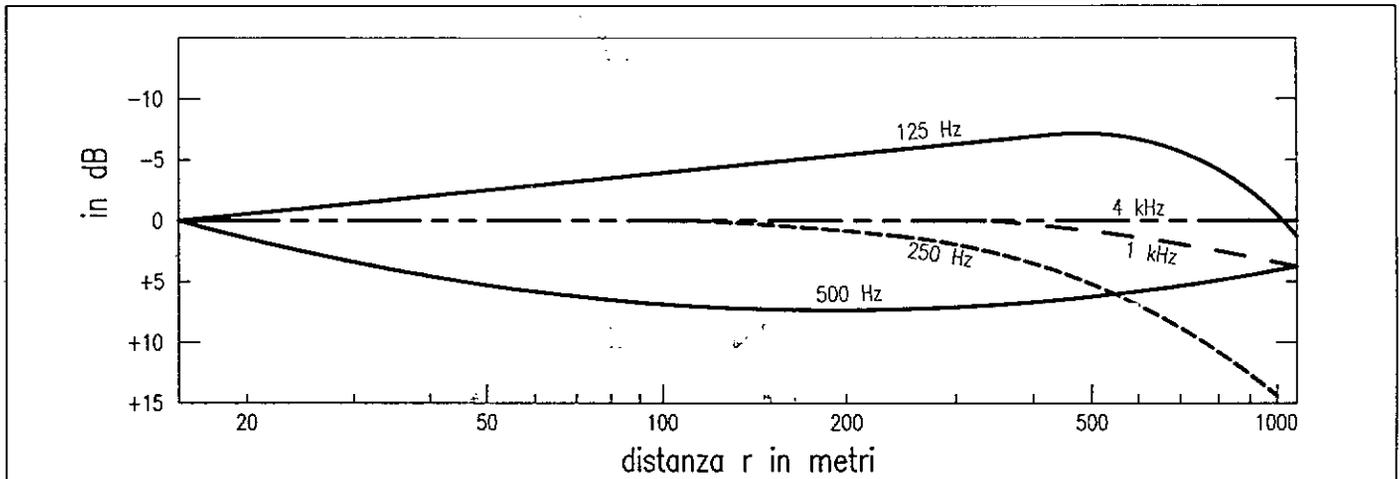
8



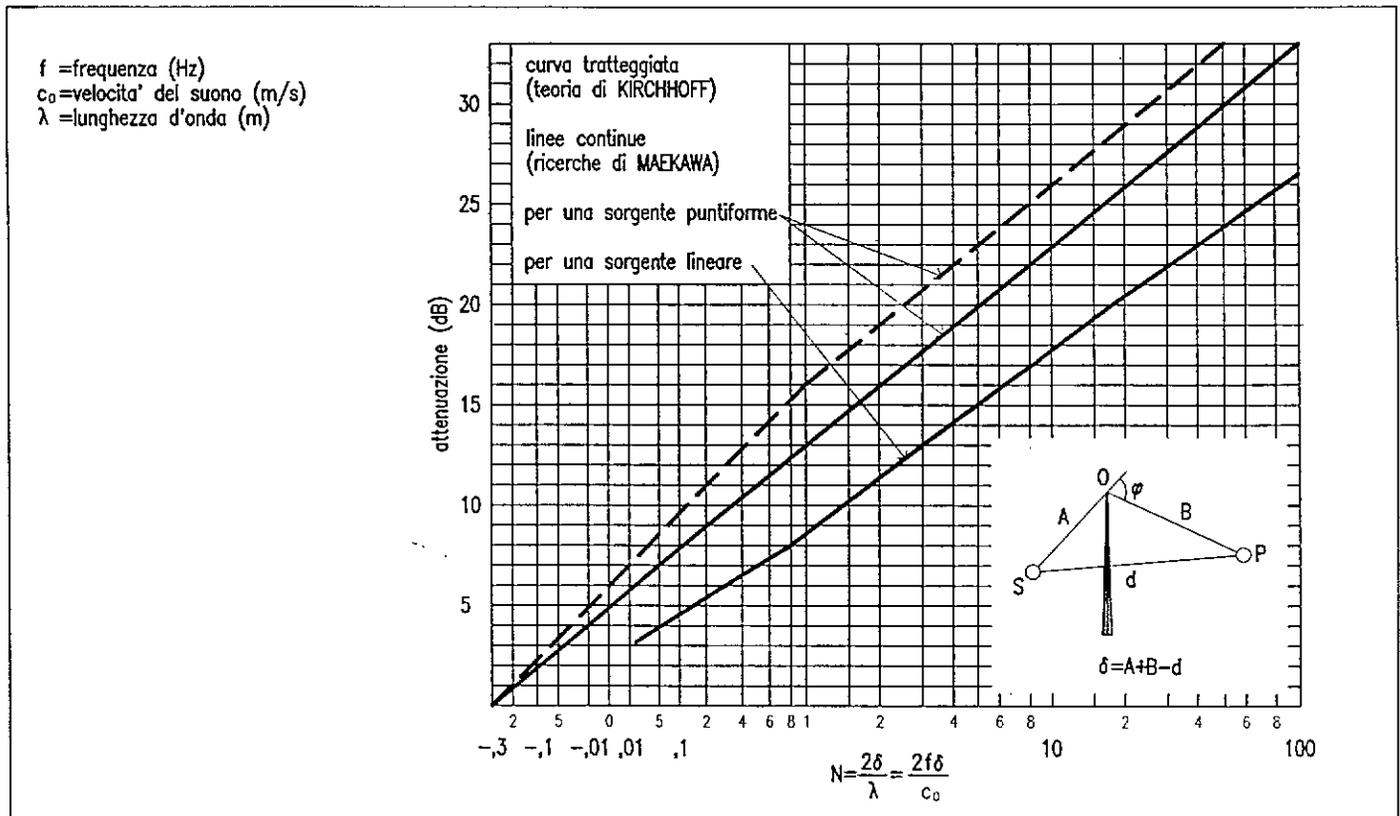
9



10



11



12

poiché in entrambi i casi si tratta di veicoli azionati da grossi motori diesel. Tuttavia l'andamento temporale delle lavorazioni rende questa rumorosità estremamente variabile, e pertanto poco soggetta a valutazioni medie energetiche sul lungo periodo. Va anche detto che il territorio agricolo oggetto di lavorazioni meccanizzate viene considerato dalla legislazione come area di media rumorosità (classe III, come illustrato in dettaglio al punto 4.4.1).

Restano infine da considerare le sorgenti sonore di tipo "musicale" che, soprattutto nei mesi estivi, stante l'intensa attività di discoteche, festival e concerti all'aperto, riempiono la notte di note non sempre gradite. In alcuni casi le potenze sonore emesse sono esorbitanti (si pensi a concerti rock con decine di migliaia di watt, emessi su altoparlanti a tromba con efficienze anche del 30%), mentre in altri casi, pur in presenza di sorgenti non amplificate di limitata potenza, si verifica ugualmente un rilevante disturbo: ciò è dovuto al contenuto informativo e tonale della musica, che viene percepita anche a livelli nettamente inferiori al rumore di fondo.

In questi casi sarebbe necessario disporre di edifici con elevatissimo isolamento acustico, quando viceversa occorre poi spesso tenere le finestre aperte per motivi termici. Pertanto è opportuno che l'effetto di disturbo di tali sorgenti musicali venga primariamente limitato all'origine, riducendo la potenza sonora emessa e circoscrivendo l'emissione a luoghi sufficientemente lontani dalle abitazioni e/o opportunamente schermati. Si deve inoltre tenere in considerazione la possibilità di mascherare il contenuto informativo dei segnali musicali sovrapponendovi rumore più forte di altra origine, quale lo stesso rumore da traffico; sono infatti noti casi in cui le lamenti sono cominciate solo dopo la creazione di isole pedonali che hanno di fatto azzerato il rumore mascherante.

Si ricorda infine che tutte le attività temporanee, la cui rumorosità ecceda i limiti di legge, debbono essere autorizzate dal sindaco mediante un procedimento di deroga.

4.2 Propagazione del rumore all'esterno

4.2.1 Attenuazione per divergenza geometrica

L'intensità sonora è data dal rapporto fra la potenza emessa e la superficie su cui essa si è distribuita: pertanto, allontanandosi da una sorgente sonora, l'intensità andrà via via diminuendo.

Se la sorgente è "puntiforme" (cioè piccola rispetto alla distanza dal ricevitore), si può ammettere che la superficie su cui il suono si è distribuito sia una sfera: in queste condizioni l'intensità sonora si riduce a 1/4 a ogni raddoppio della distanza sorgente-ricevitore, ovvero si ha una riduzione di 6 dB per ogni raddoppio di distanza.

Se la sorgente è invece "estesa", la riduzione con la distanza è inferiore: per esempio, una sorgente "lineare" (quale una linea stradale), emettendo la sua potenza su superfici cilindriche, avrà un'attenuazione con la distanza di 3 dB per raddoppio. Una sorgente "piana" (la parete di un edificio) non dà luogo ad alcuna attenuazione per divergenza geometrica, perché la superficie su cui si distribuisce il fronte sonoro rimane piana e con la stessa area della sorgente.

Chiaramente, a elevata distanza tutte le sorgenti tendono a diventare puntiformi: si consideri per esempio il caso della parete laterale di un insediamento industriale, dal cui interno fuoriesce una rumorosità pressoché uniforme, avente una lunghezza di 100 m e un'altezza di 10 m. A una distanza dalla parete inferiore o pari alla sua altezza, il livello sonoro è pressoché costante; esso inizia poi a decadere con la legge delle sorgenti lineari (3 dB per raddoppio di distanza) fino a che non si arriva a una distanza pari all'incirca alla lunghezza della parete; di qui in poi, l'attenuazione per divergenza geometrica cresce ulteriormente, tendendo al valore limite di una sorgente puntiforme (6 dB per raddoppio). Per ulteriori ragguagli sulla divergenza geometrica si rimanda al cap. 7, parte prima.

4.2.2 Attenuazione in eccesso

Sovente si verifica sperimentalmente che, allontanandosi da una sorgente sonora, il livello cala ancora di più di quanto prevedibile in base alla sola divergenza geometrica. Questa ulteriore riduzione di livello viene chiamata *attenuazione in eccesso*, ed è dovuta principalmente alle seguenti cause:

- dissipazione dell'energia sonora nell'aria;
- effetti dei gradienti termici e del vento;
- attenuazione per incidenza radente sul suolo.

L'aria è un mezzo debolmente dissipativo. L'attenuazione in eccesso da essa prodotta è in prima approssimazione proporzionale al quadrato della frequenza, ed è inversamente proporzionale al grado igrometrico ϕ (umidità relativa); per esempio a 20 °C si ha una attenuazione di 0,28 dB/100 m quando $\phi = 50\%$ ed $f = 500$ Hz, mentre si ha una attenuazione ben maggiore, pari a 6,7 dB/100 m nel caso di $\phi = 20\%$ ed $f = 4000$ Hz. Per dati più estesi si veda il cap. 7, parte prima, punto 2.2.3, oppure la norma tecnica ISO/DIS 9613 parte I.

I gradienti termici o di velocità del vento tendono a curvare i raggi sonori: se la curvatura è verso l'alto, a una certa distanza dalla sorgente si crea una zona di *ombra acustica*, all'interno della quale l'attenuazione in eccesso può essere perfino di 30 dB. Se viceversa la curvatura è verso il basso (sottovento, oppure in caso di inversione termica), il livello sonoro viene incrementato: l'attenuazione in eccesso è dunque *negativa* e si possono avere incrementi di livello sonoro di alcuni dB, soprattutto se, in assenza di curvatura dei raggi, si hanno ostacoli in grado di schermare il cammino rettilineo del suono. Per informazioni più dettagliate si rimanda al cap. 7, punto 2.2.4, oppure alla norma ISO/DIS 9613 parte II.

Infine si deve considerare l'effetto della propagazione su terreno particolarmente soffice e fonoassorbente (strato erboso), che solitamente produce una certa riduzione del livello sonoro per i punti situati a limitata elevazione rispetto al piano di campagna. La figura 11 illustra l'attenuazione in eccesso su un prato erboso, con altezza media dal suolo di sorgente e ricevitore di 1,5 m. Si osserva che, a quasi tutte le frequenze, l'attenuazione in eccesso è positiva, ma alla frequenza di 125 Hz si ha viceversa un'attenuazione negativa (cioè un aumento) del livello sonoro (si veda anche il cap. 7, punto 2.2.3 e la citata ISO/DIS 9613 parte II).

4.2.3 Riflessione e diffrazione su ostacoli

È ovvio che le cose si complicano quando nel cammino di propagazione del rumore sono presenti movimentazioni altimetriche, ostacoli, boschi, case, muri. Ciascun singolo ostacolo può in generale comportarsi secondo tre diverse modalità di interazione con il campo sonoro: riflessione speculare, riflessione diffusa, diffrazione.

Sebbene siano in realtà sempre presenti tutti e tre i fenomeni suddetti, si può affermare che si ha *riflessione speculare* se l'ostacolo ha dimensioni grandi rispetto alla lunghezza d'onda e superficie "liscia" (cioè con asperità pic-

Fig. 10 Spettri di treni italiani di vario tipo.
Fig. 11 Attenuazione in eccesso (effetto suolo) per la propagazione su terreni erbosi piani. I dati riportati si riferiscono a una sorgente più ricevitore all'altezza media di 1,5 m e a condizioni atmosferiche favorevoli.
Fig. 12 Attenuazione del suono per uno schermo semi-infinito in spazio libero.

cole rispetto alla lunghezza d'onda). In questo caso è come se il suono riflesso provenisse da una sorgente immaginaria, situata *dietro* l'ostacolo, in posizione speculare rispetto a quella reale (sorgente immagine). Nel caso di strade urbane strette e alte si hanno in tal modo riflessioni multiple sulle facciate degli edifici contrapposti, che danno luogo a un rilevante incremento di livello sonoro (anche 10-12 dB). Quando viceversa ci si trova davanti a una sola superficie perfettamente riflettente, l'incremento massimo di livello sonoro che può apparire è di 3 dB (cioè l'intensità raddoppia).

Si ha invece *riflessione diffusa* quando le asperità della superficie riflettente sono dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda. In questo caso non è facile prevedere la propagazione del suono riflesso, sebbene in generale la riflessione diffusa dia meno problemi di quella speculare, poiché non tende a verificarsi il fenomeno delle riflessioni multiple (si veda anche il cap. 7, punto 2.2.5).

La *diffrazione* è invece un fenomeno di bordo: essa è particolarmente evidente quando le dimensioni della superficie sono confrontabili con la lunghezza d'onda. Comunque se il ricevitore si trova nella "zona d'ombra" di un ostacolo, esso è in una situazione in cui il contributo di suono diffratto dai bordi dello stesso non è mai trascurabile. Tale situazione viene sovente creata volutamente, installando le cosiddette *barriere antirumore*. Poiché tali manufatti sono volutamente realizzati in materiale ad alto potere fonoisolante, è di norma trascurabile la potenza sonora che passa attraverso essi, rispetto a quella diffratta dal bordo superiore. Esistono semplici relazioni matematiche per la stima dell'attenuazione ottenibile da uno schermo antirumore; nella *figura 12* è visibile un diagramma che ben correla con i risultati sperimentali. Nel caso di ostacoli di dimensioni finite (quali un edificio), è necessario sommare energeticamente i contributi diffratti provenienti da tutti i bordi dello stesso (superiore e laterali). Si veda anche il cap. 7, punto 2.2.6.

4.3 Penetrazione del rumore esterno nelle strutture edilizie

4.3.1 Potere fonoisolante e isolamento acustico delle perimetrazioni esterne di un edificio

In generale si può affermare che il potere fonoisolante delle strutture perimetrali di un edificio è crescente con la frequenza (legge di massa). Per esempio, la *figura 13* riporta, sovrapposte, le curve del potere fonoisolante di una parete

in muratura con intercapedine coibentata e di una finestra con vetrocamera. Estese raccolte di dati sperimentali sono disponibili presso i produttori di tali componenti edilizi (produttori di laterizi e di pannelli prefabbricati, produttori di vetrate e di serramenti).

L'effettivo isolamento acustico di un edificio dipende però non solo dal potere fonoisolante dei componenti impiegati, ma anche da altri fattori quali: presenza di aperture, griglie di aerazione ecc., tempo di riverbero dei locali, isolamento strutturale dell'edificio rispetto alle vibrazioni trasmesse attraverso il terreno.

È ovvio che la prima causa di riduzione dell'isolamento acustico va accuratamente circoscritta, collocando le vie di comunicazione aerea verso spazi non invasi dal rumore esterno. Eventualmente sono disponibili prese d'aria insonorizzate, o cassonetti degli avvolgibili con coibentazione acustica, onde garantire comunque il necessario ricambio d'aria senza far passare il rumore.

Il tempo di riverbero dei locali dipende molto dal grado di arredamento degli stessi: spesso si riscontrano isolamenti acustici inferiori al previsto effettuando le prove in locali vuoti, appena ultimati; quando poi essi vengono arredati e abitati, il tempo di riverbero cala considerevolmente e l'isolamento acustico migliora.

Il problema dell'isolamento strutturale dell'edificio diviene pressante solo nel caso di notevole vicinanza a vie di grande traffico o ferrovie. In tal caso, le vibrazioni possono trasmettersi alle strutture edilizie, irradiando potenza sonora all'interno e mandando in risonanza pannelli leggeri e vetrate mal vincolate. È ovvio come questi problemi siano di difficile soluzione a edificio ultimato.

4.3.2 Calcolo del livello sonoro entro l'edificio

Viene qui illustrato un esempio di calcolo semplificato del livello sonoro in dB(A) all'interno di un locale, affacciato su una strada urbana di grande traffico.

Il livello sonoro in facciata $L_{A, ext}$ viene calcolato mediante la relazione (1); assumendo una portata oraria di 1000 veicoli/h, con il 20% di mezzi pesanti e una velocità di 70 km/h, si ottiene un livello sonoro in facciata (a 30 m dall'asse stradale) pari a 70 dB(A). Tenuto conto dello spettro sonoro tipico della *figura 8*, si ha un livello L_{ext} diverso in ciascuna banda d'ottava, come riportato nella *tabella 16*.

La parete perimetrale del locale è costituita dalla muratura coibentata di cui al punto precedente, per una superficie $S_1 = 10 \text{ m}^2$, e da una finestra in vetroca-

mera di $S_2 = 1 \text{ m}^2$. I valori del potere fonoisolante R_1 ed R_2 di tali strutture possono dunque essere dedotti dalla *figura 13*, alle varie frequenze, e sono anch'essi riportati nella *tabella 16*. A ogni frequenza si calcola quindi il livello di potenza sonora $L_{W, in}$ entrante nell'edificio:

$$L_{W, in} = L_{ext} + 10 \lg \left(S_1 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)_+} + S_2 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)_+} \right) \quad (4)$$

Noti i valori della potenza entrante, si può calcolare il livello sonoro nel locale, nell'ipotesi di campo sonoro diffuso all'interno, supponendo opportuni valori del tempo di riverberazione τ all'interno (anch'essi riportati nella *tabella 16*) e considerando un volume V di 100 m^3 :

$$L_{in} = L_{W, in} + 10 \lg \left(\frac{4 \tau}{0,16 V} \right) \quad (5)$$

Avendo calcolato i livelli sonori all'interno in ciascuna banda, si opera infine l'accorpamento degli stessi in un unico valore, che risulta pari a 32 dB(A). L'isolamento effettivo del locale in questione è dunque di 38 dB(A) (stradali, cioè in presenza di rumore da traffico). La *figura 14* riporta graficamente i risultati del calcolo.

Fig. 13 Potere fonoisolante rilevato sperimentalmente secondo ISO 140/3.

Potere Fonoisolante secondo ISO 140 / 3

Misura in laboratorio dell' isolamento acustico di elementi di fabbricato

Descrizione del campione n. 1

Parete a doppia strato, spessore cm 28.5, costituita da:
 - 1 strato realizzato con elementi forati di laterizio normale (tramezze), spessore cm 8, in opera a fori orizzontali con malta M3, intonacato con malta M3 spessore cm 1.5 sul lato esterno;
 - intercapedine spessa cm 4 riempita con argilla espansa sfusa;
 - 1 strato realizzato con elementi forati di laterizio normale (tramezze), spessore cm 12, in opera a fori orizzontali con malta M3, intonacato con malta M3 spessore cm 1.5 su ambo i lati

Descrizione del campione n. 2

Finestra fissa costituita da:
 - telaio in profilati d' alluminio preverniciati iniettati in poliuretano espanso;
 - lastra in vetrocamera BIVER in cristallo normale spessore mm 8 + 4 - intercapedine mm 12 unita al contorno a mezzo distanziatore e sigillanti.
 Superficie della vetrata: 1 mq.

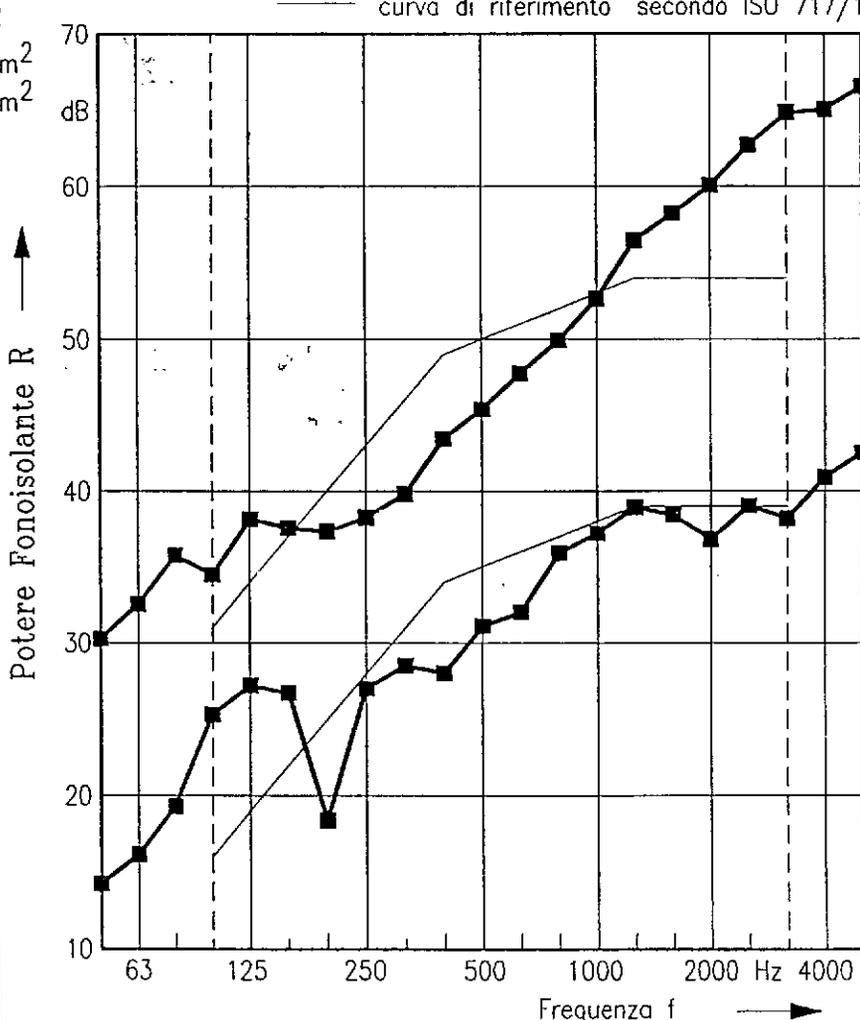
Materiali impiegati:

- Tramezza cm 8x25x25, a 10 fori, F/A = 60%
- Tramezza cm 12x25x25, a 15 fori, F/A = 60%
- Argilla Espansa Sfusa (pezzatura 3-5 mm)

Area sezione di prova: 10 m²
 Densita' superficiale (1): 260 kg/m²
 Densita' superficiale (2): 30 kg/m²

--- limiti di frequenza secondo ISO 140/3
 ——— curva di riferimento secondo ISO 717/1

Freq Hz	R1 1/3ott dB	R2 1/3ott dB
50	30.2	14.3
63	32.5	16.2
80	35.8	19.3
100	34.5	25.3
125	38.1	27.2
160	37.6	26.7
200	37.3	18.4
250	38.2	27.0
315	39.8	28.5
400	43.4	28.0
500	45.4	31.1
630	47.7	32.0
800	49.9	35.9
1000	52.6	37.2
1250	56.5	38.9
1600	58.2	38.4
2000	60.1	36.8
2500	62.7	39.0
3150	64.8	38.2
4000	65.1	40.9
5000	66.6	42.5



ISO 717/1 : $R_{w1} = 50$ dB

Dev. Max 6.2 dB a 315 Hz

ISO 717/1 : $R_{w2} = 35$ dB

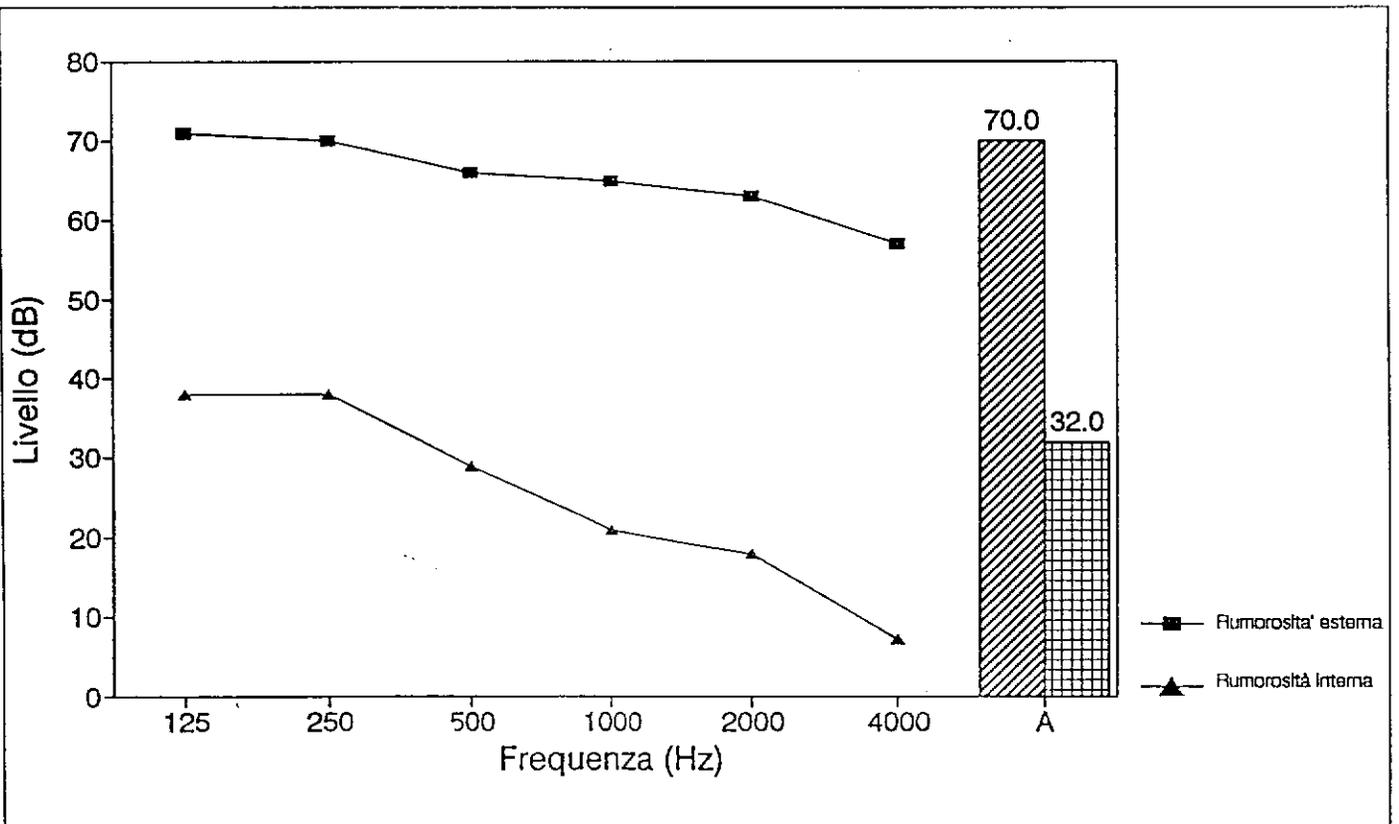
Dev. Max 6.6 dB a 200 Hz

Volume camera sorgente : $V_s = 55$ m³
 Volume camera ricevente : $V_r = 50$ m³

Fig. 14 Isolamento di una facciata.

Tab. 16 Esempio di calcolo del livello sonoro entro un ambiente

Frequenza (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	A
Rumore esterno in facciata L_{ext}	71,0	70,0	66,0	65,0	63,0	57,0	70,0
Potere fonoisolante parete doppia in muratura	37,0	38,0	45,0	52,0	60,0	65,0	
Potere fonoisolante vetrocamera mm 8+12+4	27,0	26,0	31,0	37,0	37,0	41,0	
Livello di potenza sonora entrante $L_{W,in}$	47,0	46,1	36,5	29,2	26,2	16,2	
Tempo di riverbero del locale (s)	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	
Livello sonoro all'interno L_{in}	38,0	37,9	28,9	21,0	18,0	7,1	32,0



4.4 La normativa di legge in Italia

L'1.3.1991 è stato approvato il DPCM che detta i limiti alla rumorosità nel territorio.

Nell'allegato A di tale decreto vengono sancite le modalità di misura del livello sonoro (quantificato in modo unico tramite il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato $A, L_{Aeq,T}$) e le penalizzazioni nel caso di rumori con componenti impulsive o tonali. Nell'allegato B vengono invece riportati i limiti massimi di rumorosità ammessa in funzione della destinazione d'uso del territorio.

Va precisato subito che all'interno del DPCM convivono due diverse normative. La prima si occupa di fissare i limiti territoriali della rumorosità e si articola in limiti provvisori (subito operanti, ma applicabili alle sole sorgenti fisse) e limiti definitivi, che entreranno in vigore solo dopo che il Comune avrà provveduto a suddividere il proprio territorio in zone.

La seconda normativa si riferisce invece alla tutela dei cittadini dal disturbo da rumore, fornendo una metodologia di valutazione oggettiva dello stesso basata sul criterio del *limite differenziale*: si ammette cioè che una singola sorgente sonora potenzialmente disturbante produca, quando è in attività, un incremento della rumorosità inferiore a 5 dB diurni e a 3 dB notturni. Tali limiti differenziali non si applicano però se il livello sonoro, con sorgente disturbante in funzione e finestre chiuse, è inferiore a 40 dB(A) diurni e a 30 dB(A) notturni: questo fatto è molto importante, poiché indirettamente pone vincoli alla progettazione dei nuovi edifici, come verrà meglio precisato in seguito.

4.4.1 Zonizzazione acustica provvisoria e definitiva: limiti assoluti

Nell'allegato B del DPCM sono riportati i limiti massimi di rumorosità ammessa in funzione della destinazione d'uso del territorio (definitivi, cioè dopo la zonizzazione); essi sono (rumore diurno):

- I - Aree particolarmente protette
 $L_{eq} = 50 \text{ dB(A)}$
- II - Aree prevalentemente residenziali
 $L_{eq} = 55 \text{ dB(A)}$
- III - Aree di tipo misto
 $L_{eq} = 60 \text{ dB(A)}$
- IV - Aree di intensa attività umana
 $L_{eq} = 65 \text{ dB(A)}$
- V - Aree prevalentemente industriali
 $L_{eq} = 70 \text{ dB(A)}$
- VI - Aree esclusivamente industriali
 $L_{eq} = 70 \text{ dB(A)}$

Nel periodo notturno (dalle ore 22 alle 6) i limiti di rumorosità delle classi I-V vengono ridotti di 10 dB(A). In attesa che i Comuni provvedano a suddividere

il territorio nelle classi suddette, valgono i limiti di rumorosità provvisori applicabili alle sole sorgenti fisse, basati sulla classificazione del territorio sancita dal DM 1444/68:

- Zona A, $L_{eq} = 65 \text{ dB(A)}$;
- Zona B, $L_{eq} = 60 \text{ dB(A)}$;
- Altre zone, $L_{eq} = 70 \text{ dB(A)}$;
- Aree esclusiv. industr., $L_{eq} = 70 \text{ dB(A)}$.

Il limite notturno delle prime tre classi è di 10 dB inferiore a quello diurno, mentre per la quarta rimane di 70 dB(A). La definizione delle zone di territorio cui assegnare le classi di cui sopra è ben poco dettagliata nel DPCM stesso; si riportano comunque di seguito le definizioni di ciascuna classe derivanti dal DPCM e dal DM 1444/68.

- *Classe I, Aree particolarmente protette.* Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo e allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici ecc.

- *Classe II, Aree destinate a uso prevalentemente residenziale.* Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali e assenza di attività industriali e artigianali.

- *Classe III, Aree di tipo misto.* Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali e uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; le aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.

- *Classe IV, Aree di intensa attività umana.* Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.

- *Classe V, Aree prevalentemente industriali.* Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

- *Classe VI, Aree esclusivamente industriali.* Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

Poiché le suddette definizioni non consentono in molti casi l'automatica assegnazione delle classi in base alle destinazioni d'uso del territorio previste

dal PRG, viene sentita l'esigenza di ulteriori specificazioni, che in assenza di intervento statale vengono fornite dalle Regioni.

In molti Comuni non vi è alcun reale interesse a superare la situazione transitoria, poiché l'adozione della zonizzazione definitiva porterebbe automaticamente fuori legge una parte consistente del territorio comunale, solitamente a causa del rumore da traffico stradale: a questo punto, trattandosi di strade comunali, spetterebbe al Comune l'onere degli interventi di bonifica acustica o l'impopolare decisione della chiusura al traffico di tali strade.

Per quanto riguarda la procedura di zonizzazione acustica del territorio di un Comune, va fatta chiarezza fra *classificazione acustica* del territorio e *mappatura acustica* dello stesso: non è infatti necessario conoscere la distribuzione spaziale del livello sonoro sul territorio (mappatura) per procedere all'individuazione delle classi, poiché esse dipendono unicamente dall'uso che viene fatto del territorio e non dall'esistente rumorosità.

Per converso va anche detto che sovente gli organismi di amministrazione del Comune vogliono avere un'idea di quale frazione del territorio verrà a trovarsi fuori legge in seguito all'adozione della zonizzazione, per cui essi tendono a far conseguire sempre la zonizzazione alla mappatura. Si sottolinea però come questa abitudine porti spesso all'attribuzione di classi di comodo a porzioni del territorio aventi ben diversa destinazione d'uso, al solo scopo di creare delle zone cuscinetto fra le sorgenti sonore e le aree circostanti. Tale prassi trova giustificazione nella programmazione di nuove espansioni dell'edificato, ma non nella normalizzazione dell'esistente.

È dunque evidente come la procedura di zonizzazione acustica del territorio sia soprattutto un'operazione urbanistica e pertanto vada condotta in maniera integrata alla gestione del PRG: buona regola sarebbe congiungere la procedura di zonizzazione acustica con l'emaneazione di una variante complessiva del PRG, in modo da evitare la coesistenza sul territorio di due piani di gestione dello stesso aventi fini diversi e parzialmente contrastanti.

4.4.2 Valutazione del disturbo da rumore dentro gli edifici: limiti differenziali

I limiti di zona sono applicabili solo all'esterno degli edifici, e pertanto non danno alcuna garanzia che all'interno di essi le condizioni acustiche siano congrue con le esigenze degli occupanti.

La scelta fatta dal legislatore è quella di assegnare, all'interno del locale, non

limiti assoluti, ma limiti *differenziali*. Si tollera dunque da parte di ciascuna sorgente sonora un innalzamento del *rumore residuo* (rumore a sorgente inattiva) fino a 5 dB durante il periodo diurno e fino a 3 dB durante quello notturno. Vengono inoltre applicate, sia al rumore residuo sia a quello disturbante, penalizzazioni in caso di rumore con toni puri o carattere impulsivo.

La logica differenziale di questo limite fa sì, per esempio, che la contemporanea presenza di due sorgenti sonore di pari rumorosità renda lecite entrambe, quando magari ognuna eccede ampiamente i limiti differenziali rispetto al *rumore di fondo* (rumore con *tutte* le sorgenti disturbanti inattive). Inoltre si può osservare che la liceità o meno di una emissione sonora dipende non solo dal comportamento di colui che ne è responsabile, ma anche di chi produce il rumore residuo: risulta pertanto difficile individuare la responsabilità legale in caso di eccedenza dei limiti.

In realtà esistono anche all'interno degli edifici dei limiti assoluti, al di sotto dei quali qualsiasi rumorosità è considerata accettabile: 30 dB(A) notturni e 40 dB(A) diurni, misurati a *finestre chiuse*. Ovviamente anche in questo caso il rispetto di tali limiti dipende in parte da persone diverse dal responsabile delle emissioni sonore, poiché l'isolamento acustico dell'edificio, e in particolare dei serramenti, gioca in questo caso un ruolo rilevante.

4.4.3 Vincoli per il progettista

La presenza di limiti assoluti anche all'interno degli edifici impone indirettamente requisiti minimi alle prestazioni acustiche delle strutture perimetrali: si supponga, per esempio, che una sorgente di rumore rispetti i limiti di zona all'esterno dell'edificio disturbato, ma che all'interno vengano superati i limiti differenziali, senza che il livello sonoro rientri entro i limiti assoluti di cui sopra. Si può concludere che la colpa della violazione alla legge è del proprietario dell'edificio, poiché esso non possiede un isolamento acustico sufficiente.

Ovviamente la situazione di cui sopra sarebbe molto meno chiara qualora l'edificio preesistesse all'entrata in funzione della sorgente sonora; nel caso invece di nuova edificazione, è evidente che è chi costruisce che deve preoccuparsi del rispetto dei livelli assoluti minimi all'interno, a finestre chiuse.

Volendo evitare lamentele, è inoltre opportuno adottare adeguate soluzioni di ventilazione o condizionamento dell'aria, onde far sì che anche d'estate sia effettivamente possibile tenere chiusi i serramenti e valersi della loro attenuazione acustica.

Il vincolo per il progettista di un nuovo edificio può dunque essere così espresso: ipotizzando che la rumorosità in facciata corrisponda al limite di zona (diurno o notturno), l'isolamento dell'edificio deve essere tale da garantire all'interno un livello sonoro inferiore a 30 dB(A) notturni e a 40 dB(A) diurni. Poiché i limiti di zona sono anch'essi differenziati di 10 dB fra giorno e notte, si conclude che è univocamente determinato l'isolamento acustico in dB(A) che viene richiesto per ciascuna classe:

I – Aree particolarmente protette	10
II – Aree prev. residenziali	15
III – Aree di tipo misto	20
IV – Aree di intensa attività umana	25
V – Aree prevalentemente industriali	30
VI – Aree esclusivamente industriali	40

Per quanto riguarda invece il progettista di nuovi insediamenti produttivi, il DPCM sancisce esplicitamente l'obbligo di produrre, insieme al progetto, idonea documentazione di previsione di impatto acustico, senza però precisare cosa viene richiesto. Pare logico ritenere che tale valutazione debba contenere la verifica dei livelli di rumorosità assoluti nei punti potenzialmente disturbati limitrofi al perimetro dell'insediamento. Non è invece ipotizzabile la valutazione differenziale dell'impatto acustico del nuovo insediamento, a meno che la stessa venga effettuata all'esterno degli edifici: infatti non è possibile accedere all'interno di private abitazioni per valutare il rumore residuo ivi esistente, e d'altronde si verifica solitamente che, se il criterio differenziale è rispettato all'esterno di un edificio, allora esso viene rispettato anche all'interno.

È ovvio che la valutazione di impatto acustico è fattibile solo conoscendo la rumorosità emessa dalle sorgenti sonore connesse con l'attività produttiva in questione; pertanto diventa sempre più importante che tutte le attrezzature potenzialmente rumorose vengano corredate di certificazione della potenza sonora emessa, con l'indicazione del livello di potenza sonora in bande d'ottava (o ancor meglio di terzo d'ottava).

4.5 Bibliografia

- CANNELLI G.B., GLUCK K., SANTOBONI S., "A mathematical model for evaluation and prediction of mean energy level of traffic noise in Italian towns", *Acustica*, n. 53, 1983, pp. 31-42
- CATO D.H., "Prediction of environmental noise from fast electric trains", *Journal of Sound and Vibration*, n. 46, 1976, pp. 735-753
- COCCHI A., FARINA A., LOPES G., "Modelli matematici per la previsione del rumore stradale: verifica ed affinamento del modello CNR in base a rilievi sperimentali nella città di Bologna", Atti del XIX Convegno Nazionale AIA, Napoli 10-12 aprile 1991

tali nella città di Bologna", Atti del XIX Convegno Nazionale AIA, Napoli 10-12 aprile 1991

4.6 Leggi e norme di riferimento

- AFNOR S 31-051 "Mesure du pouvoir d'isolation acoustique des éléments de construction et de l'isolement des immeubles - Mesure en laboratoire du pouvoir d'isolation acoustique au bruit aérien des éléments de construction", Association Française de Normalisation, in "Acoustique" tome 4: "Acoustique du Bâtiment", ISBN 2-12-163 054-6 (5^e édition), 1988
- Der Bundesminister für Verkehr - Abteilung Straßenbau, *Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen*, ZTV-Lsw 81, Verkehrsblatt Verlag, Borgmann BmbH & Co., Dortmund 1981
- DPCM dell'1.3.1991, *Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno*, GU n. 57 dell'8.3.1991
- ISO/DIS 717/1, *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation*, ISO/TC 43/SC 2 N 499, settembre 1992
- ISO/DIS 9613, *Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Method of calculation of the attenuation of sound by atmospheric absorption*, ISO/TC 43/SC 1, 1990
- ISO/DIS 9613, *Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: A general method of calculation*, ISO/TC 43/SC 1, 1991
- ISO/DIS 8297, *Determination of sound power levels of multisource industrial plants for the evaluation of the sound pressure levels in the environment - engineering method*, ISO/TC 43/SC 1, 1987
- ISO/DIS 140, *Measurement of sound insulation in building and of building elements. Part 3: Laboratory measurement of airborne sound insulation of building elements*, ISO/TC 43/SC 2, 1992