



COMUNE DI VENEZIA
ASSESSORATO ALL'AMBIENTE



manuale delle buone pratiche sul **disinquinamento acustico**

controllo del rumore nel
Comune di Venezia

Realizzato a cura di:

COMUNE DI VENEZIA
**Direzione Ambiente, Area della tutela dell'aria e
delle fonti energetiche**
dr. Pierantonio Belcaro (assessore all'ambiente)
Dirigente dott.ssa Anna Bressan
Collaboratore dott. Claudio Tomaello



COMUNE DI VENEZIA
ASSESSORATO ALL'AMBIENTE

Agenda 21 consulting srl
Ing. Simone Dalla Libera
Dott. Andrea Tombolato
Dott. Simone Dal Toè
Dott. Paolo Dalla Libera
Dott.ssa Chiara Fracon
Dott.ssa Paola Perazzolo

agenda 21
consulting srl
territorio e sviluppo sostenibile



si ringraziano per la collaborazione:
Dott. Paolo Giacomini
Ing. Stefano Casarotti

Redatto da:
Progetto grafico ed impaginazione
Outline di Matteo Dittadi
via Brusaura, 13/2
30030 Dolo (VE)

Realizzazione
Centro Offset Master s.r.l.
Mestrino (PD)

Finito di stampare
gennaio 2007

Tutti i diritti riservati.
È vietata la riproduzione anche parziale
non espressamente autorizzata

L'impegno del Comune di Venezia verso il disinquinamento acustico

Rendere una città vivibile dal punto di vista ambientale è una delle sfide centrali per un efficace ed organico governo del territorio: se fino a qualche tempo fa le azioni erano volte soprattutto a temi come la riduzione dell'inquinamento atmosferico o la corretta gestione dei rifiuti, negli ultimi anni si assiste ad una crescente attenzione anche verso i disagi acustici, sia per la recente produzione normativa in materia che fornisce alle Amministrazioni comunali strumenti operativi di gestione, sia per la maggiore sensibilità dell'opinione pubblica in merito.

L'inquinamento acustico costituisce una realtà presente soprattutto in ambito urbano, dove diversi tipi di sorgenti rumorose come il traffico, le industrie e i cantieri contribuiscono a creare situazioni di potenziale disagio per i residenti. Tale inquinamento è indissolubilmente legato ad attività sulle quali si fonda il nostro sistema economico: la sfida che si pone ad un'Amministrazione locale è pertanto impegnativa, in quanto si tratta di gestire tale problematica contemperando le diverse esigenze in gioco. In ambito urbano produrre, spostarsi e commerciare possono comportare dei disagi acustici, ma ciò non può andare a discapito della qualità di vita di chi in una città lavora e risiede.

Un fenomeno di tale complessità non può che essere affrontato percorrendo contemporaneamente più strade e facendo leva su diversi strumenti. Tra le diverse soluzioni da mettere in campo, un passo necessario è senz'altro rappresentato dalle attività di pianificazione e gestione del territorio, che permettano di individuare criteri, limiti e possibilità validi nell'intero territorio comunale. In questo senso il Comune di Venezia si è attivato, così come previsto dalla legge quadro sull'inquinamento acustico (L. n. 447/1995), dotandosi con delibera del Consiglio Comunale n. 39 del 10/02/2005 del Piano di zonizzazione acustica, strumento urbanistico di settore che assegna a porzioni omogenee di territorio una classe che, attraverso parametri acustici, descrive l'ambiente di vita in relazione al disturbo provocato dal rumore. Oltre a ciò, l'Amministrazione ha provveduto alla redazione della caratterizzazione acustica del territorio comunale, e sta per concludere gli studi legati alla della caratterizzazione del rumore stradale.

In tal modo, la gestione dell'inquinamento acustico potrà essere efficace poiché fondata su due scenari rappresentativi: da un lato la fotografia della situazione acustica attuale del territorio (con le zone che necessitano di una bonifica evidenziate dalla caratterizzazione acustica), dall'altro gli obiettivi acustici da perseguire nelle diverse zone (indicati nel Piano di zonizzazione acustica). Lo scenario che andrà a completare il quadro è dato dal Piano comunale di risanamento acustico, che indicherà le azioni e gli interventi da porre in atto per raggiungere gli scopi prefissati, e il cui iter di redazione è in fase di avvio. Come precedentemente accennato, l'aspetto pianificatorio non può da solo ritenersi esaustivo, ma va affiancato ad altre iniziative aventi maggiore connotazione informativa e divulgativa. In questo senso l'Amministrazione comunale, consapevole dell'esigenza di una maggiore conoscenza delle soluzioni concrete ed attuabili nei diversi casi di inquinamento acustico che si possono verificare sul territorio, si fa parte attiva nel processo di raccolta ed acquisizione di buone pratiche emerse in proposito in altre realtà territoriali. Nasce così l'idea di redigere questo Manuale di raccolta di buone pratiche sull'inquinamento acustico, che può essere un importante strumento operativo nella redazione del Piano comunale di Risanamento acustico e che si inserisce nell'ottica di diffusione di buone pratiche, che l'Amministrazione Comunale ha da tempo adottato, ritenendo importante porsi come soggetto attivo nel processo di condivisione di esperienze e know-how eco-sostenibili.

Tale manuale, presentando una serie di casi relativi alla governance del territorio comunale e a buone pratiche acustiche in ambiente esterno ed interno, si configura come uno strumento operativo rivolto a funzionari amministrativi e tecnici del settore acustico.

Ass. all'Ambiente
Pierantonio Belcaro

Gruppo di Lavoro	5
L'impegno del Comune di Venezia verso il inquinamento acustico	6
1. Contenuti del manuale e guida alla lettura	7
2. Introduzione ai temi dell'acustica	8
2.1 Elementi di fisica acustica	8
2.2 Tipi di sorgente e propagazione in campo libero	12
2.3 Riflessione, assorbimento, trasmissione	13
2.4 Diffrazione	14
2.5 Orecchio e sistema uditivo	16
3. Rassegna normativa	17
3.1 Normativa europea	17
3.1.1 La direttiva 2002/49/CE	17
3.2 Normativa italiana	18
3.2.1 La legge quadro n° 447/1995	18
3.2.2 I decreti attuativi della legge quadro	20
3.2.3 Il D. Lgs. n° 194/2005: novità e problematiche aperte	25
3.3 Normativa regionale del Veneto	27
3.4 Altre normative regionali	28
3.5 Norme UNI - Normativa tecnica per la valutazione di clima e impatto acustico	31
3.5.1 UNI 11143	31
3.5.2 Modelli di calcolo previsionali	31
3.5.3 Determinazione della potenza sonora	32
3.5.4 Contributo di una specifica sorgente al livello di pressione sonora ad un ricettore	32
3.5.5 Descrizione acustica del territorio	33
3.6 Norme UNI - Normativa tecnica per collaudi e calcoli previsionali acustici in edilizia	33
3.6.1 Progettazione acustica di un edificio	33
3.6.2 Collaudo acustico di un edificio	33
4. La governance del territorio comunale	35
4.1 Introduzione	35
4.2 Gli strumenti pianificatori dei Comuni	35
4.2.1 Il Piano di classificazione acustica	35
4.2.2 Il Piano di risanamento acustico	37
4.3 Le infrastrutture di trasporto	41
4.3.1 Infrastrutture ferroviarie: l'esperienza di RFI	42
4.3.2 Infrastrutture stradali: l'esperienza ARPAT-SALT	44
4.3.3 Infrastrutture aeroportuali: l'esperienza dell'aeroporto di Bologna	44
4.3.4 Trasporto pubblico locale: l'esperienza di ATAF	47
4.4 Gli interventi sui ricettori	49
4.4.1 L'attuazione del DPCM 5 dicembre 1997 nei regolamenti edilizi comunali	50
4.4.2 Regolamento edilizio: l'esperienza del Comune di Campi Bisenzio	51
4.5 La gestione del rumore nelle città metropolitane	52
4.6 Scenari futuri: i Piani d'Azione	54
5. Buone pratiche in ambiente esterno	57
5.1 Soluzioni adottate per ridurre il rumore	57
5.2 Protezione passiva: Barriere antirumore	57
5.2.1 Le barriere antirumore artificiali	58
5.2.2 Le barriere antirumore naturali	61
5.3 La progettazione di qualità	62
Buone pratiche Traffico stradale / ferroviario	67
- Barriere antirumore - schema geometrico	67
- Barriere antirumore "artificiali" - tipo trasparente	68

- Barriere antirumore “artificiali” – soluzione in centro urbano	69
- Barriere antirumore “artificiali” – soluzione con pannelli fonoisolanti	70
- Barriere antirumore “artificiale” – soluzione a tunnel	71
- Barriere antirumore “naturali” - in legno	72
- Barriere antirumore “seminaturali” - in terre rinforzate	73
- Barriere vegetali	74
Buone pratiche Traffico ferroviario	75
- Blocchi a cassero in galleria	75
Buone pratiche Traffico stradale	77
- Asfalti fonoassorbenti -drenanti, a doppio strato, a matrice aperta	77
- Moderazione della velocità - restringimenti alternativi ai dossi	79
- Moderazione della velocità - semafori intelligenti alternativi ai dossi	80
- Regolarizzazione del flusso - rotatorie al posto dei semafori	81
- Moderazione della velocità - zona 30	82
- Riduzione dei volumi di traffico e/o della percentuale di mezzi pesanti	83
- Terrapieno e barriera antirumore	88
Buone pratiche Impianti frigoriferi, di condizionamento, trasformatori.	89
- Barriere antirumore a ridosso della sorgente	89
- Cabinatura fonoisolante completa	90
- Silenziatori	91
Buone pratiche altro	91
- Tagliaerba	92
- Attività venatoria	93

6. Buone pratiche in ambiente interno 94

6.1 Soluzioni adottate per isolare gli edifici	94
Buone pratiche Edilizia direzionale	95
- Facciata metallica ventilata	95
- Edilizia direzionale	96
- Doppia facciata in vetro	96
- Controfacciata ventilata in listelli di legno e materiale fonoisolante	97
- Controfacciata in materiale fonoisolante e mattoni	98
- Controfacciata continua in legno e materiale fonoisolante	99
Buone pratiche Impianti di condizionamento	100
- Risanamento acustico dei tubi di distribuzione dell'aria tramite riempimento	
- Con materiale fonoassorbente	100
- Risanamento acustico degli impianti di distribuzione dell'aria tramite trattamento	
- Del plenum con materiale fonoassorbente	101
- Risanamento acustico degli impianti di distribuzione dell'aria tramite silenzianti concentrati	102
Buone pratiche Edilizia residenziale	103
- Controparete di pannelli fonoisolanti in lana di legno e polistirene espanso	103
- Doppia controparete di pannelli fonoisolanti	104
- Controparete in muratura con intercapedine riempita di materiale fonoisolante	105
- Intonaco fonoisolante applicato sul lato esterno/interno della parete	106
- Sostituzione dei vetri di facciata con vetro monolitico spesso o stratificato	107
- Sostituzione dei vetri di facciata con vetrocamera	108
- Uso di doppie finestre	109
- Uso di balconi a setti orientabili	110
- Uso di avvolgibili metallici	111
- Porte fonoisolanti	112
- Controsoffitto in aderenza	113
- Controsoffitto sospeso	114
- Tetto fonoisolante, rivestimento interno	115
- Tetto fonoisolante, isolamento sopra i travi	116
- Insonorizzazione dei camini delle centrali termiche	117

7. Per approfondire	118
7.1 Università e istituti di ricerca italiani	118
7.2 Università e istituti di ricerca stranieri	118
7.3 Associazioni scientifiche	119
7.4 Associazioni professionali	119
7.5 Riviste italiane	119
7.6 Riviste internazionali	120
7.7 Hardware e software in Italia	120
7.8 Altri siti internazionali	120
7.9 I progetti europei sull'inquinamento acustico	121
7.10 Bibliografia	122
7.11 Elenco dei tecnici acustici	122
8. Glossario dei termini acustici	123

1. Contenuti del manuale e guida alla lettura

Rispetto ad una tematica complessa e relativamente nuova qual è l'inquinamento acustico, il presente lavoro vuole dare una prima risposta all'esigenza di fare sintesi delle diverse esperienze attuate in differenti realtà locali, al fine di produrre, se non un completo abaco delle soluzioni, almeno uno strumento operativo che possa fornire spunti concreti nella risoluzione dei molteplici e variegati problemi dell'inquinamento acustico sia di natura tecnica che gestionale che si presentano ai funzionari delle Amministrazioni e ai tecnici competenti in acustica.

L'importanza di gestire un fenomeno così diffuso e vasto traspare anche dalla crescente attenzione che il legislatore ha posto negli ultimi anni, con l'emanazione di diversi atti normativi: dalla legge quadro sull'inquinamento acustico n. 447/1995, ai numerosi decreti applicativi della stessa, fino al recente D. Lgs. n. 194/2005, che recepisce la direttiva europea n. 2002/49/CE, introducendo diversi aspetti innovativi.

Contestualmente a tale sviluppo sul fronte normativo-amministrativo, si è assistito negli anni anche ad un'evoluzione a livello progettuale-tecnologico, che ha permesso di offrire sul mercato soluzioni sempre più efficaci per ridurre l'impatto del rumore.

Il "Manuale di buone pratiche sull'inquinamento acustico" si muove su entrambi i fronti citati, con lo scopo di mettere in evidenza le migliori esperienze (amministrative e progettuali) che sono state messe in opera in altre realtà locali e che possiedono quelle caratteristiche di efficienza e validità che sono fondamentali per consentirne la replicabilità.

Attraverso una pluralità di fonti (conoscenze professionali, pubblicazioni di settore, contatti con altri Enti locali, ricerche sul web), la raccolta di buone pratiche ha riguardato sia l'ambito amministrativo che quello tecnico.

Per quanto concerne il primo, sono stati presi in esame gli esempi più avanzati relativi agli strumenti pianificatori degli enti locali (Piani di classificazione acustica e piani di risanamento acustico) e ai Piani presentati dai gestori delle diverse infrastrutture di trasporto (ferroviarie, stradali, aeroportuali), affrontando nell'ultima parte l'analisi degli strumenti amministrativi che possono essere attuati per gestire gli interventi sui ricettori.

Dal punto di vista tecnico, invece, per ridurre l'impatto del rumore si può intervenire sostanzialmente in tre direzioni: sulla fonte di emissione, sul mezzo di propagazione, sul corpo ricettore. Si è organizzato il materiale raccolto presentando prima le soluzioni adottate in ambiente esterno, dove sono maggiormente significativi gli interventi che incidono sulla fonte di emissione (o intorno ad essa) o sul corpo ricettore (o intorno ad esso) e successivamente gli accorgimenti tecnici adottabili in ambiente interno. In ambiente esterno vengono presentate le soluzioni adottate suddivise per fonte di sorgente (stradale, ferroviaria, ecc.), mentre in ambiente interno le soluzioni sono state raggruppate per destinazione d'uso del ricettore (edilizia residenziale, direzionale, ecc.).

Al fine di facilitarne la consultazione, le informazioni vengono presentate sotto forma di schede che descrivono, in modo sintetico e completo, il tipo di problema indagato, la fonte emissiva responsabile del problema, la soluzione tecnica proposta con illustrazioni progettuali, un breve commento che descrive le caratteristiche dell'intervento, i riferimenti per gli eventuali approfondimenti.

Il tutto viene completato da una parte iniziale che fornisce i principali concetti tecnici e normativi in tema di acustica ambientale e da una parte finale che suggerisce diversi spunti di approfondimento.

In particolare, nella rassegna normativa, un'agile panoramica a livello europeo, nazionale e regionale mette in evidenza gli aspetti più salienti di cui è necessario tener conto, inclusi puntuali riferimenti alle normative UNI relative alla valutazione di clima e impatto acustico, mentre nella parte finale trovano spazio un elenco dettagliato dei principali riferimenti web (istituti di ricerca italiani e stranieri, associazioni scientifiche e professionali, riviste italiane e straniere, ecc.).

2. Introduzione ai temi dell'acustica

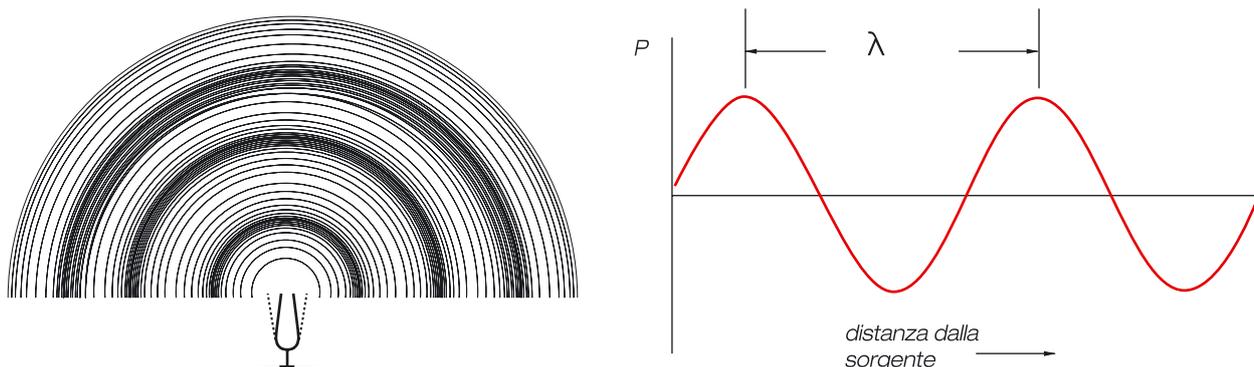
2.1 Elementi di fisica acustica

Quando si parla di suono o di vibrazioni sonore, si fa riferimento alla propagazione di onde di compressione e rarefazione in un mezzo materiale, sia esso solido, liquido o gassoso. Ad esempio, un diapason messo in vibrazione sposta le molecole d'aria immediatamente adiacenti alle bacchette metalliche, causandone alternativamente la compressione e la rarefazione. Quelle molecole d'aria, a loro volta, interagendo fra di loro, comunicano il moto agli strati successivi di aria. Si propaga quindi un'onda di compressione/rarefazione, in cui le molecole si spostano avanti e indietro attorno ad una posizione di equilibrio, in modo da assumere nuovamente la posizione iniziale alla fine di ogni ciclo.

È interessante notare la differenza fra un'onda sonora e lo spostamento fluidodinamico netto di una massa d'aria. In quest'ultimo caso, ben esemplificato dai fenomeni ventosi, le masse d'aria subiscono uno spostamento netto nello spazio, accompagnato da una propagazione di energia cinetica. Nel caso del suono, invece, al passaggio dell'onda le masse d'aria oscillano attorno ad una posizione di equilibrio, e solo l'energia acustica si propaga nello spazio.

Figura 2.1 Propagazione di onde sonore di compressione e rarefazione

Figura 2.2 Onda sonora ad un istante di tempo fissato: lunghezza d'onda (λ)



La propagazione di un'onda sonora in un fluido viene descritta dando il valore della pressione atmosferica in ogni punto e ad ogni istante di tempo. Il valore medio della pressione è approssimativamente costante, e pari ad 1 atmosfera (atm) al livello del mare, come dimostrano le letture barometriche. Tuttavia, quando un suono si propaga nell'aria, causa piccole variazioni di densità nel fluido, rilevabili tramite appositi strumenti (detti fonometri). Queste variazioni risultano essere minime, pari ad un millesimo della pressione media ambientale.

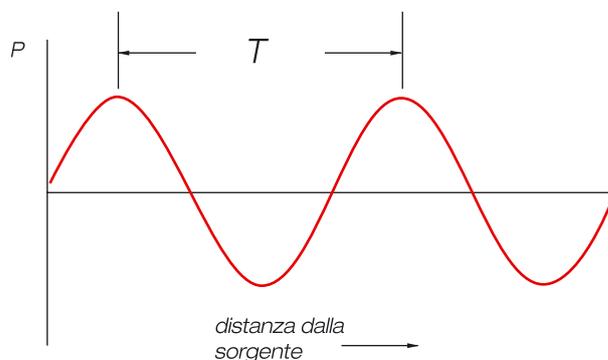
Potendo 'fotografare' ad un istante di tempo il valore della pressione sonora lungo una direzione dello spazio, otterremo un grafico simile a quanto rappresentato in figura 2.2. La distanza, misurata in metri, che separa due massimi è detta lunghezza d'onda, e viene indicata con la lettera greca λ . Analogamente, possiamo posizionarci ad una fissata distanza dalla sorgente e monitorare l'andamento della pressione in funzione del tempo. Mettendo su grafico i dati, otteniamo la figura 2.3, in cui alla distanza fra due massimi viene dato il nome di periodo, misurato in secondi.

Il rapporto fra lunghezza d'onda e periodo fornisce la velocità di propagazione del suono:

$$c = \lambda / T$$

che dipende solo dal mezzo di propagazione. In Termodinamica si era dimostrato che la velocità del suono nell'aria dipende dalla temperatura ed è pari a circa 343 m/s a 20°C. Nei liquidi è

Figura 2.3
Rilevazione della pressione
sonora in un punto fissato,
al passare del tempo



maggiore e può arrivare fino a 6 Km/s in alcuni solidi molto rigidi (ad es. granito, vetro). L'inverso del periodo ($1/T$) viene chiamato 'frequenza', si indica con la lettera f o ν , e si misura in hertz (Hz). La frequenza indica il numero di oscillazioni effettuate in un secondo. La relazione fondamentale che lega velocità, frequenza e lunghezza d'onda è:

$$c = f \cdot \lambda$$

I suoni udibili hanno frequenze comprese tra 20 e 20.000 Hz e, di conseguenza, lunghezze d'onda comprese tra 17 m e 17 mm. Per frequenze inferiori ai 20 Hz si parla di infrasuoni, mentre per frequenze superiori ai 20.000 Hz si parla di ultrasuoni.

La frequenza e la lunghezza d'onda, ad essa correlata, corrispondono ad una caratteristica dell'onda sonora ben determinata, ovvero l'"altezza" di un suono. Ad esempio, le differenti corde di una chitarra, se pizzicate, producono suoni di diversa frequenza, diversa lunghezza d'onda ma identica velocità di propagazione in aria.

Storicamente, le lunghezze d'onda non vengono rappresentate su una scala lineare, ma utilizzando il concetto di "banda d'ottava", che raccoglie al suo interno tutte le lunghezze d'onda comprese in un intervallo. Caratteristica fondamentale di questo sistema di rappresentazione è che la frequenza centrale di una banda è il doppio di quella precedente e la metà di quella successiva. La tabella 2.1 riporta le frequenze centrali delle bande d'ottava, come codificate dalle norme UNI.

Tabella 2.1 Suddivisione dello spettro di frequenze udibili in bande normalizzate d'ottava

Frequenza inferiore	11	22	44	88	177	355	710	1.420	2.840	5.680	11.360
Centro banda	16	31,5	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.000
Frequenza superiore	22	44	88	177	355	710	1.420	2.840	5.680	11.360	22.720

In generale, l'andamento della pressione sonora in funzione del tempo non è semplice come indicato in figura 2.3. Anche una corda di chitarra pizzicata non emette un suono di frequenza definita, ma un insieme di suoni a frequenze diverse. L'insieme di queste frequenze viene detto "spettro" della sorgente sonora. Nel caso della corda di chitarra, lo spettro è costituito dalla frequenza più bassa, detta "fondamentale" e dai suoi multipli interi, dette "armoniche". La situazione è rappresentata in figura 2.4, dove la forma d'onda in basso è la risultante della somma della fondamentale (in alto) e delle successive armoniche (in successione).

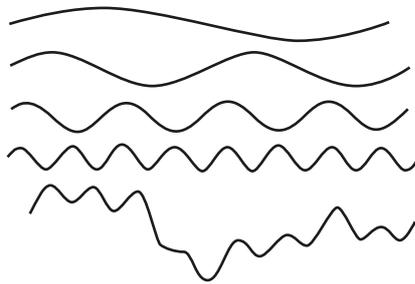


Figura 2.4
Somma di armoniche.
Un suono, rappresentato dalla forma d'onda in basso, è il risultato della somma dell'armonica fondamentale (in alto) e delle armoniche superiori (a scendere).

Un parametro importante per descrivere l'"intensità" della sensazione sonora percepita dall'orecchio è la pressione sonora. Come si vede dalla figura 2.3, il valore medio della pressione sonora lungo un periodo è pari a zero, in quanto sono presenti sia compressioni che rarefazioni in ugual misura. Il valor medio della pressione non è pertanto un valido descrittore del fenomeno acustico. Risulta che l'energia trasportata dall'onda acustica è proporzionale al quadrato del valore RMS (RMS che sta per Root Mean Square) della pressione sonora, in genere indicato con PRMS, detta anche pressione efficace. Tale grandezza si ottiene elevando al quadrato i singoli valori istantanei di pressione compresi nell'intervallo di tempo di un periodo, mediandoli rispetto al tempo ed estraendo infine la radice quadrata.

Risulta che l'intervallo di valori di pressione PRMS a cui l'orecchio umano è sensibile si estende dagli 0.00001 ai 200 Pa (dalla soglia di udibilità, alla soglia del dolore). Tale intervallo è quindi molto "ampio" e per questo motivo è risultato opportuno introdurre una scala logaritmica, detta decibel (dB) che "comprime" tale intervallo. Il livello di pressione, ovvero il valore di pressione misurato in dB, si ottiene dal logaritmo del rapporto tra il quadrato della pressione che si vuole misurare ed il quadrato della pressione minima di udibilità, ossia dalla formula:

$$L_p = 10 \log \frac{P^2_{RMS}}{P^2_{min}} = 20 \log \frac{P_{RMS}}{P_{min}}$$

dove

$$P_{min} = 2 \times 10^{-5} \text{ [Pa]} \text{ (per la soglia di udibilità)}$$

La tabella 2.2 indica i livelli di pressione sonora riscontrabili nella pratica quotidiana.

Sorgente	Pressione sonora P [Pa]	Livello di pressione sonora Lp [dB]	Valutazione soggettiva
Aereo militare in decollo (a 30 m)	200	140	Intollerabile
Sala macchine di una nave a piena velocità	20	120	Intollerabile
Martello pneumatico	6,4	110	Molto rumoroso
Pensilina di metropolitana (max livello)	2	100	Molto rumoroso
Autocarro pesante (a 6 m)	0,6	90	Molto rumoroso
Traffico urbano (su marciapiede)	0,2	80	Rumoroso
Ufficio - Ristorante	0,02	60	Rumoroso
Normale conversazione (a 1 m)	0,006	50	Tranquillo
Biblioteca	0,002	40	Tranquillo
Fruscio di foglie - respiro	0,0002	20	Molto tranquillo
Soglia udibile	0,00002	0	Impercettibile

Tabella 2.2
Valori tipici di livelli di pressione sonora

Un'occhiata alla tabella 2.2 permette di concludere che la variazione dei livelli di pressione sonora (Lp) è molto più ristretta rispetto all'analogia variazione delle pressioni misurate in Pa. Disponendo del valore di Lp, si può risalire al valore di PRMS utilizzando la formula inversa:

$$P_{RMS} = 2 \times 10^{-5} \times 10^{L_p/20} \text{ [Pa]}$$

Per quanto utile e diffusa, la scala dei decibel presenta in genere per il neofita qualche difficoltà e non pochi tranelli. Il seguente esempio è un classico. Una sorgente emette onde acustiche generando al ricevitore un livello di pressione sonora $L_p = 80\text{dB}$. Un'altra sorgente, identica alla prima, viene accesa nelle vicinanze, alla stessa distanza dal ricevitore. Quale sarà il livello di pressione sonora complessivo? Risposta: 83dB (anziché 160 , come si sarebbe portati a credere). Il motivo è presto detto. Dal punto di vista fisico, infatti, vanno sommati i valori di PRMS e non i livelli. Utilizzando la formula vista prima, si ricava che la pressione di ciascuna delle due sorgenti ($L_p = 80\text{dB}$) è pari a:

$$P_{\text{RMS}} = 2 \times 10^{-5} \times 10^{80/20} = 0,2 \text{ [Pa]}$$

Elevando al quadrato e moltiplicando per due (numero sorgenti), si ricava che:

$$P_{\text{SOMMA}}^2 = 2 \times 0,2^2 = 0,8 \text{ [Pa]}$$

$$L_p = 10 \log \frac{0,08}{(2 \times 10^{-5})^2} = 83 \text{ [dB]}$$

Quindi, i livelli sonori espressi in decibel non vanno sommati algebricamente, ma con il procedimento appena esposto. Quest'ultimo, tuttavia, risulta essere piuttosto laborioso. Una semplice regola pratica, anche se approssimata, per effettuare la somma di livelli espressi in decibel è sintetizzata in tabella 2.3.

Tabella 2.3
Regole per la somma di livelli in dB

Differenza fra i livelli	Aggiungere al livello più elevato
0 - 1 dB	3 dB
2 - 3 dB	2 dB
4 - 10 dB	1 dB
oltre 10 dB	0 dB

In generale, la somma di due livelli uguali si traduce nell'aumento di 3dB rispetto al livello comune. Una proprietà utile delle somme fra i livelli è che se le due sorgenti differiscono fra loro di 10dB , la loro somma è pari al livello maggiore aumentato di meno di 1dB . Differenze di livello pari ad 1dB sono in realtà appena percettibili dall'orecchio umano: ecco perché usualmente in presenza di due sorgenti che differiscano fra loro di più di 10dB , si considera trascurabile la sorgente che genera il livello inferiore.

2.2 Tipi di sorgente e propagazione in campo libero

In generale, le sorgenti sonore emettono energia in modo non uniforme nello spazio e per poter essere completamente caratterizzate occorrerebbe specificare l'emissione di potenza in funzione della direzione (oltre che del tempo). Risulta tuttavia utile ricorrere a qualche schematizzazione, che è comunque sufficientemente rappresentativa di un buon numero di sorgenti.

Tabella 2.4
Tipo di sorgente

Sorgente	Fronte d'onda
puntiforme	sferico
lineare	cilindrico
planare	piano

Possiamo distinguere le onde a seconda che la loro propagazione avvenga per sfere concentriche, cilindri o piani. Molto spesso risulta utile approssimare una sorgente reale con una semplificazione matematica. Ad esempio, una sirena o un'automobile in corsa emettono onde acustiche di forma approssimativamente sferica ad una certa distanza dalla sorgente.

Com'è intuitivo, in assenza di ostacoli (in "campo libero") il livello di pressione sonora diminuisce allontanandosi dalla sorgente. La ragione è che la sorgente irraggia nello spazio una certa quantità di energia, che va però a colpire una superficie sempre maggiore man mano che ci si allontana dalla sorgente; di conseguenza, la pressione sonora diminuisce. La figura 2.5 illustra questo concetto per una sorgente sferica.

L'energia che colpisce la superficie grigia a distanza r viene poi distribuita su una superficie quattro volte maggiore quando la distanza dalla sorgente è pari a $2r$.

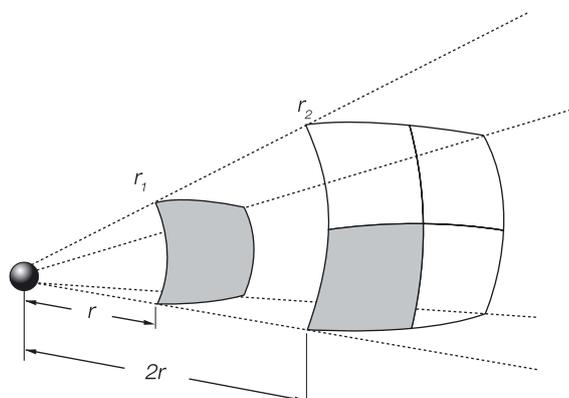


Figura 2.5
Attenuazione per
divergenza

Indicando con ΔL la diminuzione di livello di pressione sonora dovuta all'allontanamento del ricevitore da una distanza r_1 ad $r_2 > r_1$, si ha:

Sorgente	ΔL (diminuzione)	Ad ogni raddoppio della distanza
Puntiforme	$\Delta L = 20 \text{ Log } r_2 / r_1$	6dB
Lineare	$\Delta L = 10 \text{ Log } r_2 / r_1$	3dB
Planare	0	0 dB

Tabella 2.5
Tipo di sorgente

Qualora in prossimità della sorgente vi siano superfici riflettenti, l'attenuazione di divergenza va opportunamente modificata per tener conto del fatto che l'energia non si disperde in tutte le direzioni ma si irradia solo in una porzione di spazio. Questo comporta che la quantità di energia irradiata in una certa direzione sia maggiore che nel caso di radiazione uniforme. Si introduce pertanto il "fattore di direttività" Q . Per sorgenti puntiformi appoggiate a pareti perfettamente riflettenti il volume a disposizione per la propagazione è dimezzato e quindi $Q=2$; per sorgenti collocate su uno spigolo tra 2 pareti, il volume si riduce e diventa la quarta parte, quindi $Q=4$. In un vertice $Q=8$. Per tener conto di come il fattore di direttività incrementa l'effetto della sorgente sonora si introduce l' "indice di direttività", così definito

$$D = 10 \log Q$$

valore che va aggiunto al livello di pressione sonora omnidirezionale.

Tabella 2.6
Fattore di direttività

Tipo di alloggiamento	fattore di direttività Q	indice di direttività D
Sorgente addossata ad una parete	2	3
Sorgente nello spigolo fra parete e pavimento	4	6
Sorgente in angolo	8	9

La propagazione sonora viene alterata anche da altri fattori, qui di seguito solo elencati, e che in genere determinano una attenuazione dell'energia come ad esempio l'assorbimento dell'aria, l'effetto del suolo, l'alterazione dovuta alla vegetazione, il gradiente della temperatura dell'aria, la presenza di barriere. Quest'ultimo fattore permette di ridurre notevolmente il livello di pressione sonora e sarà oggetto di approfondimento nei capitoli successivi.

2.3 Riflessione, assorbimento, trasmissione

Quando un'onda acustica incontra un ostacolo, si verificano 3 fenomeni che contribuiscono alla distribuzione dell'energia trasportata: una parte dell'energia viene riflessa dalla parete, una parte viene dissipata all'interno del materiale di cui è costituita la parete (l'energia si trasforma in calore) ed una terza parte attraversa il materiale e procede liberamente oltre la parete.

L'energia sonora di un'onda acustica viene quindi riflessa, assorbita o trasmessa (vedi figura 2.6).

Nel dettaglio il bilancio energetico del fenomeno è il seguente: $E_i = E_r + E_2 + E_d + E_t$

Dove:

E_i = energia sonora incidente sulla parete;

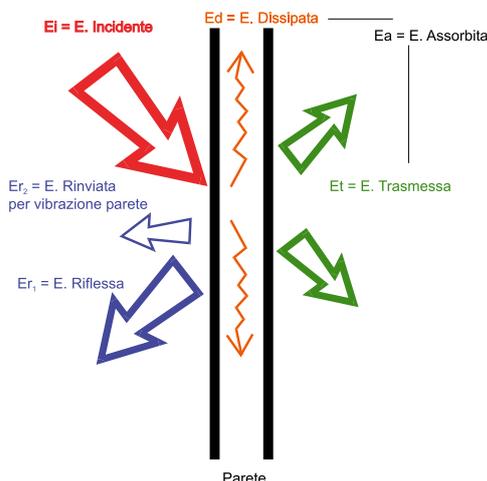
E_2 = energia sonora rinviata al mezzo di provenienza, per effetto di riflessione e diffusione;

E_r = energia sonora rinviata verso il mezzo di provenienza, per effetto di vibrazioni della parete;

E_d = energia sonora dissipata (in calore) all'interno della parete;

E_t = energia sonora che oltrepassa la parete, sia seguendo vie di minore resistenza (meandri, fessure ecc.), sia a causa di vibrazioni elementari o di massa della parete medesima.

Fig. 2.6
Meccanismi di interazione
delle onde acustiche con
partizioni solide.



Il rapporto tra l'energia non riflessa ($E_d + E_t$) e l'energia incidente (E_i) è definito coefficiente di assorbimento acustico

$$a = \frac{E_d + E_t}{E_i}$$

Il coefficiente di assorbimento acustico si esprime con valori compresi tra 0 e 100% o tra 0 e 1. Il valore dipende dal materiale che riveste la parete, dallo spessore del materiale, dalla presenza di intercapedini tra il materiale e la parete, dall'angolo di incidenza del suono sulla parete, dalla frequenza del suono incidente.

Materiali rigidi e compatti, con superficie liscia (metallo, vetro gesso, cemento, ecc.) sono molto riflettenti e il coefficiente di assorbimento acustico tende verso il valore zero. Al contrario, materiali porosi, soffici, a bassa densità (per esempio il poliuretano flessibile espanso a celle aperte) o materiali fibrosi (lana minerale) o stoffe, hanno la elevata capacità di assorbire l'energia sonora, riflettendone solo una piccola parte. Il coefficiente di assorbimento acustico è elevato soprattutto alle medie e alte frequenze.

Il coefficiente di assorbimento acustico indica la capacità della struttura di non riflettere energia verso la sorgente. Analogamente si possono introdurre i coefficienti di trasmissione (t) o di riflessione (r). Dal coefficiente di trasmissione, sempre espresso in termini percentuali, si risale al potere fonoisolante R, ossia alla capacità di isolare l'ambiente ricevente dai rumori e viene espresso in dB.

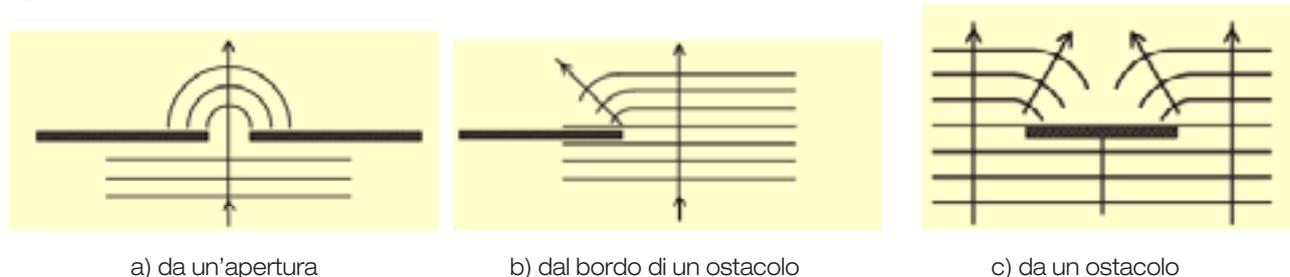
In definitiva il coefficiente di assorbimento indica le caratteristiche fonoassorbenti del materiale, mentre R rappresenta quelle fonoisolanti.

2.4 Diffrazione

Le leggi della riflessione sono perfettamente analoghe a quelle dell'ottica geometrica. Esistono tuttavia alcuni fenomeni, che per l'acustica rivestono un'importanza cruciale, che non possono essere capiti nell'ambito della teoria geometrica. Fra questi il principale è il fenomeno di diffrazione, che viene schematicamente illustrato in figura 2.7.

Prendiamo ad esempio il caso a). Se fossero valide le leggi della propagazione per raggi, dietro l'apertura sullo schermo si dovrebbe avere una zona di massima intensità sonora, separato nettamente dalla zona d'ombra sonora. Invece si osserva sperimentalmente che l'onda sonora interessa anche la zona ai lati dell'apertura. Del resto, è esperienza comune riuscire ad udire il suono proveniente dall'interno di una stanza attraverso una porta aperta, anche stando di lato.

Figura 2.7 Diffrazione di un'onda acustica

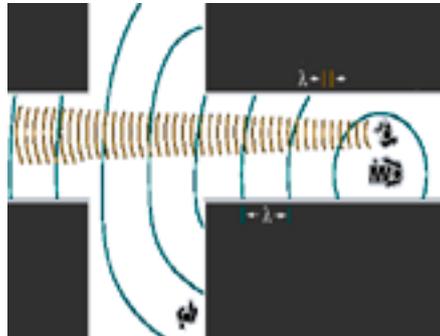


Occorre d'altro canto precisare che questi fenomeni avvengono qualora la lunghezza d'onda del suono sia superiore alle dimensioni dell'apertura. Tenuto però conto che nella gamma dell'udibile la lunghezza d'onda varia fra i 17 m ed i 17 mm (corrispondenti all'intervallo di frequenze 20 - 20.000 Hz), questi fenomeni interessano ampiamente la vita di tutti i giorni.

Il caso c) rappresenta la capacità delle onde sonore di "aggirare" gli ostacoli, qualora essi siano di dimensioni inferiori alla propria lunghezza d'onda. È il fenomeno grazie al quale, in un concerto, riusciamo ad udire il suono di un flauto anche se nel posto di fronte a noi sta seduta una persona che ci impedisce di vedere lo strumentista.

I fenomeni di diffrazione possono portare ad una percezione falsata dei suoni e dei rumori. Considerato infatti un ostacolo, per quanto detto in precedenza le componenti a bassa lunghezza d'onda manifestano un minor effetto di diffrazione, che invece è evidente per le componenti ad alto λ . Pertanto, volendo illustrare il fenomeno con l'esempio della banda cittadina (figura 2.8) che procede lungo un viale, il suono del flauto (alta frequenza, piccola lunghezza d'onda) viene percepito poco dallo spettatore presente in un vicolo laterale, che al contrario sente bene il suono della grancassa (bassa frequenza, elevata lunghezza d'onda).

Figura 2.8
Una banda cittadina
procede lungo il viale di
case

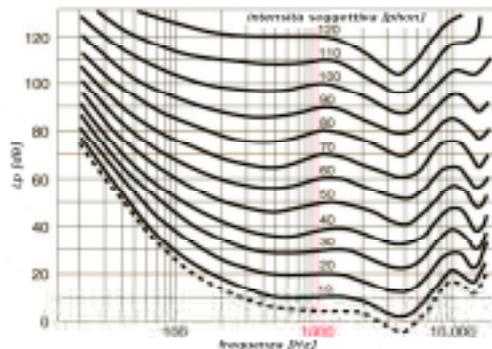


2.5 Orecchio e sistema uditivo

Il sistema uditivo è quella parte dell'organismo che ci permette di udire ed interpretare i suoni. Da un punto di vista anatomico, si divide in sistema uditivo periferico e centrale. Il primo comprende gli organi che vanno dal padiglione auricolare fino al nervo acustico, il secondo termina con la corteccia cerebrale. L'informazione neurale prodotta dal sistema uditivo periferico, è ulteriormente processata ed analizzata nella corteccia uditiva. È questa la regione in cui vengono prodotte le sensazioni psico-acustiche.

L'intensità con cui un suono viene percepito dall'orecchio dipende dalla frequenza del suono stesso. Sperimentalmente, si possono costruire delle curve di "isosensazione" (figura 2.9), prendendo come riferimento un suono alla frequenza di 1kHz avente un certo livello di pressione sonora, e chiedendo ad un campione statisticamente significativo di persone di valutare l'intensità di altri suoni a frequenze diverse rispetto alla sensazione del tono di riferimento. Si collegano poi con linea continua tutti i punti che danno equivalente sensazione sonora e vi si attribuisce un numero dato dall'intensità in dB del suono di riferimento. Abbiamo così introdotto una nuova unità di misura, il "phon", definito come il livello di pressione sonora di un suono che a 1kHz produce una sensazione sonora di uguale intensità a quella del suono considerato.

Figura 2.9
Curve di
isointensità



Per meglio comprendere come l'orecchio umano percepisca il cambio di livello sonoro si consideri la tabella 2.7.

Tabella 2.7
Percezione del cambio di
intensità del livello sonoro

Cambio di livello	Percezione umana
1 dB	Impercettibile
3 dB	Appena percettibile
5 dB	Chiaramente udibile
10 dB	Livello doppio
20 dB	Livello quadruplo

3. Rassegna normativa

3.1 Normativa europea

Nel 1996 la Commissione Europea pubblicò il Libro Verde (COM(96)540) sulle politiche future in materia di inquinamento acustico, definendo l'inquinamento acustico come uno dei maggiori problemi ambientali in Europa e ponendo un primo importante pilastro a partire dal quale sviluppare una politica integrata sulle dinamiche del rumore. Questo documento, infatti, includeva azioni mirate a migliorare l'accuratezza e la standardizzazione dei dati, passo necessario per raggiungere quella coerenza delle diverse misure messe in atto nelle varie realtà nazionali, che costituisce un fattore determinante per garantire la comparabilità dei risultati ottenuti e lo scambio di best practices all'interno del territorio europeo.

Già negli anni precedenti l'Unione europea aveva regolamentato alcuni aspetti dell'inquinamento acustico, limitandosi però ad intervenire sull'emissione acustica dei prodotti (vedi tabella 3.1). Gli anni '90 hanno segnato un diverso approccio verso tale tematica, più organico e globale, che si è progressivamente imposto anche in conseguenza delle variate esigenze della popolazione, come i ritmi di vita più stressanti, l'aumento progressivo del traffico e l'elevata densità abitativa. In seguito al sopraccitato Libro Verde, fu creata una rete di esperti in tematiche legate all'inquinamento acustico, e successivamente una serie di gruppi di lavoro con lo scopo di fornire supporto alla Commissione Europea nello sviluppo delle politiche sul rumore e agli Stati membri relativamente alla loro applicazione¹. I diversi gruppi di lavoro, tra cui sono tuttora attivi quello sulla valutazione dell'esposizione al rumore e quello sul rumore aeroportuale, hanno prodotto negli anni una serie di documenti specifici, che spaziavano dagli indicatori da utilizzare per il rumore ambientale alle linee guida per la mappatura dell'inquinamento acustico.

Lo strumento normativo di cui il Parlamento ed il Consiglio Europeo si sono dotati per gestire in modo organico le problematiche acustiche connesse alle diverse sorgenti è la direttiva 2002/49/CE. Già prima di tale atto la normativa europea disciplinava le emissioni per alcune tipologie di sorgenti, mancava però una legge quadro che fungesse da riferimento per la gestione nel suo complesso dell'inquinamento acustico nell'ambiente.

Rumore da traffico stradale	70/157/CEE, relativa al livello sonoro ammissibile per i dispositivi di scappamento dei veicoli a motore 97/24/CEE, relativa all'omologazione dei motoveicoli 2001/43/CE, relativa ai pneumatici per veicoli e rimorchi
Rumore da traffico aereo	80/51/CEE, per la limitazione delle emissioni sonore degli aeromobili subsonici 89/629/CEE, relativa alla limitazione delle emissioni degli aerei subsonici 92/14/CEE, contenente limitazioni sulle operazioni degli aeroplani 2002/30/CE, contenente restrizioni operative per gli aeroporti comunitari
Rumore da traffico ferroviario	96/48/CE, relativa all'interoperabilità dei treni ad alta velocità 2001/16/CE, relativa all'interoperabilità dei treni convenzionali
Rumore da altre sorgenti	77/311/CEE, relativa ai livelli sonori, all'orecchio del conducente, dei trattori agricoli o forestali a ruote 86/594/CEE, relativa alle emissioni degli apparecchi domestici 2000/14/CE, concernente le emissioni acustiche di macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto

Tabella 3.1
Direttive europee relative alle diverse sorgenti rumorose

3.1.1 La direttiva 2002/49/CE

L'obiettivo principale della Direttiva è quello di migliorare il livello di tutela della salute e dell'ambiente dal punto di vista acustico, definendo a livello comunitario un approccio comune per evitare, prevenire o ridurre, secondo le rispettive priorità, gli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale. Tale direttiva pone le basi per lo sviluppo di misure comunitarie relative alle principali

¹ Vedi sito web http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/noise_dir/library e <http://europa.eu.int/comm/environment/noise/home.htm#2>

sorgenti di rumore, grazie al fatto che i dati relativi ai livelli di inquinamento acustico saranno rilevati, ordinati e presentati secondo criteri confrontabili.

L'approccio si fonda sull'uso di metodi e descrittori acustici armonizzati a livello comunitario per la determinazione dell'esposizione al rumore ambientale, sull'informazione del pubblico e sull'attuazione di piani di azione a livello locale. Resta invece a carico dei singoli Stati membri la determinazione di opportuni valori limite, che tengano conto delle esigenze locali.

In particolare, tra le importanti innovazioni introdotte dalla direttiva, si possono citare:

- **nuovi indicatori acustici:** vengono introdotti nuovi descrittori acustici di valutazione del rumore come L_{den} (descrittore giorno-sera-notte usato come indicatore generale di disturbo²) e L_{night} (descrittore acustico notturno relativo ai disturbi del sonno), e sono previste specifiche metodologie di calcolo, basate sulla valutazione dell'esposizione a lungo termine (annuale) del rumore;
- **mappature acustiche e strategiche:** le prime descrivono una situazione esistente rispetto ad una singola sorgente, mentre le seconde sono finalizzate alla determinazione globale dell'esposizione a tutte le sorgenti presenti in una data area; tali mappature sono obbligatorie per gli agglomerati urbani e per le aree extraurbane prossime alle infrastrutture e devono riportare il numero di persone esposte in una data area ed il superamento dei pertinenti limiti di legge; gli obiettivi della mappatura acustica strategica sono di indirizzare le future politiche europee di controllo del rumore, fornire informazioni ai cittadini e ai decisori e sviluppare i piani di azione;
- **informazione e consultazione del pubblico:** viene dato peso rilevante al coinvolgimento della popolazione interessata, considerata non solo come utente a cui nella fase finale comunicare scelte già intraprese ma come elemento chiave da coinvolgere nell'intero processo per la risoluzione sostenibile delle problematiche acustiche;
- **aree di quiete:** sono previste zone ove la tutela acustica deve essere preservata, poiché considerata elemento indispensabile per la loro fruizione;
- **piani di azione:** a scadenze prefissate è obbligatorio redigere un piano di azione, destinato a gestire i problemi di inquinamento acustico ed i relativi effetti, ossia ridurre il rumore ambientale dove necessario e conservare la qualità acustica dell'ambiente quando essa è buona.

La direttiva, affermando che le mappe acustiche strategiche ed i piani di azione sono riesaminati e rielaborati in funzione della necessità almeno ogni 5 anni, evidenzia la dimensione strategica da tenere nei confronti dell'inquinamento acustico che deve essere progressivamente e continuativamente ridotto.

3.2 Normativa italiana

Da un punto di vista teorico, il corpus normativo italiano in materia di inquinamento acustico offre un riferimento articolato e complessivamente coerente (pur lasciando spazio a qualche passaggio non univoco), come in poche altre realtà internazionali. Discorso analogo non si può fare relativamente all'applicazione di detta normativa, che si presenta disomogenea, in un panorama che vede alcuni Comuni, Province o Regioni provvedere con puntualità a rendere operativi i diversi adempimenti richiesti e altri che invece non hanno ancora ottemperato a tali obblighi. A rendere ancora più articolato lo scenario nazionale si è aggiunto nel corso del 2005 il D. Lgs. n. 194/2005 che, recependo la direttiva 2002/49/CE, ha introdotto una serie di novità importanti, la cui armonizzazione con le norme preesistenti non appare immediata e priva di difficoltà.

² Il calcolo di L_{den} prevede la divisione delle 24 ore in 3 periodi (giorno, sera, notte) lasciando agli Stati membri il compito di adattare le durate di questi, in modo da facilitare l'implementazione della direttiva.

3.2.1 La legge quadro n° 447/1995

L'inquinamento acustico è entrato nel panorama legislativo con il DPCM 1 marzo 1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno", che ha rappresentato un primo tentativo di regolamentazione, in attesa di una più completa legge quadro. La complessità dell'argomento si è rivelata nella difficile applicazione di tale decreto, soprattutto a causa dell'eccessivo numero di problematiche a cui intendeva rispondere (si pensi, per esempio, ai problemi di tipo metrologico collegati al criterio differenziale e quelli derivanti dagli artt. 3, 4 e 5 circa i piani di risanamento delle aziende, quasi subito abrogati con sentenza della Corte Costituzionale n. 517/1991).

I principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico sono stati delineati con l'emanazione della legge quadro n. 447 del 26/10/95, che definisce le competenze sia degli enti pubblici che esplicano le azioni di regolamentazione, pianificazione e controllo, sia dei soggetti pubblici e/o privati, che possono essere causa diretta o indiretta di inquinamento acustico.

Il carattere onnicomprensivo della legge è evidenziato dalla definizione stessa di "inquinamento acustico" che è riportata nella legge. Con questo termine si intende infatti "l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento dell'ecosistema, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi".

Vengono definite le seguenti grandezze di riferimento per la descrizione dell'inquinamento acustico:

- valori limite di emissione: il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa;
- valori limite di immissione: il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori.

I valori limite di immissione sono distinti in:

- valori limite assoluti, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
- valori limite differenziali, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo;
- valori di attenzione: il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente;
- valori di qualità: i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge.

Allo Stato competono (art. 3 L. 447/95) primariamente le funzioni di indirizzo, coordinamento o regolamentazione. La legge prevede in particolare che vengano emanati 14 decreti. Alle Regioni spetta (art. 4 L. 447/95) il compito di definire i criteri per la suddivisione in zone del territorio comunale, i criteri da seguire per la redazione della documentazione di impatto acustico e le modalità di controllo da parte dei Comuni e l'organizzazione della rete dei controlli. Le competenze affidate alle Province (art. 5 L. 447/95) sono quelle dell'art. 14 della 142/90 e riguardano le funzioni amministrative di interesse provinciale o sovracomunale per il controllo delle emissioni sonore. Le Regioni e lo Stato possono delegare loro ulteriori funzioni amministrative. Le funzioni e i compiti dei Comuni (art. 6 L. 447/95) sono molteplici e definite in più articoli³. In particolare, ai Comuni spetta:

- la classificazione del territorio comunale;
- il coordinamento degli strumenti urbanistici con la classificazione;

³ L'art. 6 elenca le competenze amministrative; l'art. 7 tratta dei piani di risanamento dei comuni; l'art. 8 dell'impatto acustico, documentazione che deve essere presentata ai comuni; l'art. 10 delle sanzioni amministrative che si pagano ai comuni; l'art. 14 sui controlli ha uno specifico comma dedicato ai comuni.

- l'adozione dei piani di risanamento acustico;
- il controllo del rispetto della normativa all'atto del rilascio di concessioni, agibilità, abitabilità;
- l'adozione di regolamenti di attuazione della normativa statale e regionale;
- la rilevazione e controllo delle emissioni sonore dei veicoli;
- le funzioni amministrative di controllo;
- l'adeguamento del regolamento di igiene e sanità o di polizia municipale;
- l'autorizzazione allo svolgimento di attività temporanee;
- la redazione della relazione biennale sullo stato acustico del comune.

Nel testo di legge viene delineato il percorso di risanamento acustico a carico delle società e degli enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, ivi comprese le autostrade, nel caso di superamento dei valori limite: tali soggetti hanno l'obbligo di predisporre e presentare al comune piani di contenimento ed abbattimento del rumore, secondo i decreti attuativi emanati dal Ministro dell'Ambiente. Questi piani devono indicare tempi di adeguamento, modalità e costi e sono obbligati ad impegnare, in via ordinaria, una quota fissa non inferiore al 7 per cento dei fondi di bilancio previsti per le attività di manutenzione e di potenziamento delle infrastrutture stesse per l'adozione di interventi di contenimento ed abbattimento del rumore. Per quanto riguarda l'ANAS la suddetta quota è determinata nella misura del 2,5 per cento dei fondi di bilancio previsti per le attività di manutenzione. La legge individua anche una nuova figura professionale: il tecnico competente che ha il compito di svolgere le attività tecniche connesse alla misurazione dell'inquinamento acustico, alla verifica del rispetto o del superamento dei limiti e alla predisposizione degli interventi di riduzione dell'inquinamento acustico.

3.2.2 I decreti attuativi della legge quadro

A seguito della L. n. 447/1995 sono stati emanati una serie di decreti attuativi, sia di carattere generale sia relativi alla gestione di specifiche fonti di rumore.

Tra i primi si ricordano:

- DM 11 dicembre 1996 - Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo;
- DPCM 14 novembre 1997 - Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore;
- DM 16 marzo 1998 - Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico;

La disciplina normativa di specifiche fonti di rumore è stata affrontata dal legislatore con i seguenti decreti:

- DM 31 ottobre 1997 - Metodologia di misura del rumore aeroportuale;
- DPCM 5 dicembre 1997 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici;
- DPR 11 dicembre 1997 n. 496 - Regolamento recante le norme per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto da aeromobili civili;
- DPR 18 novembre 1998 n. 459 - Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995 n. 447 in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario;
- DPCM 16 aprile 1999 n. 215 - Regolamento recante norme per la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo e nei pubblici esercizi;
- DM 20 maggio 1999 - Criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti nonché criteri per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico;
- DM 3 dicembre 1999 - Procedure antirumore e zone di rispetto negli aeroporti;
- DM 29 novembre 2000 - Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore;

- DPR n. 142 del 30.03.2004 - "Regolamento recante disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447";
- D. Lgs. 17 gennaio 2005, n. 13 - Attuazione della direttiva 2002/30/CE relativa all'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti comunitari.

Si analizzano brevemente nei paragrafi successivi il decreto che ha fissato i valori limite acustici attualmente in vigore (DPCM 14 novembre 1997) e quello relativo alla gestione del rumore stradale (DPR 142/2004), giacché tale sorgente di rumore rappresenta un aspetto di primaria importanza all'interno di un piano comunale di risanamento acustico.

3.2.2.1 DPCM 14 novembre 1997: valori limite delle sorgenti sonore

Con tale decreto vengono fissati i limiti delle diverse grandezze acustiche previste dalla legge quadro e le classi che devono essere previste nella elaborazione della zonizzazione acustica del territorio, come riportato nelle tabelle seguenti. Tali valori limite devono intendersi come livelli di pressione sonora ponderati A, relativi al tempo di riferimento, ovvero l'integrazione temporale del livello di pressione sonora si deve estendere alla durata del tempo di riferimento. I rilievi fonometrici atti alla determinazione dei valori da confrontare con i suddetti valori limite possono essere effettuati in continuo oppure mediante tecnica di campionamento.

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	notturno (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	45	35
II aree prevalentemente residenziali	50	40
III aree di tipo misto	55	45
IV aree di intensa attività umana	60	50
V aree prevalentemente industriali	65	55
VI aree esclusivamente industriali	65	65

Tabella 3.2
Valori limite di emissione, espressi in Leq in dB(A)

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	notturno (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	50	40
II aree prevalentemente residenziali	55	45
III aree di tipo misto	60	50
IV aree di intensa attività umana	65	55
V aree prevalentemente industriali	70	60
VI aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella 3.3
Valori limite di immissione (e valori di attenzione), espressi in Leq in dB(A)

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	notturno (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	47	37
II aree prevalentemente residenziali	52	42
III aree di tipo misto	57	47
IV aree di intensa attività umana	62	52
V aree prevalentemente industriali	67	57
VI aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella 3.4
Valori di qualità, espressi in Leq in dB(A)

Il superamento dei limiti di emissione e di immissione comporta l'applicazione di sanzioni amministrative, mentre il superamento del valore di attenzione comporta l'adozione del Piano di risanamento acustico. Il valore di qualità, invece, serve da riferimento per la classificazione del territorio in zone omogenee.

Le classi di destinazione d'uso del territorio individuate sono le seguenti:

- 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 ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc;
- CLASSE II - aree destinate ad 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 ed 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, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; 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;

3.2.2.2 DPR 142/2004: inquinamento acustico da traffico veicolare

Il DPR n. 142/2004 "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare" ha sostanzialmente completato il quadro normativo volto alla gestione delle diverse fonti di rumore. Tale decreto, distinguendo tra strade di nuova realizzazione e strade esistenti, individua per ciascuna categoria di strada (secondo quanto previsto dal codice della strada) l'ampiezza della fascia di pertinenza acustica e i limiti diurni e notturni che all'interno di essa devono essere rispettati, distinti a seconda del tipo di ricettori.

Il concetto di fascia di pertinenza acustica, già presente nel decreto sul rumore ferroviario (DPR 459/1998), stabilisce che all'interno della propria fascia di pertinenza (di larghezza dipendente dal tipo di strada ed eventualmente raddoppiata in presenza di scuole, ospedali, case di cura e di riposo) l'infrastruttura deve rispettare unicamente i limiti del decreto 142/2004, mentre al di fuori di tale fascia il rumore derivante da traffico veicolare è trattato come qualsiasi altra fonte di rumore, concorrendo pertanto, con tutte le altre fonti di rumorosità ambientale presenti, al raggiungimento dei limiti assoluti di immissione previsti dal Piano comunale di classificazione acustica. Va sottolineato che l'infrastruttura stradale non è tenuta al rispetto dei limiti di emissione, dei limiti differenziali di immissione e dei valori limite di attenzione.

TIPO DI STRADA (secondo codice della strada)	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI (Secondo D.M. 5.11.01 - Norme funz. e geom. per la costruzione delle strade)	Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m)	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)
A - autostrada		250	50	40	65	55
B - extraurbana principale		250	50	40	65	55
C - extraurbana secondaria	C 1	250	50	40	65	55
	C 2	150	50	40	65	55
D - urbana di scorrimento		100	50	40	65	55
E - urbana di quartiere		30	definiti dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al D.P.C.M. in data 14 novembre 1997 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'art. 6, comma 1, lettera a), della legge n. 447 del 1995.			
F - locale		30				

Tabella 3.5
Limiti acustici e fasce di pertinenza per strade di nuova realizzazione

* Per le scuole vale il solo limite diurno

TIPO DI STRADA (secondo codice della strada)	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI (Secondo norme CNR 1980 e direttive PUT)	Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m)	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)
A - autostrada		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
B - extraurbana principale		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
C - extraurbana secondaria	Ca (strade a carreggiate separate e tipo IV CNR 1980)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			85	55
	Cb (tutte le altre strade extraurbane secondarie)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		50 (fascia B)			65	55
D - urbana di scorrimento	Da (strade a carreggiate separate e interquartiere)	100	50	40	70	80
	Db (Tutte le altre strade urbane di scorrimento)	100			65	55
E - urbana di quartiere		30	definiti dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al D.P.C.M. in data 14 novembre 1997 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'art. 6, comma 1, lettera a), della legge n. 447 del 1995.			
F - locale		30				

Tabella 3.6
Limiti acustici e fasce di pertinenza per strade esistenti

* Per le scuole vale il solo limite diurno

Tabella 3.7
Limiti acustici e fasce di pertinenza per strade E ed F di nuova realizzazione (Comune di Venezia)

Tipi di strada (secondo CDS)	Sottotipi	Ampiezza fasce di pertinenza acustica (m)	Scuole, ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
	Classe prevalente attraversata (*)		Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)
E - urbana di quartiere	-	30	50	40	60	50
F - locale	> = IV	30	50	40	60	50
	III				55	45
	I o II				50	40

(*) Con riferimento alla zonizzazione posta in essere dal Piano di classificazione acustica comunale e alle classi di destinazione d'uso del territorio di cui alla Tab. C del DPCM 14.11.1997, è definita "classe prevalente attraversata" da una singola strada, la classe che, all'interno della porzione di territorio compresa entro le fasce di pertinenza acustica della strada considerata, occupa la percentuale di superficie maggiore.

Tabella 3.8
Limiti acustici e fasce di pertinenza per strade E ed F esistenti e assimilabili (ampliamenti in sede, affiancamenti e varianti) (Comune di Venezia)

Tipi di strada (secondo CDS)	Sottotipi	Ampiezza fasce di pertinenza acustica (m)	Scuole, ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
	Classe prevalente attraversata (*)		Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)
E - urbana di quartiere	-	30	50	40	65	55
F - locale	> = III	30	50	40	60	50
	II				55	45
	I				50	40

(*) Con riferimento alla zonizzazione posta in essere dal Piano di classificazione acustica comunale e alle classi di destinazione d'uso del territorio di cui alla Tab. C del DPCM 14.11.1997, è definita "classe prevalente attraversata" da una singola strada, la classe che, all'interno della porzione di territorio compresa entro le fasce di pertinenza acustica della strada considerata, occupa la percentuale di superficie maggiore.

Due elementi previsti dal decreto che vale la pena sottolineare sono quelli relativi ai ricettori. Per quanto riguarda gli interventi sui ricettori, infatti, l'art. 6 prevede che, qualora i valori limite non siano tecnicamente conseguibili, ovvero considerazioni di natura tecnica, economica, ambientale, evidenzino l'opportunità di procedere a interventi di risanamento acustico diretti sui ricettori, possono essere derogati i valori limite da rispettare in facciata, purché siano rispettati i valori limite all'interno degli ambienti abitativi⁴.

Relativamente ai nuovi ricettori in prossimità di infrastrutture esistenti, infine, il titolare del permesso di costruire deve farsi carico degli interventi da porre in essere a garanzia del rispetto dei limiti.

3.2.3 Il D. Lgs. n° 194/2005: novità e problematiche aperte

Il D. Lgs. n. 194/2005 è il recepimento della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (vedi § 3.1.1) e rappresenta, in un contesto legislativo come quello italiano che è già completo in materia, sia un'opportunità di armonizzazione del corpus normativo nazionale con quello europeo sia aspetti particolarmente delicati, dal momento che si rende necessario integrare due approcci diversi⁵. Il legislatore europeo, infatti, accentua la strategia di progressiva e continua diminuzione dell'inquinamento acustico prevedendo completi

⁴ I valori limite all'interno degli ambienti abitativi sono i seguenti:

- 35 dB(A) Leq notturno per ospedali, case di cura e case di riposo;
- 40 dB(A) Leq notturno per tutti gli altri ricettori di carattere abitativo;
- 45 dB(A) Leq diurno per le scuole.

Tali valori sono valutati al centro della stanza, a finestre chiuse, all'altezza di 1,5 metri dal pavimento.

⁵ A tal riguardo è dedicato un intero articolo del decreto (art. 10) che prevede l'adozione di due decreti (uno del Ministero dell'Ambiente e uno del Presidente della Repubblica) per apportare le modifiche necessarie per coordinare con le disposizioni del D. Lgs. n. 194/2005 la normativa vigente in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico.

strumenti di mappatura del territorio e piani di azione che devono essere aggiornati almeno ogni cinque anni. Inoltre, per quanto riguarda il noise mapping, le indagini acustiche previste dalla legge italiana prima dell'entrata in vigore del D. Lgs. n. 194/2005 (vedi tabella 3.9) non sono finalizzate all'esposizione della popolazione, come invece richiesto dalla direttiva europea, ma ai livelli complessivamente presenti nell'ambiente.

Il D. Lgs. n. 194/2005 introduce nel panorama nazionale alcune novità sostanziali, tra cui la riformulazione dei descrittori acustici, la ridefinizione dei periodi temporali di riferimento e l'introduzione di strumenti di natura revisionale ai fini della mappatura acustica.

Le grandezze fisiche che descrivono il rumore ambientale passano da "LAeq,day" e "LAeq,night" a "Lden" e "Lnight". Questi ultimi due descrittori sono relativi rispettivamente all'intera giornata (livello giorno-sera-notte) e al periodo notturno compreso tra le 22.00 e le 06.00 e devono essere utilizzati ai fini dell'elaborazione delle mappature acustiche e strategiche. Il decreto prevede altre due grandezze "Lday" e "Levening", atte a descrivere il rumore relativo al periodo diurno (06.00-20.00) e serale (20.00-22.00). La giornata viene pertanto suddivisa non più in due periodi di riferimento (giorno e notte) ma in tre (giorno, sera e notte) nelle modalità appena citate. I criteri e gli algoritmi di conversione tra i descrittori acustici precedenti e quelli introdotti con questo decreto e la determinazione dei nuovi valori limite sono affidati a due emanandi decreti attuativi (art. 5).

Gli strumenti individuati per la gestione dell'inquinamento acustico sono le mappature acustiche e strategiche ed i piani di azione, che devono essere tutte redatte dall'autorità individuata⁶ dalla Regione o dalla Provincia autonoma e rielaborati ogni cinque anni.

La mappatura acustica è la rappresentazione di dati relativi a una situazione di rumore esistente o prevista in una zona, relativa ad una determinata sorgente, in funzione di un descrittore acustico che indichi il superamento di pertinenti valori limite vigenti, il numero di persone o abitazioni esposte al rumore in una determinata zona. La mappatura acustica strategica, invece, è una mappa finalizzata alla determinazione dell'esposizione globale al rumore in una certa zona a causa di varie sorgenti di rumore. Tali mappe si configurano come strumenti utili a redigere i successivi piani di azione, ossia quei piani che, al fine di gestire i problemi di inquinamento acustico e di relativi effetti, indicano gli interventi pianificati dalle autorità competenti per i successivi cinque anni. Questi interventi possono agire nei seguenti campi: pianificazione del traffico, pianificazione territoriale, accorgimenti tecnici a livello delle sorgenti, scelta di sorgenti più silenziose, riduzione della trasmissione del suono, misure di regolamentazione o misure economiche o incentivi (allegato 5 del D. Lgs. n. 194/2005).

Il legislatore ha voluto porre delle priorità ben precise, destinando questo nuovo provvedimento ai cosiddetti "grandi protagonisti" (gestori delle principali infrastrutture di trasporto e agglomerati urbani, come indicato in tabella 3.2) e individuando le competenze e le procedure senza entrare nel merito delle questioni tecniche.

Per "agglomerato urbano" si intende un'area urbana, individuata dalla Regione o dalla Provincia autonoma competente, costituita da uno o più centri abitati contigui fra loro e la cui popolazione complessiva è superiore a 100.000 abitanti. In attesa che gli enti competenti individuino gli agglomerati urbani, si può affermare che gran parte della popolazione italiana potrebbe pertanto non essere interessata dal decreto, in considerazione della struttura del tessuto urbano nazionale, che vede la diffusa presenza di nuclei abitati lungo le strade extraurbane e l'elevato numero di persone residenti in città medio-piccole.

È bene evidenziare che l'applicabilità del decreto è dipendente da un atto della competente autorità regionale o provinciale che definisca da un lato gli agglomerati urbani presenti nel proprio territorio e dall'altro l'organo deputato alla redazione delle mappature acustiche e dei Piani d'azione.

⁶ È probabile che le Agenzie regionali/provinciali per la protezione dell'ambiente (ARPA/APPA) possano garantire adeguata competenza nella supervisione dell'espletamento delle richieste del decreto, se non nel diretto espletamento stesso.

Tabella 3.9
Le competenze individuate
dal D. Lgs. n. 194/2005

Tipologia di rumore ambientale	Ambito di applicabilità	Ente competente ai fini della trasmissione dei dati al Ministero Ambiente e da questo alla UE	Ente incaricato della attività di mappatura e di redazione dei piani d'azione
Rumore in ambito urbano	Sono considerati unicamente gli "agglomerati urbani" con più di 100.000 abitanti	Regione o Provincia Autonoma	Ente individuato dalla Regione o dalla Provincia Autonoma (presumibilmente ARPA)
Rumore da traffico stradale	Sono considerati unicamente gli assi stradali principali sui quali transitano più di 3.000.000 veicoli/anno	"	Ente gestore del servizio pubblico o delle infrastrutture che ricadono nell'ambito di applicabilità
Rumore da traffico ferroviario	Sono considerati unicamente gli assi ferroviari principali sui quali transitano più di 30.000 veicoli/anno	"	"
Rumore da traffico aeroportuale	Sono considerati unicamente gli aeroporti principali sui quali si effettuano più di 50.000 movimenti/anno	"	"

[fonte: articolo "Con il decreto legislativo n. 194/2005 novità di fondo per il rumore ambientale" di A. Demozzi e F. Bertellino, in Ambiente & Sicurezza n. 21 del 1 novembre 2005]

Le principali novità (e le relative complessità di armonizzazione) introdotte dal D. Lgs. n. 194/2005 sono sintetizzate nella seguente tabella.

Tabella 3.10 confronto tra quanto previsto prima e dopo dell'entrata in vigore del D. Lgs. n. 194/2005

Oggetto	Normativa italiana antecedente al D.lgs. n. 194/2005	D.lgs. n. 194/2005
Noise mapping	Nei comuni con popolazione superiore a 50.000 abitanti ogni due anni la Giunta presenta al Consiglio una relazione biennale sullo stato acustico del comune (art. 7, L.n. 447/1995); le società e gli enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture devono individuare le aree dove sia stimato o rilevato il superamento dei limiti previsti 1 (art. 2 del DM 29.11.2000)	Entro il 30.06.2007 per gli agglomerati con più di 250.000 abitanti, le strade con più di 6.000.000 veicoli all'anno, le ferrovie con più di 60.000 convogli all'anno, gli aeroporti con più di 50.000 movimenti all'anno (tabella 4 per l'Italia). Per gli altri agglomerati urbani con più di 100.000 abitanti e per tutte le altre infrastrutture "principali" il termine è posticipato di cinque anni (30.06.2012) 2.
Classificazione del territorio	Per tutte le città, indipendentemente dalla dimensione	Su disposizione dei singoli Stati Membri
Informazione e contatti con il pubblico	Lasciati all'iniziativa locale dopo l'adozione dei piani di classificazione e di risanamento e prima dell'approvazione definitiva	Fortemente richiesta durante la stesura dei piani d'azione e la partecipazione alla loro definizione. Va garantita l'informazione sugli atti prodotti
Piani di intervento	Si parla di Piani di Risanamento Acustico. Per le infrastrutture di trasporto: caratterizzazione acustica da presentare entro giugno 2002 (dicembre 2005 per le strade) Piani di Risanamento da presentare entro dicembre 2003 (giugno 2007 per le strade) Interventi da realizzare entro i 15 anni successivi Per i centri abitati: Secondo le leggi regionali	Si parla di Piani d'Azione che, oltre al risanamento prevedono la conservazione delle aree quiete. Tali piani sono da presentare entro il 18.07.2008 per gli agglomerati con più di 250.000 abitanti, gli aeroporti principali, le strade con più di 6.000.000 di veicoli all'anno e le ferrovie con più di 60.000 convogli all'anno (dati in Tabella 4 per l'Italia). Per gli altri agglomerati urbani con più di 100.000 abitanti e per tutte le altre infrastrutture "principali" e va concluso entro i successivi 5 anni (18.07.2013) 4
Indicatori	LAeq diurno, LAeq notturno, LAeq su lungo termine (la durata di quest'ultimo periodo dipende dal tipo di sorgente)	Lden e Lnigh mediati su un anno per tutte le sorgenti; altri indicatori se necessari
Metodi di indagine	I metodi di misura variano con la sorgente indagata. All'esterno: altezza 4 m, 1 m dalla facciata più esposta, riflessioni incluse. Non sono previsti standard per il calcolo.	Secondo metodi di calcolo provvisori. All'esterno: altezza 4 m (misure ad altezza diversa vanno ricondotte a 4 m), sulla facciata più esposta, riflessioni escluse, da correggere secondo ISO 1996-2 1987.

[fonte: elaborazioni Agenda 21 consulting su dati presi da "La direttiva 2002/49/CE: determinazione e gestione del rumore ambientale e impatto sulla legislazione italiana" - a cura di Licitra, Ela, Franchini e Peretti - Associazione Italiana di Acustica]

In particolare, per quanto riguarda i Piani d'azione, il decreto (art. 4, comma 8) prevede che essi recepiscano e aggiornino i piani di contenimento ed abbattimento del rumore prodotto per lo svolgimento dei servizi pubblici di trasporto, i piani comunali di risanamento acustico ed i Piani regionali triennali di intervento per la bonifica dall'inquinamento acustico adottati ai sensi della L. n. 447/1995 (rispettivamente art. 3 comma 1, lettera i), art. 10 comma 5 e 7, e art. 4 comma 2). Va sottolineato che il D. Lgs. n. 194/2005 non contiene abrogazione di norme; ciò

implica che le infrastrutture dei trasporti e gli agglomerati urbani (nella fattispecie i comuni che li costituiscono) sono soggetti oltre che all'adempimento di quanto previsto dallo stesso decreto, a tutti gli obblighi di legge derivanti dalla L. 447/95 e dai suoi decreti attuativi.

3.3 Normativa regionale del Veneto

Al fine di rendere più semplice per le amministrazioni comunali l'individuazione delle categorie e delle aree da inserire nelle diverse classi, assicurando altresì una omogeneità di valutazione e di comportamento nella stesura della zonizzazione, nel 1993 la Giunta Regionale, con propria deliberazione n. 4313 del 21 settembre, emana la Delibera "Criteri orientativi per le amministrazioni comunali del Veneto nella suddivisione dei rispettivi territori secondo le classi previste nella tab. 1 allegata al DPCM 1 marzo 1991: "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno".

In tale delibera vengono ridefinite con più precisione le sei classi descritte dal DPCM 1 marzo 1991, sono inoltre descritti gli indirizzi di classificazione lungo i confini di diversa classe, i criteri metodologici per la classificazione delle aree urbane che vengono espressi mediante l'utilizzo di quattro parametri di valutazione:

1. la tipologia e l'intensità del traffico
2. la densità della popolazione
3. la densità di attività commerciali
4. la densità di attività artigianali

Sulla base di questi punti è possibile classificare le diverse aree che compongono l'insediamento urbano, assegnando ad ogni area presa in considerazione il punteggio corrispondente secondo la seguente tabella:

Parametri/punteggio	1	2	3
Densità di popolazione	Bassa	Media	Alta
Traffico veicolare e ferroviario	Locale	Di attraversamento	Intenso
Attività commerciali e terziarie	Limitata presenza	Presenza	Elevata presenza
Attività artigianali	Assenza	Limitata presenza	Presenza

Tabella 3.11
Punteggi per la
classificazione degli
insediamenti urbani

La somma dei punteggi determina l'appartenenza alle diverse classi.

Nel 1999, in ottemperanza alle previsioni della Legge Quadro 447/95 e con l'obiettivo specifico di tutelare l'ambiente esterno e quello abitativo dall'inquinamento prodotto da rumore, è stata emanata la Legge Regionale 10 maggio 1999 n. 21 "Norme in materia di inquinamento acustico". Con tale atto, la Regione ha ribadito l'obbligo per i Comuni di provvedere alla redazione dei Piani di classificazione acustica, entro un termine fissato in sei mesi dall'entrata in vigore della legge stessa. Era peraltro previsto al riguardo un onere a carico della Regione in merito all'aggiornamento delle linee per la classificazione acustica del territorio già delineate con la deliberazione della giunta regionale n. 4313 del 1993 sopradescritta. A tutt'oggi non è stato compiuto alcun intervento legislativo o deliberativo in tal senso, per cui rimangono validi i criteri descritti nella deliberazione del 1993, ai quali anche il Comune di Venezia ha fatto riferimento nella redazione della propria classificazione acustica.

Altre disposizioni attuative previste riguardavano le procedure e i criteri per la predisposizione dei Piani comunali di risanamento acustico, del Piano regionale triennale di intervento per la bonifica dell'inquinamento acustico (previsto dall'art. 4 comma 2 L. n. 447/1995), della documentazione di impatto acustico (prevista dall'art. 8, commi 2, 3, e 4 della L. n. 447/1995), a tutt'oggi non ancora emanate.

3.4 Altre normative regionali

ABRUZZO

Legge 3/3/99 n.11, articoli 58-60. Funzioni Regione, Province e Comuni
Legge 22/4/97 n.37. Interventi sul territorio attraversato dalla SS16 Adriatica
Legge 28/12/83 n.78. Comitato regionale contro l'inquinamento atmosferico e acustico

BASILICATA

Legge 4/11/86 n.23 (legge 24/7/04 n. 8). Legge quadro

BOLZANO

Legge 27/10/97 n.15. Rumore aereoportuale
Dpgp 6/3/89 n.4. Legge quadro - regolamento di attuazione
Legge 20/11/78 n. 66. Legge quadro

CALABRIA

Legge 12/8/02 n.34, articolo 80-82. Funzioni Regione, Province e Comuni
Legge 18/8/84 n. 19. Comitato regionale contro inquinamento atmosferico e acustico

CAMPANIA

Dgr 1/8/03 n. 2436. Classificazione acustica comunale
Dgr 18/8/00 n. 4431, Dgr 24/04/03 n. 1537. Requisiti e domande tecnici competenti in acustica

EMILIA ROMAGNA

Dgr 14/04/04 n. 673. Documentazione di previsione e valutazione impatto acustico
Dgr 21/01/02 n. 45. Attività all'aperto e attività temporanee
Dgr 9/10/01 n. 2053. Classificazione acustica comunale
Legge 9/05/01 n. 15. Legge quadro

FRIULI VENEZIA GIULIA

Legge 6/6/86 n. 25. Interventi straordinari

LAZIO

Legge 3/8/01 n. 18. Legge quadro
Legge 6/8/99 n. 14, articoli 108-110. Funzioni Regione, Province e Comuni
Dgr 14/3/96 n. 1450. Requisiti e domande tecnici competenti in acustica
Dgr 11/4/95 n. 2694. Piani di risanamento acustico comunali
Dgr 31/1/95 n. 151. Attività all'aperto e attività temporanee
Dgr 13/10/03 n. 7804. Classificazione acustica comunale

LIGURIA

Dgr Liguria 7/11/03 n. 1363. Interventi pilota sul traffico ferroviario
Ddir 13/1/00 n. 18. Schede di rilevamento dell'inquinamento acustico
Dgr 23/12/99 n. 1585. Classificazione acustica comunale
Dd 4/12/99 n. 2874. Trasmissione dei dati al sistema informativo regionale
Dgr 28/5/99 n. 534. Documentazione di previsione e valutazione impatto acustico
Dgr 18/12/98 n. 2510. Attività all'aperto e attività temporanee
Legge 23/3/98 n. 12. Legge quadro
Dgr 9/2/96 n. 238 (Dgr 19/6/98 n. 1754). Requisiti e domande tecnici competenti in acustica

LOMBARDIA

Dgr 11/10/05 n.808. Rumore aereoportuale
Dgr 13/12/02 n. VII/11582. Relazione biennale sullo stato acustico del comune
Dgr 12/7/02 n. V/9776. Classificazione acustica comunale
Dgr 8/3/02 n. 7/8313. Documentazione di previsione e valutazione impatto acustico
Dgr 16/11/01 n. VII/6906. Piani di risanamento acustico delle imprese
Legge 10/8/01 n. 13. Legge quadro. Reg. 21/1/00 n.1. Requisiti e domande tecnici competenti in acustica
Dgr 9/2/96 n. 8945, Dgr 17/5/96 n. VI/13195, Dgr 12/11/98 n. VI/39551. Requisiti e domande tecnici competenti in acustica

MARCHE

Dgr 24/6/03 n. 896. Criteri piani di risanamento e redazione della documentazione

Dgr 28/12/01 n. 3157. Interventi su territorio della Bassa Vallesina

Legge 14/11/01 n. 28. Legge quadro

PIEMONTE

Dgr 2/2/04 n. 9-11616. Documentazione di impatto acustico

Dgr 6/8/01 n. 85-3802. Criteri per la classificazione acustica del territorio

Legge 20/10/00 n. 52 (Legge 20/10/00 n. 53). Legge quadro

PUGLIA

Legge 12/02/02 n. 3. Legge quadro

SARDEGNA

Dgr 29/10/02 n. 34/71. Classificazione acustica comunale

SICILIA

Arpa 16/3/05. Classificazione acustica comunale

Arpa 21/06/04. Progetto per rete di monitoraggio

TOSCANA

Dgr 28/2/05 n. 322. Qualità energetica e ambientale degli edifici

Circolare 4/4/00 Dip. Pol. Territoriali e Ambientali Dgr n. 77/00 Piani di risanamento acustico comunali

Dgr 22/2/00 n. 77. Piani di classificazione e risanamento acustico comunali

Dgr 13/7/99 n. 788 (Dgr 28/3/00 n. 398). Documentazione di impatto acustico e relazione previsionale

Legge 1/12/98 n. 89 (Legge 29/11/04 n. 67). Legge quadro

TRENTO

Dpgp 26/11/98 n.38-110. capo III articolo 11-15. Legge quadro - Regolamento di attuazione

Legge 10/9/98 n. 10 articolo 60. Adeguamento alla legge quadro nazionale

Legge 18/3/91 n. 6. Legge quadro

UMBRIA

Reg. 13/8/04 n. 1. Legge quadro - regolamento di attuazione

Legge 6/6/02 n. 8. Legge quadro

Dgr 16/5/02 n. 578. Requisiti e domande tecnici competenti di acustica

VALLE D'AOSTA

Legge 29/3/06 n. 9. Legge quadro

VENETO

Legge 13/04/01 n. 11, articolo 79-81. Delega delle funzioni all'Arpav

Legge 10/5/99 n. 21. Legge quadro

Dgr 21/9/93 n. 4313. Criteri orientativi per i comuni

Legenda:

Cir= Circolare

Dgr= Deliberazione o decreto Giunta regionale

Dpgp= Decreto Presidente giunta provinciale

Ddir= Decreto dirigenziale

L= Legge

Reg= Regolamento (tra parentesi si indica la norma di modifica)

3.5 Norme UNI - Normativa tecnica per la valutazione di clima e impatto acustico

Gli studi di impatto acustico e di valutazione di clima sono attività tecniche propedeutiche alla effettuazione di un qualsiasi intervento di risanamento acustico, in quanto forniscono gli elementi conoscitivi relativi allo stato di fatto sul quale si interviene. Ai fini di una corretta esecuzione degli studi di impatto acustico e delle valutazioni di clima, risulta fondamentale l'utilizzo esperto, o quantomeno il riferimento, alla normativa tecnica nazionale (UNI) ed internazionale (EN e ISO).

Non mancano, in tal senso, i riferimenti tecnici atti a normare (e normalizzare) sia l'esecuzione dei rilievi fonometrici, sia l'utilizzo dei modelli matematici di previsione sia, infine, la corretta rappresentazione dei dati. È riportato di seguito un elenco delle principali norme tecniche di settore.

3.5.1 UNI 11143

Le norme della serie UNI 11143 descrivono per l'appunto una metodologia per la stima dell'impatto acustico e del clima acustico in funzione delle diverse tipologie di sorgenti o attività e dell'ambiente circostante. Scopo principale delle norme in oggetto è di fornire un percorso chiaro sia per il progettista sia per chi, da parte dell'amministrazione competente, è chiamato a valutare e decidere di conseguenza.

Essa è costituita da una prima parte (Parte 1, Generalità) che definisce in generale sia per il clima che per l'impatto acustico:

- le informazioni ed i dati che è necessario acquisire, e riportare, per una corretta valutazione dell'ambiente interessato e della sorgente in esame, in particolare i dati acustici, meteorologici e di morfologia del territorio;
- i requisiti minimi per un monitoraggio acustico in grado di caratterizzare adeguatamente il clima acustico dell'area di influenza;
- il corretto utilizzo, calibrazione e taratura mediante opportune misure di un modello previsionale di calcolo;
- la rappresentazione dei risultati.

Le successive norme della serie specificano alla tipologia di sorgente di volta in volta considerate i concetti espressi nella parte generale.

Si riporta qui di seguito l'elenco completo delle norme della serie 11143:

UNI 11143-1:2005, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Generalità.

UNI 11143-2:2005, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Rumore stradale.

UNI 11143-3:2005, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Rumore ferroviario.

UNI 11143-5:2005, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Rumore da insediamenti produttivi (industriali e artigianali).

UNI 11143-6:2005, Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Rumore da luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo.

Ai fini dell'effettuazione di uno studio di impatto o di clima è necessario utilizzare modelli di calcolo più o meno complessi, a seconda dei casi.

3.5.2 Modelli di calcolo previsionali

Con riferimento alla previsione acustica della propagazione ed attenuazione del suono all'aperto, la norma principale è costituita dalla:

ISO 9613-2:1996, Acoustics - *Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation.*

La norma fornisce gli algoritmi che descrivono l'attenuazione del suono durante la propagazione all'aperto; le sorgenti sonore devono essere schematizzate come puntiformi o comunque riconducibili ad un gruppo di sorgenti puntiformi. La previsione dei livelli di pressione sonora è condotta in bande d'ottava, per frequenze comprese in un range determinato. I livelli complessivi possono essere successivamente calcolati come somma energetica dei contributi spettrali.

I termini di attenuazione considerati sono legati alla divergenza geometrica, all'assorbimento dell'aria e del terreno, alla presenza di barriere e ad una serie di altri fattori come la presenza di vegetazione etc.

Il calcolo viene effettuato in condizioni cosiddette downwind (favorevoli alla propagazione), ma la norma prevede anche una metodologia per ottenere risultati relativi a condizioni atmosferiche specificate dall'utilizzatore.

Per la determinazione dell'assorbimento del suono da parte dell'atmosfera la norma di riferimento è la parte 1 della stessa 9613.

ISO 9613-1:1993, *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.*

3.5.3 Determinazione della potenza sonora

Un dato di input fondamentale dei modelli di calcolo è costituito dalla potenza sonora delle sorgenti modellizzate.

UNI EN ISO 3744:1997, *Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora. Metodo tecnico progettuale in un campo essenzialmente libero su un piano riflettente;*

UNI EN ISO 3746:1997, *Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora. Metodo di controllo con una superficie avvolgente su un piano riflettente.*

Queste due norme forniscono un metodo per la determinazione della potenza sonora mediante la misurazione dei livelli di pressione sonora su di una superficie che racchiuda la sorgente in esame ed impone condizioni specifiche relativamente all'ambiente di misura; in particolare la prima delle due norme citate stabilisce condizioni più restrittive, permettendo di pervenire a risultati più accurati e precisi. Sono inoltre previsti metodi per verificare quando una sorgente presenta caratteristiche di direttività, ed in tal caso forniscono metodologie per la determinazione quantitativa.

UNI ISO 8297:2006, *Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora di insediamenti industriali multisorgente per la valutazione dei livelli di pressione sonora immessi nell'ambiente circostante. Metodo tecnico progettuale.*

Tale norma prevede un metodo per la determinazione di livelli di potenza sonora per insediamenti industriali multisorgenti, nel caso specifico in cui tali sorgenti giacciono prevalentemente su di un piano orizzontale ed irradiano uniformemente in tutte le direzioni dello spazio.

L'utilizzabilità di tale norma è condizionata dalle dimensioni spaziali dell'impianto in esame: la massima dimensione orizzontale dell'impianto deve essere compresa tra i 16 ed i 320 metri.

3.5.4 Contributo di una specifica sorgente al livello di pressione sonora ad un ricettore

UNI 10855:1999, *Acustica - Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti.*

La norma prevede l'estrazione, secondo diverse casistiche, del contributo acustico di una singola sorgente al livello di pressione sonora misurato o determinato in uno specifico punto. I diversi metodi previsti per tale determinazione sono principalmente correlati alle caratteristiche di variabilità temporale dell'emissione sonora della sorgente in esame e delle altre sorgenti presenti in sito (rumore residuo).

Tale metodo non consente, evidentemente, di avere informazioni circa la direttività della sorgente sonora considerata (e, di conseguenza, sulla sua potenza sonora). Il metodo può comunque essere utilizzato, con cautela, per calcolare la potenza sonora da assegnare in un modello di simulazione ad una determinata sorgente sonora.

3.5.5 Descrizione acustica del territorio

Una volta terminati i calcoli acustici, è necessario che gli stessi vengano rappresentati in modo chiaro ed efficace.

UNI 9884:1997, Acustica - Caratterizzazione acustica del territorio mediante la descrizione del rumore ambientale.

La norma in oggetto si propone di normalizzare la descrizione del rumore ambientale con riferimento ad una determinata porzione di territorio. Essa stabilisce sia degli standard ai fini della rappresentazione grafica della mappatura sia l'insieme di informazioni minime che devono essere riportate in una relazione tecnica.

3.6 Norme UNI - Normativa tecnica per collaudi e calcoli previsionali acustici in edilizia

Al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore, è necessario progettare e realizzare involucri edilizi con requisiti acustici adeguati agli standard normativi vigenti. E' presente normativa tecnica sia nell'ambito delle progettazione sia in quello del collaudo.

È riportato di seguito un elenco delle norme più importanti.

3.6.1 Progettazione acustica di un edificio

Le norme della serie UNI EN ISO 12354 forniscono le basi per la corretta progettazione acustica degli edifici:

UNI EN ISO 12354-1, Acustica edilizia - Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti. Parte 1: isolamento al rumore aereo tra ambienti.

UNI EN ISO 12354-2, Acustica edilizia - Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti. Parte 2: isolamento ai rumori impattivi tra ambienti.

UNI EN ISO 12354-3, Acustica edilizia - Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti. Parte 3: isolamento al rumore aereo contro il rumore esterno. In particolare, la stima previsionale avviene a partire dalle caratteristiche acustiche dei singoli elementi che compongono una struttura edilizia. A tal fine è utile ricordare le norme che forniscono la metodologia per le misurazioni in laboratorio di tali caratteristiche:

UNI EN ISO 140-3:1997, Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici. Parte 3: misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio.

UNI EN ISO 140-6:2000, Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici. Parte 6: misurazioni in laboratorio dell'isolamento dai rumori di calpestio di solai.

UNI EN ISO 140-8:2000, Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici. Parte 8: misurazioni in laboratorio della riduzione del rumore di calpestio trasmesso da rivestimenti di pavimentazioni su un solaio pesante normalizzati.

ISO 140-10:1991, Acoustics - Measurements of sound insulation in buildings and of building elements. Laboratory measurements of airborne sound insulation of small building elements.

3.6.2 Collaudo acustico di un edificio

Le parti 4, 5 e 7 delle norme della serie UNI EN ISO 140 forniscono le basi tecniche per la determinazione in opera dei requisiti acustici passivi degli edifici. In particolare, ciascuna elenca i criteri per:

- la scelta delle posizioni di misura;
- la scelta delle posizioni della sorgente sonora;
- il numero minimo di misurazioni necessarie;
- la generazione del corretto campo sonoro;
- un metodo per considerare il rumore di fondo;
- un metodo per considerare le caratteristiche di assorbimento dell'ambiente ricevente.

Le norme di riferimento sono:

UNI EN ISO 140-4:2000, Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici. Parte 4: misurazione in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti.

UNI EN ISO 140-5:2000, Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici. Parte 5: misurazioni in opera dell'isolamento acustico degli elementi di facciata e delle facciate.

UNI EN ISO 140-7:2000, Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edifici. Parte 7: misurazioni in opera dell'isolamento dai rumori di calpestio di solai.

La determinazione di tali grandezze è condotta in frequenza, per bande di terzo d'ottava, nel range di frequenze centrali di banda comprese tra i 100 Hz e i 3150 Hz (eventualmente 4000 Hz e 5000 Hz).

Per la definizione degli indici di valutazione delle grandezze per l'isolamento acustico per via aerea in edifici e di elementi di edificio la norma tecnica di riferimento è data da:

UNI EN ISO 717-1:1997, Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Parte 1: isolamento acustico per via aerea.

Analogamente, con riguardo all'isolamento del rumore di calpestio, la norma di riferimento è la:

UNI EN ISO 717-2:1997, Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Parte 2: isolamento del rumore di calpestio.

La determinazione del tempo di riverberazione di un ambiente riveste un ruolo fondamentale nell'ambito del collaudo acustico di edifici, poiché tutte le misure dei suddetti requisiti richiedono correzioni basate, appunto, sulla conoscenza del tempo di riverbero.

Riferimento tecnico in tal senso è la:

UNI EN ISO 3382:2001, Acustica - Misurazione del tempo di riverberazione di ambienti con riferimento ad altri parametri acustici.

4. La governance del territorio comunale

4.1 Introduzione

L'inquinamento acustico si combatte anche con l'introduzione di buone prassi amministrative, volte a prevenire i disagi provocati dal rumore. Gli strumenti amministrativi, infatti, possono creare le condizioni perché l'approccio alla problematica del rumore sia di tipo preventivo e pianificatorio, riducendo sempre più nel tempo gli interventi "a valle", che vanno cioè ad arginare una situazione di disagio già esistente. In questa direzione vanno i diversi strumenti individuati negli anni dal legislatore italiano: si assiste così all'introduzione dei Piani comunali di risanamento acustico e dei Piani di contenimento del rumore prodotto dalle diverse infrastrutture di trasporto e, sul versante specifico dei ricettori, all'introduzione di requisiti acustici passivi per gli edifici e delle valutazioni del clima acustico.

4.2 Gli strumenti pianificatori dei Comuni

L'impostazione generale della legge quadro n. 447/1995 assegna ai Comuni un ruolo centrale nell'attuazione del complessivo disegno di tutela dall'inquinamento acustico, mentre affida alle Regioni una fondamentale funzione di snodo tra i principi normativi in capo allo Stato e l'operatività comunale dell'azione di risanamento.

Per quanto concerne l'attività pianificatoria dei Comuni, la normativa prevede uno strumento che fissa gli obiettivi da raggiungere (classificazione acustica del territorio comunale in funzione della destinazione d'uso del territorio secondo i criteri fissati dalle regioni) ed un successivo Piano volto alla definizione dei tempi e delle modalità per gli interventi di bonifica nel caso si superino i valori di attenzione (Piano di risanamento acustico). Il rapporto tra questi due strumenti è definito anche in base al monitoraggio (o valutazione modellistica) delle diverse sorgenti di rumore presenti sul territorio. In questo ambito rientrano i Piani di contenimento ed abbattimento del rumore prodotto dai diversi tipi di infrastrutture di trasporto che i diversi gestori devono redigere: tali infrastrutture, infatti, rappresentano una delle maggiori sorgenti rumorose presenti in ambito urbano. Al pari degli altri gestori di infrastrutture di trasporto (Rete Ferroviaria Italiana, Società di gestione di autostrade, Società di gestione di aeroporti, ecc., vedi par. 4.3), anche l'Amministrazione Comunale è tenuta alla redazione del Piano di contenimento ed abbattimento del rumore prodotto dalle proprie infrastrutture stradali (da presentare entro giugno 2007).

Di fronte ad un panorama così complesso ed articolato, alcuni auspicano che all'interno delle principali Amministrazioni Comunali venga istituita la figura Noise Manager, che abbia tra i suoi compiti lo sviluppo del Piano di risanamento, la proposta di soluzioni particolari, la promozione presso la cittadinanza delle più moderne ed efficaci tecnologie impiantistiche. In tal modo, analogamente a quanto già accade per la tematica della mobilità (Mobility Manager) e dell'energia (Energy Manager), l'aspetto dell'inquinamento acustico, che necessita di un approccio interdisciplinare e investe competenze di diversi settori della pubblica amministrazione, potrebbe avvalersi di un apposito profilo professionale che ne curi i molteplici aspetti, garantendo al contempo un'efficace gestione operativa.

Nei paragrafi che seguono vengono illustrati gli scopi e le caratteristiche del Piano di classificazione acustica e del Piano di risanamento acustico, descrivendone nel dettaglio alcuni. Si riporta, in particolare l'esperienza del Comune di Modena in quanto è stato il primo in Italia ad affrontare le problematiche inerenti la gestione dell'inquinamento acustico.

4.2.1 Il Piano di classificazione acustica

La classificazione acustica prevista dalla L. n. 447/1995, consente l'applicazione sul territorio dei limiti massimi ammissibili di rumorosità, in relazione alla tipologia dell'area stessa.

Il territorio comunale viene infatti suddiviso in aree omogenee in base all'uso, alla densità insediativa, alla presenza di infrastrutture di trasporto. A ciascuna area è associata una classe

acustica, a cui sono riferiti i diversi valori limite per l'ambiente esterno fissati dal DPCM 14 novembre 1997 per il periodo diurno (dalle 6.00 alle 22.00) e notturno (dalle 22.00 alle 6.00).

La classificazione acustica riveste due funzioni principali: da un lato costituisce strumento di pianificazione acustica che, attraverso le procedure di valutazione preventiva di clima e di impatto acustico, consente lo sviluppo di nuovi insediamenti nel rispetto dei limiti, dall'altro consente la verifica delle situazioni di superamento dei limiti stessi, propedeutica all'azione di risanamento. A questo proposito, il Piano comunale di classificazione acustica si configura come il passaggio propedeutico ed indispensabile per procedere, dopo una adeguata campagna di rilievi per la misura del rumore sul territorio ("caratterizzazione acustica"), alla predisposizione del Piano comunale di risanamento acustico previsto dalla Legge quadro. È infatti dal confronto tra zonizzazione e caratterizzazione acustica del territorio che possono essere individuate le aree critiche su cui intervenire in caso di superamento dei limiti di "attenzione" ovvero di contiguità di aree i cui valori differiscono per più di 5 dBA.

La classificazione acustica è basata sulla suddivisione del territorio comunale in zone omogenee corrispondenti alle sei classi individuate dal D.P.C.M. 14/11/97 (vedi par. 3.2.2.1). All'interno di tali classi lo stesso DPCM 14/11/1997 definisce i valori limite di emissione, i valori limite di immissione, i valori di attenzione ed i valori di qualità, distinti per i periodi diurno (ore 6,00-22,00) e notturno (ore 22,00-6,00).

Il Piano di classificazione acustica del Comune di Venezia

Il Comune di Venezia ha di recente approvato la classificazione acustica del proprio territorio (Delibera n° 39 del 10 febbraio 2005), al termine di un articolato iter amministrativo che ha permesso il confronto tra i diversi attori sociali presenti nella realtà veneziana.

La metodologia adottata per la classificazione del territorio si è attenuta alle indicazioni contenute nelle "Linee Guida per l'elaborazione di piani comunali di risanamento acustico" a cura dell'ANPA (febbraio 1998), nonché ai criteri orientativi contenuti nella Delibera di Giunta della Regione Veneto n. 4313/1993 (integrati con opportuni aggiornamenti che tengono conto dei decreti attuativi della L. n. 447/1995, in particolare in materia di infrastrutture di trasporto).

Tale metodologia combina un criterio qualitativo, basato su un'attenta analisi delle destinazioni d'uso esistenti e di quelle previste dagli strumenti urbanistici, con un criterio quantitativo basato sul calcolo di indici insediativi rappresentativi dell'intensità d'uso del territorio :

- attraverso il primo approccio, si ottiene una preclassificazione delle zone in classe I (ambiti soggetti a tutela), V e VI (aree produttive di tipo industriale), nonché di altre aree la cui classificazione è univocamente determinabile (es. zone portuali, centri commerciali, ecc.). Ciò è stato possibile grazie alla realizzazione di una mappa computerizzata di sintesi del PRG funzionale alla classificazione acustica, sulla base dell'effettivo stato di attuazione dei piani al fine di ottenere una visione equilibrata del territorio, che tenesse conto sia delle destinazioni effettive ed attuali, sia di quelle soggette a trasformazione nel breve-medio termine, evidenziando a parte le previsioni soggette ad un'attuazione di medio-lungo periodo (e come tale maggiormente incerta).
- Il secondo approccio permette invece l'individuazione, per mezzo di elaborazioni statistico-spaziali all'interno del restante territorio, caratterizzato da una compresenza di destinazioni diverse per tipo ed intensità d'uso, delle zone classificabili in classe II, III e IV. Sono stati all'uopo utilizzati i parametri previsti dalla DGRV n. 4313/1993 (vedi cap. 3.4) e i relativi punteggi assegnati. In particolare, per calcolare e mappare gli indicatori di densità di popolazione e di attività si è proceduto all'estrazione dall'anagrafe della popolazione e dall'archivio della TIA (tariffa igiene ambientale) del numero di abitanti e delle superfici commerciali, terziarie e artigianali per via e civico, e all'associazione attraverso il codice via e il numero civico dei dati suddetti alle sezioni di censimento ISTAT di appartenenza.

Quest'ultimo approccio è stato successivamente sottoposto ad un processo di compattazione, in modo da evitare una suddivisione del territorio troppo frammentata, e ad un'ulteriore verifica alla luce di valutazioni di carattere qualitativo e programmatico.



Figura 4.1
Comune di Venezia:
classificazione Acustica
del territorio comunale
[fonte: Comune di
Venezia]



Il Piano di classificazione acustica, consultabile al sito www.comune.venezia.it/urbanistica, è stato interamente redatto in modo informatizzato, nell'ottica del "sistema informativo territoriale", ossia organizzando i dati in geodatabase (banche di dati georeferenziati), prelevandoli per quanto possibile da "archivi gestionali informatizzati" e gestendo i dati georeferenziati con tecniche di geoprocessing e di analisi spaziale. Questo approccio rende possibile, oltre ad un trattamento efficiente di una grande massa di informazioni:

- la simulazione di scenari alternativi;
- la possibilità, se necessario, di ripercorrere all'indietro i diversi passaggi della procedura utilizzata, a garanzia di un maggior controllo e trasparenza dei risultati finali di classificazione ottenuti;
- la possibilità di un rapido aggiornamento nel tempo degli elaborati di piano;
- la predisposizione di versioni per la consultazione interattiva via internet e la distribuzione su supporti digitali;
- la possibilità di produrre a richiesta elaborati di stampa a diversa scala e con contenuti anche differenziati rispetto alla cartografia ufficiale di piano.

4.2.2 Il Piano di risanamento acustico

I Piani comunali di risanamento acustico costituiscono da un lato gli strumenti per recuperare situazioni di sofferenza pregresse, dall'altro l'opportunità di mettere in atto azioni che consentano un progressivo miglioramento della qualità ambientale già esistente. Infatti, come previsto dall'art. 7 della L. n. 447/1995, essi dovranno intervenire obbligatoriamente nei contesti in cui risultino superati i valori di attenzione, o quando nei tessuti urbanistici già consolidati non risulti possibile rispettare il divieto di contatto tra zone caratterizzate da valori di qualità che si discostino tra loro di oltre 5 dB(A), e discrezionalmente quando l'Ente locale lo ritenga necessario e opportuno per il conseguimento dei valori di qualità.

Il percorso di elaborazione di un Piano di risanamento acustico si può delineare come segue:

- classificazione acustica del territorio comunale, dove ad ogni zona omogenea dal punto di vista urbanistico-insediativo vengono assegnati opportuni valori di qualità e di attenzione in funzione del grado di protezione acustica funzionale per quel determinato contesto;
- valutazione del rumore ambientale, attraverso misure in situ e/o valutazioni modellistiche;
- individuazione delle situazioni di sovraesposizione, confrontando i valori misurati/stimati con quelli proposti dalla classificazione acustica;
- definizione dei criteri per l'individuazione delle priorità;
- costruzione della scala delle priorità;
- proposizione dei provvedimenti da adottare ai fini del conseguimento degli obiettivi di risanamento, con indicazione dei soggetti tenuti ad eseguire gli interventi;
- stima dei relativi costi.

Il Piano di risanamento si configura, quindi, come uno strumento organico e dinamico per la gestione del rumore ambientale nel territorio comunale; uno strumento in cui, accanto alla progettazione dei veri e propri interventi di bonifica acustica, devono trovare spazio anche misure di tipo amministrativo-pianificatorie e di tipo normativo-regolamentari. Solo in tal modo, infatti, il Piano sarà in grado di contribuire, oltre che al ristabilimento di accettabili condizioni di qualità acustica nei contesti compromessi, anche alla prevenzione di ulteriori situazioni di disagio.

In altri termini, il Piano di risanamento deve operare su tre distinti fronti:

- Dimensione amministrativa: formulare proposte ed indirizzi in sede di attività di pianificazione del territorio che, una volta recepiti, informeranno l'operato dei diversi Uffici dell'Ente direttamente preposti; il Piano non pretende di determinare i contenuti dei diversi provvedimenti, ma fissa i termini e le modalità per la valutazione dell'efficacia acustica di ogni azione. Ciò può valere in particolare per gli interventi relativi al governo della mobilità (azioni strutturali, riorganizzazione dei flussi di traffico, zone a velocità controllata, ecc.) e più in generale per una pianificazione urbanistica sensibile alla tutela della qualità acustica del territorio.
- Dimensione normativa-regolamentare: formulare apposite disposizioni integrative alle Norme Tecniche di Attuazione del PRG, al Regolamento di Igiene e di Polizia Municipale (riguardanti l'esercizio delle attività rumorose e la puntualizzazione delle certificazioni acustiche da produrre in sede di domanda allo Sportello Unico Attività Produttive), al Regolamento edilizio (con l'applicazione delle norme relative ai requisiti acustici passivi degli edifici).
- Dimensione dell'attuazione di interventi e opere: gli interventi possono essere di riduzione delle emissioni, di mitigazione dell'esposizione dei ricettori, di miglioramento dei requisiti di protezione passiva di edifici destinati a funzioni "sensibili".

Inoltre, il Piano di risanamento acustico deve provvedere al recepimento dei contenuti dei piani di contenimento ed abbattimento del rumore presentati da società ed enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture ai sensi dell'art. 10 comma 5 della L. n. 447/1995.

Il Piano di risanamento non rappresenta, in sé, uno strumento immediatamente operativo: è infatti un Piano di impegni ed indirizzi, la cui esecutività, dopo l'approvazione, resta affidata al recepimento delle sue proposte nei sistemi di pianificazione, regolazione e programmazione degli investimenti dell'Ente Locale.

Secondo quanto previsto dalla stessa legge quadro all'art. 7 comma 2, i Piani di risanamento acustico di cui al comma 1 devono contenere:

- l'individuazione della tipologia ed entità dei rumori presenti, incluse le sorgenti mobili, nelle zone da risanare individuate ai sensi dell'articolo 6, comma 1, lettera a);
- l'individuazione dei soggetti a cui compete l'intervento;
- l'indicazione delle priorità, delle modalità e dei tempi per il risanamento;
- la stima degli oneri finanziari e dei mezzi necessari;

- le eventuali misure cautelari a carattere d'urgenza per la tutela dell'ambiente e della salute pubblica.

Di seguito vengono analizzati il primo Piano di risanamento acustico approvato in Italia (Comune di Modena, 1999) ed uno recente (Comune di Firenze).

Il Piano di risanamento acustico del Comune di Modena

Il Comune di Modena si contraddistingue ormai da molti anni per la costante attenzione alle problematiche legate all'inquinamento acustico, ponendosi come una delle Amministrazioni comunali più all'avanguardia in tale settore. In data 22.02.1999, primo fra le città italiane, il Comune di Modena ha approvato il Piano di risanamento acustico comunale, unitamente alla classificazione acustica del territorio.

Il percorso che ha portato alla redazione del primo Piano di risanamento acustico (il secondo è attualmente in fase di elaborazione) è consistito nella preparazione di una serie di documenti tecnici propedeutici:

- la Mappa del Rumore Urbano della città di Modena: già nel 1987 erano stati rilevati i livelli di rumore in 1600 punti del territorio, a cui si sono aggiunte tra il 1995 ed il 1998 800 ulteriori campagne di rilevamento, che hanno permesso l'elaborazione della carta (implementata in GIS) a curve di uguale livello equivalente, ossia la carta del rumore misurato;
- la zonizzazione acustica del Comune di Modena, a cui sono associati sia i valori di qualità che quelli limite da comparare coi livelli di rumore ambientale rilevato o stimato;
- carta tematica della "sofferenza acustica": ottenuta sovrapponendo la mappa del rumore urbano con la zonizzazione acustica, evidenzia gli scostamenti tra livelli sonori allo stato di fatto e standard prescritti;
- definizione della scala di priorità secondo cui affrontare le situazioni critiche: i criteri generali per stilare un ordine di priorità delle situazioni critiche emerse fanno riferimento alla destinazione d'uso dei ricettori, all'entità dello stato di sofferenza e alla rilevanza urbanistica della zona. In particolare, nell'ambito delle situazioni di sovraesposizione vengono prese in considerazione solo quelle che interessano la residenza o aree e funzioni particolarmente protette, come gli edifici scolastici. All'interno di tali aree viene data priorità alle situazioni in cui i livelli di esposizione della residenza eccedano i 65 dB(A) diurni e i 55 dB(A) notturni;
- proposta dei provvedimenti da adottare ai fini del conseguimento degli obiettivi di risanamento, con indicazione dei soggetti tenuti ad eseguire gli interventi: i contenuti del Piano, illustrati in tabella 4.1, riguardavano, oltre a diverse azioni amministrative e regolamentari, diversi tipi di interventi che spaziavano dall'applicazione su scala urbana di asfalti a bassa rumorosità alla risagomatura delle strade (zone 30, passaggi pedonali rialzati, riduzione della carreggiata utile per il transito di autoveicoli, ecc.), dalla posa di schermi acustici all'installazione di arredi urbani con funzione di schermi acustici, fino all'aumento dei requisiti di protezione passiva di edifici destinati a funzioni protette (sostituzioni di serramenti degli edifici scolastici con inserimento di opportune guarnizioni);
- stima dei relativi costi, ove i provvedimenti previsti comportino l'esecuzione di lavori e/o opere.

Tra il 1999 ed il 2004 sono state realizzate, in attuazione del Piano, diverse barriere acustiche lungo le infrastrutture lineari di trasporto (anche se l'applicabilità degli schermi acustici in contesti urbani è piuttosto limitata) e si è agito soprattutto sulla gestione del traffico (per esempio con la creazione di "zone 30" e la sostituzione di semafori con rotatorie) e l'uso di manti stradali a bassa rumorosità. Sul versante della pianificazione acustica, è divenuta prassi la verifica preventiva del rispetto dei limiti di rumore dei nuovi insediamenti, sia di tipo residenziale che industriale e infrastrutturale, attraverso l'utilizzo della documentazione di impatto acustico e di clima acustico prevista dalla legislazione vigente⁷.

⁷ Le prescrizioni possono riguardare i distacchi degli edifici dalle strade, le tipologie, la distribuzione planimetrica e volumetrica, l'ubicazione e consistenza delle aree a verde, la previsione di strade a bassa velocità e di opere di schermatura.

Tabella 4.1
Contenuti ed obiettivi
del Piano di risanamento
acustico del Comune di
Modena

Obiettivi	Azione amministrativa e strumenti pianificatori	Dimensione normativa e regolamentare	Interventi e opere
SORGENTI: riduzione dell'entità delle emissioni sonore trasmesse all'ambiente	Ridefinizione dei Piani di trasporto e del traffico; Adeguamento di strumenti urbanistici generali e particolareggiati alla Zonizzazione Acustica; Nuova disciplina della Z.T.L. Disposizioni per la riduzione della velocità di marcia in zone sensibili; Verifica/controllo attività rumorose	Disciplina dell'"Uso specifico" del patrimonio edilizio esistente, con vincoli di insediabilità/ esercizio a carico di attività rumorose (Regolamenti di Igiene e di Polizia Urbana)	Estensione delle Linee filoviarie e sostituzione parco mezzi Trasporto Pubblico; Dispositivi di governo centralizzato dei semafori per coordinamento e preferenziamento; Ristrutturazione delle sedi stradali a i fini di riduzione e stabilizzazione velocità di marcia autoveicoli; Utilizzo di manti fonoassorbenti per gli assi urbani a maggior carico di traffico
VIE DI PROPAGAZIONE: mitigazione degli impatti sui ricettori	Previsione di adeguati spazi filtro e rispetto tra sorgenti e ricettori, in sede di strumenti urbanistici generali/particolareggiati; Istituzione di "isole pedonali"; Scelte di delocalizzazione per funzioni protette non passibili di difesa	Integrazione delle N.T.A. del PRG con disposizioni per la tutela dall'inquinamento acustico e l'operatività/efficacia della Zonizzazione Acustica; Limiti di immissione al confine di proprietà e/o di zona della classificazione acustica del territorio (Regolamento di Igiene)	Interventi di forestazione urbana lungo gli assi della grande viabilità; Interposizione di schermi acustici (naturali e artificiali) tra sorgenti e ricettori esposti ai flussi lungo infrastrutture viari e di trasporto; Riorganizzazione sezione stradali per distacco dei flussi dai ricettori; Soluzioni di arredo urbano con effetto fonoassorbente o fonoisolante
RICETTORI: miglioramento delle prestazioni di protezione passiva dei ricettori esposti		Requisiti prestazionali in funzione degli usi sanciti (Regolamento Edilizio); Vincoli distributivi da osservare in sede di ristrutturazione di edifici residenziali sovrapposti (Regolamento Edilizio)	Manutenzione straordinaria e/o sostituzione serramenti di edifici sovrapposti, sede di funzioni protette

[fonte: "Piani di Risanamento Acustico: dimensione amministrativa, pianificatoria e normativa" di A. Muratori, in "I Piani di Risanamento Acustico delle Aree Urbane" a cura di D. Bretoni e A. Peretti - Associazione Italiana di Acustica - 1999]

Il progetto per la stesura del Piano di risanamento acustico del Comune di Firenze

Differentemente dalla realtà modenese, il Comune di Firenze si sta accingendo in questo periodo alla stesura del Piano di risanamento acustico. Nella bozza di progetto per la stesura del Piano, si mette in evidenza come la maggior parte degli interventi efficaci dal punto di vista acustico si può realizzare solo in un ambito di intervento ampio, con grande attenzione alle ricadute di altra natura: in tal senso, i tempi, i modi e addirittura la stessa concezione degli interventi di risanamento non possono restare ad esclusivo appannaggio del progettista di quel particolare risanamento, ma devono essere definiti trasversalmente alla struttura organizzativa comunale. In questa direzione va il Regolamento delle attività rumorose approvato nel febbraio 2004 che prevede tra l'altro l'estensione dell'obbligatorietà della presentazione della valutazione preventiva di impatto acustico al maggior numero possibile di attività produttive e una puntuale regolamentazione delle autorizzazioni in deroga per tutte le attività rumorose temporanee. A fronte di quanto detto, la bozza del Piano prevede che lo stesso sia articolato in due sezioni distinte: un "Piano progetto" legato agli interventi puntuali da realizzare ed un "Piano guida" relativo invece alle politiche ed agli indirizzi da attuare.

In sintesi, il Piano progetto prevede i seguenti passi:

1. miglioramento della protezione e dell'isolamento acustico dei ricettori sensibili;
2. miglioramento della qualità acustica del verde pubblico e delle aree di quiete;
3. interventi di schermatura delle grandi arterie viarie.

Per ogni punto sono previsti una ricognizione cartografica dei recettori o delle aree in esame, il monitoraggio o la modellizzazione dei relativi livelli sonori, la ricognizione degli interventi di miglioramento acustico possibili e il loro dimensionamento, l'assegnazione di un indice di priorità e l'appalto delle opere da eseguire. Per quanto concerne l'isolamento dei ricettori sensibili, è prevista la formazione di tecnici di quartiere per la valutazione e la progettazione degli interventi di adeguamento.

Il Piano guida parte dalla constatazione che il maggiore disagio acustico nel tessuto urbano di una città è dovuto alla rumorosità del traffico veicolare e si articolerà come segue:

1. riorganizzazione della viabilità: attenta gestione dell'organizzazione dell'assetto viario, soprattutto in relazione alla viabilità minore, spesso scarsamente soggetta a specifici interventi di definizione della funzionalità;
2. politiche di incentivo alla mobilità a basso impatto acustico: analisi dell'impatto acustico delle diverse modalità di trasporto nell'ambito fiorentino, ricognizione di esperienze di supporto e di incentivo, elaborazione di criteri ed indirizzi per favorire tale mobilità;
3. politiche di riduzione del traffico veicolare: analisi della domanda di traffico veicolare nell'area fiorentina, ricognizione degli interventi e delle politiche ipotizzabili, individuazione di criteri e modelli per stimare l'efficacia acustica di tali politiche;
4. politiche di riqualificazione acustica del parco veicolare: analisi delle emissioni sonore delle diverse tipologie di veicoli, stima dei margini di miglioramento per le diverse tipologie, individuazione delle possibili politiche;
5. indirizzi per la qualificazione e riqualificazione acustica del patrimonio edilizio: elaborazione di linee guida per l'adeguamento del regolamento edilizio comunale;
6. linee guida per gli interventi di nuova organizzazione e riqualificazione urbanistica: elaborazione di linee guida per una corretta organizzazione delle aree di nuova urbanizzazione;
7. analisi della prima applicazione del regolamento comunale sulle attività rumorose: ricognizione dei principali ambiti di applicazione del regolamento per le attività rumorose al fine di evidenziare le difficoltà di attuazione ed i principali strumenti integrativi che potrebbero migliorarne l'efficacia.

4.3 Le infrastrutture di trasporto

Il DM 29 novembre 2000 "Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei Piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore" introduce l'obbligo per i gestori di infrastrutture di trasporto di caratterizzare dal punto di vista acustico il territorio adiacente all'infrastruttura, stimando e/o misurando i livelli sonori emessi dalla stessa, e successivamente di redigere un Piano che riporti nel dettaglio gli interventi che verranno effettuati per bonificare le situazioni di disagio acustico precedentemente individuate.

La porzione di territorio da indagare, le cosiddette fasce di pertinenza acustica, ed i relativi limiti da rispettare sono determinati dai decreti attuativi per le infrastrutture ferroviarie e stradali⁸ e dai lavori di un'apposita commissione per le infrastrutture aeroportuali⁹.

Giova ricordare che all'esterno delle fasce di pertinenza, il rumore prodotto dall'infrastruttura contribuisce assieme alle altre sorgenti presenti al raggiungimento del valore limite definito dalla Classificazione acustica.

Si riportano di seguito alcuni esempi di gestione del rumore prodotto dai diversi tipi di infrastrutture, illustrando l'esperienza di Rete Ferroviaria Italiana (gestore nazionale delle principali

⁸ DPR 18 novembre 1998 n. 459 - Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995 n. 447 in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario. DPR n. 142 del 30.03.2004 - "Regolamento recante disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447".

⁹ DM 31 ottobre 1997 - Metodologia di misura del rumore aeroportuale.

linee ferroviarie), della convenzione ARPAT-SALT (mappatura acustica del rumore prodotto da un'infrastruttura autostradale), dell'aeroporto di Bologna (tra i primi in Italia a dotarsi di un sistema di monitoraggio) e di ATAF (società che gestisce il trasporto pubblico locale nella realtà fiorentina, e che sta portando avanti un'esperienza innovativa nella definizione del contributo dei propri mezzi al clima acustico della città).

Tale elenco, lungi dall'aver pretesa di esaustività, vuole semplicemente fornire alcuni spunti e delineare direzioni per possibili approfondimenti.

4.3.1 Infrastrutture ferroviarie: l'esperienza di RFI

Rete Ferroviaria Italiana (di seguito RFI), ha realizzato quanto previsto dal DM. 29 novembre 2000, presentando dapprima nel luglio 2002 la stima dei livelli sonori immessi nelle aree circostanti le infrastrutture ferroviarie e nel dicembre 2003 il Piano di risanamento acustico nazionale, che si presenta tra i primi in Europa per la portata degli interventi previsti, per la complessità degli obiettivi da realizzare e per numero di situazioni indagate.

Nella prima fase, pertanto, si è proceduto alla redazione di cartografie tematiche che illustravano, per ogni tratto ferroviario, la stima dei livelli continui equivalenti di rumorosità, sia diurni che notturni. I valori limite per il rumore ferroviario e le relative fasce di pertinenza sono stati stabiliti dal DPR n. 459/1998. Per quanto riguarda le infrastrutture esistenti¹⁰, è individuata una fascia territoriale di pertinenza di ampiezza pari a 250 m per ciascun lato dell'infrastruttura. Tale fascia viene suddivisa in due parti: la prima, più vicina all'infrastruttura, della larghezza di 100 m, è denominata fascia "A"; la seconda, più distante dall'infrastruttura, della larghezza di 150 m, è denominata fascia "B". All'interno delle fasce sono fissati i seguenti valori limite di rumore immesso:

- 50 dB(A) Leq diurno, 40 dB(A) Leq notturno per scuole, ospedali, case di cura e case di riposo; per le scuole vale il solo limite diurno;
- 70 dB(A) Leq diurno, 60 dB(A) Leq notturno per gli altri ricettori all'interno della fascia "A";
- 65 dB(A) Leq diurno, 55 dB(A) Leq notturno per gli altri ricettori all'interno della fascia "B".

Per le infrastrutture di nuova realizzazione, con velocità di progetto superiore a 200 km/h, i valori limite assoluti di immissione del rumore prodotto sono i seguenti:

- 50 dB(A) Leq diurno, 40 dB(A) Leq notturno per scuole, ospedali, case di cura e case di riposo; per le scuole vale il solo limite diurno;
- 65 dB(A) Leq diurno, 55 dB(A) Leq notturno per gli altri ricettori.

In via prioritaria, l'attività di risanamento deve essere attuata all'interno dell'intera fascia di pertinenza per i ricettori sensibili (scuole, ospedali, case di cura e di riposo) e, all'interno della fascia "A", per tutti gli altri ricettori.

La mappatura della stima dei livelli sonori è stata conseguita mediante l'applicazione di un modello di simulazione che teneva conto dell'emissione acustica delle diverse tipologie di treni, dell'entità e composizione del traffico circolante e della caratterizzazione del territorio compreso nella fascia di pertinenza ferroviaria. I dati di sintesi ricavati da tale studio sono così riassumibili:

- sono stati indagati 17.163 km di infrastruttura;
- sono stati stimati 8.151 km di infrastruttura con livelli acustici immessi nella fascia "A" superiori ai limiti di legge; su circa 2.774 km di questa porzione di rete è stata riscontrata la presenza di ricettori;
- su circa 86 km di infrastruttura si è riscontrata la presenza di ricettori sensibili nell'intera fascia di pertinenza ferroviaria.

La seconda fase del lavoro ha portato alla redazione del "Piano degli interventi di contenimento ed abbattimento del rumore ai sensi del DM Ambiente 29/11/00", nel quale sono stati definiti gli

¹⁰ Per infrastrutture esistenti si intendono quelle già esistenti alla data di entrata in vigore del DPR n. 459/1998

interventi necessari, attribuendo loro un indice di priorità, una valutazione dei costi e dei tempi di esecuzione. Per ogni intervento previsto è stata predisposta un'apposita scheda riportante l'indice di priorità, il costo ed i risultati previsti in termini di abbattimento del rumore.

L'indice di priorità tiene conto dell'entità del superamento del valore limite e del tipo e della quantità dei ricettori presenti.

L'analisi dei risultati del lavoro svolto ha consentito di ricavare i seguenti dati di sintesi:

- il Piano di risanamento prevede 8.843 interventi, interessanti 2.874 km di infrastruttura e 1.250 Comuni;
- è stata prevista un'estensione complessiva di 3.605 km di barriere antirumore;
- sono stati individuati 3.207 interventi diretti sui ricettori isolati.

Il costo complessivo delle attività di risanamento è stato stimato in circa 6,8 miliardi di euro e sarà ripartito uniformemente nei 15 anni fissati dal DM Ambiente 29/11/2000 come periodo per l'attuazione dell'intero Piano.



Figura 4.2
RFI: Livelli di rumorosità (Leq) diurni - nodo di Mestre
[fonte: "Stima dei livelli sonori ai sensi del DM 29.11.2000", RFI - 2002]

4.3.2 Infrastrutture stradali: l'esperienza ARPAT-SALT

Secondo il disposto del DPR n. 142/2004, ARPAT ha attivato una specifica convenzione (febbraio 2005) con SALT volta ad espletare indagini conoscitive per la determinazione del clima acustico che complessivamente coinvolge la popolazione adiacente alle infrastrutture di pertinenza (tratta toscana dell'autostrada A12 e tratto di A11 compreso tra Lucca e Viareggio). Tale azione si affianca ai lavori di una apposita commissione tecnica regionale che ha lo scopo di indirizzare e valutare gli interventi di risanamento proposti dai gestori di infrastrutture di trasporto, al fine di provvedere al raggiungimento degli obiettivi fissati dalla normativa vigente.

La prima fase dello studio è consistito in una ricognizione completa delle aree corrispondenti alle fasce A e B di pertinenza acustica: sono state individuate tutte le abitazioni che all'entrata in vigore del DPR 142/2004 erano presenti all'interno di tali fasce e per ogni abitazione sono stati contattati manualmente i nuclei familiari presenti con sopralluoghi in situ.

In tal modo nel tratto toscano dell'A12 sono stati individuati all'interno delle fasce di pertinenza acustica 3615 edifici (di cui 4 scuole e 2 strutture sanitarie), abitati da 8573 famiglie. I dati relativi

al tratto di competenza dell'A11 sono di 919 edifici (di cui 1 scuola e 2 strutture sanitarie) per un totale di 1700 famiglie. Il dato complessivo, pertanto, stima che complessivamente sono interessate dal rumore autostradale, all'interno delle fasce di pertinenza, 31200 persone, abitanti in un totale di 4534 edifici.

Dopo questa prima fase di ricognizione, si è provveduto alla modellizzazione acustica dei tratti stradali interessati, al fine di determinare il clima acustico prodotto dagli stessi. Come base cartografica è stata utilizzata la CTR della Regione Toscana, opportunamente integrata con gli edifici costruiti o ristrutturati di recente, grazie a ricognizioni in situ. Si è proiettato il clima acustico su un'area di 600 metri, centrata sull'infrastruttura, e si sono utilizzati i parametri di traffico corrispondenti al volume giornaliero massimo registrato nel corso degli anni da specifici monitoraggi compiuti sia da ARPAT che da SALT. In tale modo si è voluto fornire un'indicazione del clima acustico peggiore che si verifica nell'intorno dell'infrastruttura. La modellizzazione ha tenuto conto anche di tutti gli interventi di risanamento già presenti sui tracciati autostradali in esame, sia per valutarne correttamente il clima acustico che per verificare la bontà delle bonifiche acustiche fin qui effettuate. Tutti i dati così ottenuti sono stati inseriti in un GIS e aggregati in modo da fornire una lettura completa del territorio dal punto di vista acustico. A tal proposito si riporta di seguito la tabella che descrive il clima acustico notturno presente nei tratti esaminati.

Tabella 4.2
Percentuale di popolazione ed edifici abitativi esposti ai livelli notturni di rumore prodotti dalle infrastrutture SALT
[fonte: "Mappatura acustica e piani di azione nell'attività di ARPAT", di Licitra et al., in "Progettare il Risanamento Acustico" - Ordine degli ingegneri della Provincia di Firenze - 2006]

Intervallo LN [dB(A)]	Popolazione esposta	Edifici esposti
< 55	43%	44%
55-59	42%	39%
60-64	12%	13%
65-69	3%	3%
70-74	1%	1%
> 75	0%	0%

Come risultato finale, lo studio ha permesso l'individuazione di 203 siti in cui si è verificato il superamento dei limiti di immissione, contenenti in totale circa 2900 edifici, per una popolazione stimata di circa 11200 persone. Per ciascun sito è stata prodotta una scheda identificativa, assegnandovi anche un grado di priorità per i futuri interventi di bonifica.

4.3.3 Infrastrutture aeroportuali: l'esperienza dell'aeroporto di Bologna

La gestione del rumore prodotto dalle infrastrutture aeroportuali è normata dal DM 31 ottobre 1997 "Metodologia di misura del rumore aeroportuale". Tale decreto, infatti, ha definito il descrittore acustico (L_{VA}) da utilizzare nella misura del rumore emesso da questo particolare tipo di sorgente, individuando al contempo i criteri di individuazione delle zone di rispetto per le aree e le attività aeroportuali nonché quelli che regolano l'attività urbanistica nelle zone di rispetto, e le procedure per l'adozione di misure di riduzione del rumore aeroportuale, per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico e per la definizione delle caratteristiche dei sistemi di monitoraggio.

In particolare al fine di predisporre la caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale¹¹ e le procedure antirumore, per ogni aeroporto aperto al traffico civile è prevista l'istituzione di un'apposita commissione¹². Tale commissione è al lavoro anche all'aeroporto Marco Polo di Venezia, e allo

¹¹ Devono essere definite le seguenti aree di rispetto:
zona A: l'indice L_{VA} non può superare il valore di 65 dB(A);
zona B: l'indice L_{VA} non può superare il valore di 75 dB(A);
zona C: l'indice L_{VA} può superare il valore di 75 dB(A).
Al di fuori delle zone A, B e C l'indice L_{VA} non può superare il valore di 60 dB(A).

¹² Questa commissione è presieduta dal competente direttore della circoscrizione aeroportuale e composta da un rappresentante per ognuno dei seguenti soggetti: regione, provincia e comuni interessati; Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente; dell'Ente nazionale di assistenza al volo, vettori aerei, società di gestione aeroportuale.

stato attuale sta definendo gli ultimi dettagli della zonizzazione acustica e predisponendo il sistema di monitoraggio acustico che servirà al controllo del rispetto delle procedure antirumore.

La realizzazione di un'efficace rete di monitoraggio si rivela infatti di fondamentale importanza per la verifica della bontà di zone di rispetto e del rispetto delle procedure antirumore da parte dei diversi vettori aerei.

A livello nazionale uno degli aeroporti all'avanguardia nella gestione del rumore prodotto dall'infrastruttura è quello dei Bologna. Fin dal 1992 il Comune di Bologna ha attivato una centralina di monitoraggio fissa per la misura dei livelli sonori, registrando fino al 2002 una diminuzione degli stessi: il notevole aumento del numero di voli, infatti, è stato ampiamente bilanciato dalla progressiva dismissione degli aerei più rumorosi e dall'emanazione da parte dell'Aviazione Civile (Enac) delle ordinanze di regolamentazione dei decolli aerei.

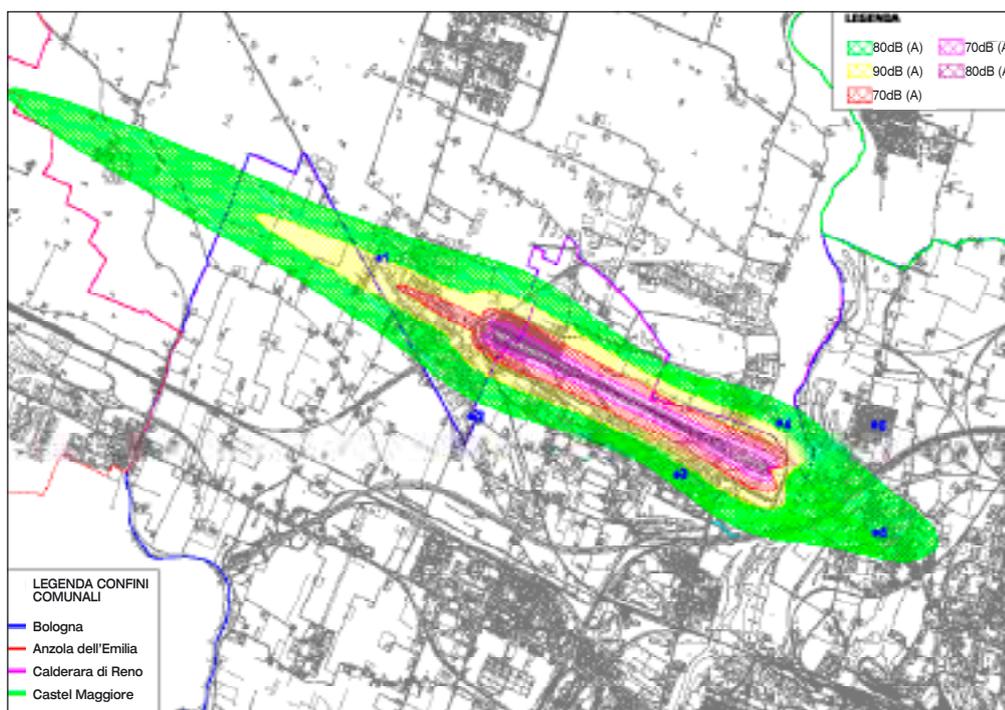


Figura 4.3
Aeroporto di Bologna:
isofoniche (Lva) relative
al 2005
[fonte: www.bologna-airport.it - 2006]

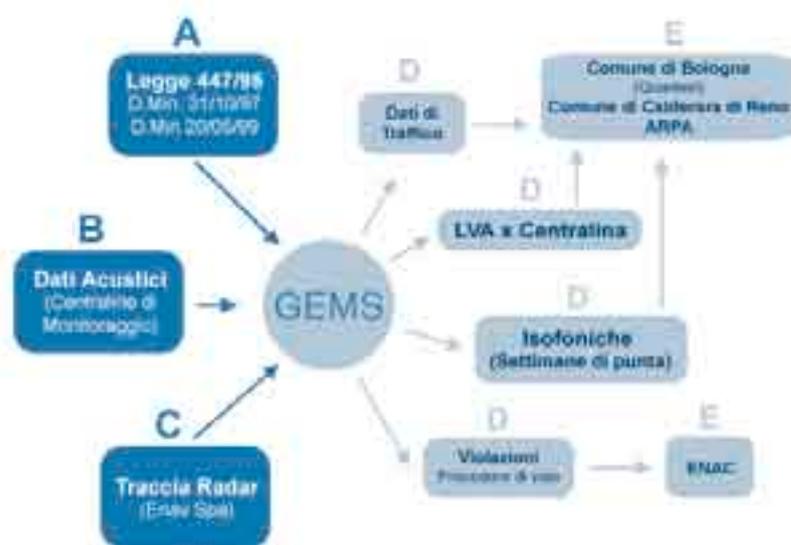


Figura 4.4
Aeroporto di Bologna:
architettura del sistema
di monitoraggio
[fonte: www.bologna-airport.it - 2006]

Dal 2002 è stato installato un nuovo sistema di monitoraggio integrato con la traccia radar, costituito da nove centraline acustiche fisse e da una centrale di elaborazione dati. Questo sistema (illustrato sinteticamente in figura 4.4) è gestito da SAB (gestore aeroportuale) con verifiche di Arpa, e consente di abbinare in modo univoco gli eventi rumorosi registrati dalle centraline con i movimenti aerei, rendendo possibile individuare e sanzionare gli aeromobili che non rispettano le procedure antirumore.

La rete di monitoraggio presenta l'ulteriore vantaggio di consentire la taratura di un modello acustico appositamente sviluppato per il rumore aeroportuale. L'utilizzo di tale modello consente sia di ottimizzare dal punto di vista dell'impatto acustico le procedure di volo e l'utilizzo dello spazio aereo e dei movimenti a terra, sia di predire le ripercussioni acustiche indotte da diverse ipotesi di sviluppo del traffico aereo e delle strutture aeroportuali.

4.3.4 Trasporto pubblico locale: l'esperienza di ATAF

ATAF, l'azienda che gestisce il trasporto pubblico nell'area fiorentina, sta effettuando una serie di studi volti alla stesura del Piano per il contenimento ed abbattimento del rumore prodotto nell'esercizio delle infrastrutture stradali, ai sensi del DM 29 novembre 2000.

Il programma di lavoro comprende, come illustrato nella tabella successiva, l'analisi morfologica e documentaria del territorio entro il quale si collocano le sorgenti, l'effettuazione di campagne di rilevazioni fonometriche per la determinazione dei perimetri di confine delle aree di superamento dei limiti, l'applicazione di modelli matematici ad hoc per la stima, mediante simulazioni, dei livelli di immissione non direttamente misurabili.

Tabella 4.3
Fasi e attività nella stesura del piano di contenimento del rumore
[fonte: "Applicazione del DM 29/11/2000 ai gestori dei servizi di trasporto urbano ed extraurbano", di Baldacchini et al., in "Progettare il Risanamento Acustico" - Ordine degli ingegneri della Provincia di Firenze - 2006]

FASE	ATTIVITÀ	
1 Studio del clima acustico Studio dei livelli di emissione delle diverse tipologie di veicoli	1.A Scenari di base	Localizzazione 44 scenari di base
		Definizione scheda censimento 44 scenari di base
		Censimento 44 scenari di base
		Definizione 15 scenari campione mediante algoritmo e verifiche
	1.B Scenari campione	Costruzione modello di immissione e censimento dei ricettori per ogni scenario campione
		Monitoraggio clima acustico in ogni scenario campione
1.C sorgenti	Individuazione tipologie di veicolo da analizzare	
	Rilevazione fonometriche dei valori di emissione delle varie tipologie di veicolo	
1.D relazione ante operam	Elaborazione e analisi acustica dei risultati delle rilevazioni fonometriche e delle simulazioni	
2 Studio di impatto acustico Rilevazioni fonometriche, simulazioni e verifica del rispetto dei limiti	2.A validazione	Validazione del modello e completamento dell'indagine con gli eventuali dati mancanti
	2.B simulazioni	Applicazione del modello di propagazione a ogni scenario con diverse composizioni di sorgenti
	2.C valutazione	Elaborazione e analisi acustica dei risultati delle rilevazioni fonometriche e delle simulazioni
	2.D criticità e priorità	Individuazione delle situazioni di criticità e di superamento dei limiti
	2.E	Stesura relazione tecnica
3 Stesura del piano di contenimento previsto dal DM 29.11.2000	3.A piano	Definizione del piano di contenimento: interventi, priorità, costi, competenze e contributi
	3.B progettazione	Progettazione degli interventi
	3.C confronto	Partecipazione a tavoli di confronto per la determinazione dei contributi specifici da attribuire ai diversi gestori

SCHEDA SORGENTE T1	
Anagrafica Sorgente	
	
Modello	Iveco Cityclass 491-12 CNG
N. Soc.	3708
Alimentazione	Metano
Valori di omologazione in DB	81
Anagrafica postazione di misura	
Localizzazione postazione di misura	Comune di Firenze - Viale di Maratona
Posizionamento Microfono:	1. 2,5 m dal lato esterno della corsia di prova 2. 5 m dal lato esterno della corsia di prova 3. 10 m dal lato esterno della corsia di prova
Altezza microfono	1,6 m
Campagna di rilevazione fonometrica	
Responsabile della campagna rilevazione	Dott. Ing. Sergio Luzzi
Tecnici che hanno collaborato all'esecuzione delle misure	
Per Vie. En.Ro.Se. s.a.s.	Per Aytaf
Dott.ssa Raffaella Bellomini Dott. Ing. Andrea Baldacchini Dott. Ing. Manuel Gori Dott. Ing. Leonardo Mangiarotti	Dott. Ing Andrea Vitali dott. Ing giampaolo Marri Dott. Ing Michele Basta
Strumentazione utilizzata	N. 2 fonometri Bruel&Kjaer 2260 N. 1 fonometri Bruel&Kjaer 2250 Calibratore Bruel&Kjaer 4230

Figura 4.5
Scheda anagrafica per le emissioni rumorose dei mezzi di trasporto ATAF [fonte: "Applicazione del DM 29/11/2000 ai gestori dei servizi di trasporto urbano ed extraurbano", di Baldacchini et al., in "Progettare il Risanamento Acustico" – Ordine degli ingegneri della Provincia di Firenze - 2006]

Sono stati innanzitutto individuati 44 scenari di base, rappresentativi di tutte le possibili combinazioni di sorgenti, ricettori e condizioni al contorno. Attraverso un algoritmo di calcolo, dai 44 scenari di base si sono estrapolati 15 scenari di studio rappresentativi dell'insieme delle possibili situazioni di inserimenti dei percorsi ATAF nei diversi contesti di urbanizzazione e di viabilità.

Le variabili che influenzano l'impatto acustico dei mezzi sono state raggruppate in 3 categorie principali: variabili statiche (quelle che comportano la fermata e la ripartenze, come le fermate a chiamata ed i semafori), dinamiche (quelle che influenzano i livelli delle emissioni prodotte dai mezzi in transito, come il volume di traffico e la pendenza e la pavimentazione della sede stradale) e al contorno (quelle relative alle condizioni ambientali al contorno, come l'altezza degli edifici e la larghezza della sede stradale).

Per lo studio delle sorgenti si sono effettuate rilevazioni fonometriche in scenari aventi opportune caratteristiche di percorso in campo libero, per la determinazione dei valori di emissione da associare a ogni tipologia di veicolo da includere nel modello di calcolo.

I passi successivi riguardano adesso la validazione del modello per arrivare alla definizione dell'impatto acustico prodotto dai mezzi ATAF ed alla successiva stesura del Piano di contenimento previsto dal DM 29 novembre 2000. In riferimento a quest'ultimo passaggio, sono necessari

tavoli di confronto tecnico e organizzativo fra i gestori dei servizi e delle infrastrutture concorrenti al superamento dei limiti in una determinata area, al fine di armonizzare i risultati dei diversi Piani e di procedere di concerto alla loro attuazione, integrando gli interventi di risanamento.

4.4 Gli interventi sui ricettori

In questo paragrafo si prendono in considerazione gli strumenti amministrativi che regolano gli interventi sui ricettori, lasciando al capitolo 6 lo spazio per descrivere le diverse soluzioni tecniche adottabili. L'aspetto amministrativo, infatti, costituisce l'elemento motore degli interventi sul territorio, dovendo definire all'interno degli strumenti urbanistici e dei regolamenti edilizi da un lato i requisiti da rispettare e dall'altro i criteri per la progettazione e l'esecuzione delle opere edilizie.

La legge quadro n. 447/1995 prevede all'art. 8 una serie di adempimenti in merito, introducendo l'obbligatorietà della documentazione di impatto acustico per la realizzazione, modifica o potenziamento di una serie di opere, di una valutazione previsionale del clima acustico per un'altra serie di insediamenti e di una documentazione di previsione di impatto acustico per le attività produttive.

In particolare (art. 8, comma 2), per i progetti sottoposti a VIA ex art. 6 L. n. 349/1986, ovvero su richiesta dei comuni, i competenti soggetti titolari dei progetti o delle opere predispongono una documentazione di impatto acustico relativa alla realizzazione, modifica o potenziamento delle seguenti opere: aeroporti, tutti i tipi di strade, le discoteche, i pubblici esercizi ove sono installati impianti o macchinari rumorosi, gli impianti sportivi e ricreativi e le ferrovie. Inoltre, è fatto obbligo (art. 8, comma 3) di produrre una valutazione previsionale del clima acustico delle aree interessate alla realizzazione di un certo tipo di insediamenti (scuole e asili nido, ospedali, case di cura e di riposo, parchi pubblici, ecc.). Infine, il comma 4 dell'art. 8 prevede che "le domande per il rilascio di concessioni edilizie relative a nuovi impianti ed infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive e ricreative e a postazioni di servizi commerciali polifunzionali, dei provvedimenti comunali che abilitano alla utilizzazione dei medesimi immobili ed infrastrutture, nonché le domande di licenza o di autorizzazione all'esercizio di attività produttive, devono contenere una documentazione di previsione di impatto acustico".

Per quanto riguarda nello specifico i ricettori, il DPCM 5 dicembre 1997 indica i requisiti acustici passivi che essi debbono rispettare. Tale iter, nel panorama italiano, risulta ancora lacunoso, sia a livello centrale (manca ancora il decreto attuativo previsto dalla legge quadro n. 447/1995 volto alla definizione dei criteri per la progettazione, l'esecuzione e la ristrutturazione delle costruzioni edilizie e delle infrastrutture) che a livello periferico (non sono ancora molto diffusi, infatti, né le linee guida regionali per la stesura dei diversi documenti previsti dall'art.8 della L. n. 447/1995, né l'adeguamento dei regolamenti comunali in termini di requisiti acustici passivi degli edifici).

4.4.1 L'attuazione del DPCM 5 dicembre 1997 nei regolamenti edilizi comunali

Il DPCM 5 dicembre 1997 ha determinato i requisiti acustici passivi degli edifici. Tali requisiti valgono per tutti gli edifici di nuova costruzione progettati e realizzati dopo l'emanazione del decreto e per tutte le categorie di intervento subordinate al "permesso di costruire"¹³. Il decreto riporta solo i livelli minimi prestazionali richiesti per le diverse tipologie di edifici, poiché è esplicitamente previsto dalla legge quadro¹⁴ "l'indicazione, con decreto del Ministro dei Lavori Pubblici [...] dei criteri per la progettazione, l'esecuzione e la ristrutturazione delle costruzioni edilizie e delle infrastrutture di trasporto, ai fini della tutela dall'inquinamento acustico". Quest'ultimo passo, però, non è mai stato compiuto dal legislatore. Allo stato attuale, pertanto, sono definiti i limiti da rispettare ma non indicate in alcun modo le modalità del loro conseguimento. A ciò si aggiunga che sono completamente assenti nel testo di legge le specifiche disposizioni di vigilanza e sanzioni necessarie ad un efficace controllo della qualità delle opere eseguite.

¹³ come previsto dal DPR n. 380/2001; pertanto i requisiti acustici passivi vanno garantiti anche nel caso di interventi di ristrutturazione edilizia, a meno che non prevalgano esigenze di tipo superiore come nel caso di edifici soggetti a tutela culturale e ambientale.

¹⁴ L. n. 447/1995, art. 3 comma 1, lettera f)

Le competenze comunali in tema di requisiti acustici passivi degli edifici sono definiti nella legge quadro n. 447/1995 all'art. 6, comma 1, lettera e), laddove si recita che è competenza dei Comuni "l'adozione di regolamenti per l'attuazione della disciplina statale e regionale per la tutela dall'inquinamento acustico", e quindi anche il recepimento del DPCM 5 dicembre 1997 all'interno dei regolamenti edilizi.

La lacuna normativa accennata nel paragrafo precedente ha favorito un'applicazione spesso incompleta o incongruente dei limiti previsti dal Decreto.

Al fine di valutare lo stato di attuazione del DPCM 5 dicembre 1997, il Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università degli Studi di Padova ha condotto nel corso del 2004 una ricerca basata sui dati reperibili presso le reti informatiche dei 103 Comuni capoluoghi di provincia. Il 40% del campione non dispone di dati in rete, mentre per il restante 60% sono stati analizzati sia i regolamenti edilizi che i regolamenti d'igiene, evidenziando i riferimenti ai requisiti acustici passivi degli edifici. Tali riferimenti risultano completamente assenti nel 34% dei casi analizzati. Per i restanti Comuni la situazione rilevata è quella riportata nella figura che segue.

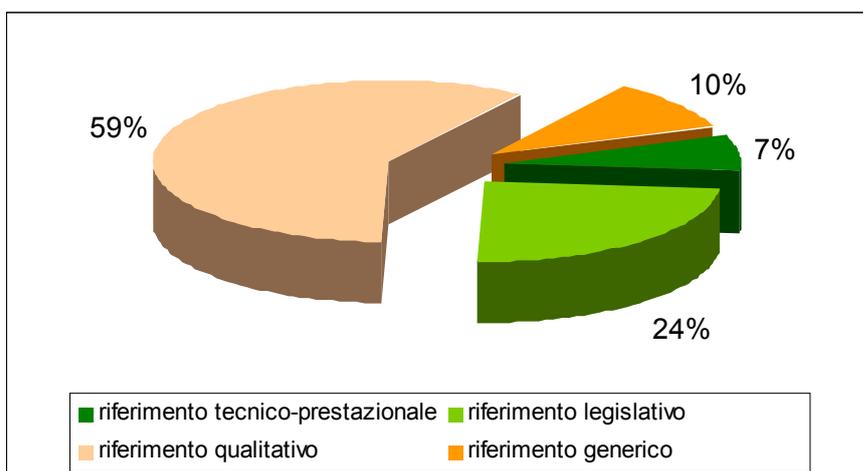


Figura 4.6
Indagine sullo stato di attuazione del DPCM 5 dicembre 1997 nei regolamenti edilizi dei Comuni capoluogo (fonte siti web, aggiornamento gennaio 2005)
[fonte: "Lo stato di attuazione del DPCM 5 dicembre 1997, leggi regionali e regolamenti edilizi", di A. Di Bella, in "Progettare il Risanamento Acustico" - Ordine degli ingegneri della Provincia di Firenze - 2006]

Solo il 7% dei regolamenti analizzati contiene indicazioni tecnico-prestazionali corrette e dettagliate. In particolare vengono definiti dei requisiti cogenti e altri raccomandati che gli edifici devono soddisfare. Per ciascun requisito, inoltre, vengono precisate le esigenze da soddisfare, i campi di applicazione, i livelli di prestazioni previsti dal DPCM 5 dicembre 1997 ed i metodi di verifica. Nella maggior parte dei casi tali indicazioni sono basate sulle prescrizioni del regolamento edilizio tipo della regione Emilia Romagna, in cui vengono definiti i modi per verificare il requisito in sede progettuale (per ottenere il titolo abilitativo dell'intervento) e a lavori ultimati (per ottenere il certificato di conformità edilizia). Il 24% dei regolamenti adottati contiene dei semplici richiami alla legge nazionale per realizzare un idoneo isolamento acustico. Il 59% dei casi presenta riferimenti qualitativi, non circostanziati o motivati da un punto di vista tecnico, senza indicare i livelli di prestazione previsti dal DPCM 5 dicembre 1997 o indicando livelli diversi. Il restante 10% dei regolamenti adottati contiene solo riferimenti generici, ossia viene prescritto unicamente che negli edifici occorre garantire un idoneo isolamento acustico.

4.4.2 Regolamento edilizio: l'esperienza del Comune di Campi Bisenzio

La legge della Regione Toscana n. 1/2005 sul "Governo del territorio" dedica un'intero capo al problema della qualità edilizia, mettendo in campo un sistema di valutazione "requisiti/incentivi", che si avvale di schede tecniche presenti nelle linee guida per la "Valutazione della qualità energetica ed ambientale degli edifici in Toscana".

La nuova generazione di regolamenti edilizi, promossi da Regioni quali Toscana, Emilia Romagna e

Lombardia, pone come proprio obiettivo la qualità edilizia, individuando a tal proposito un apposito sistema tecnico-normativo: in tutte le fasi dell'intervento (progettazione, realizzazione, certificazione dell'abitabilità e di utilizzo degli edifici) si individuano i principali requisiti delle costruzioni e degli spazi al fine di specificare le loro prestazioni e di definire i sistemi di verifica delle opere.

In altri termini, la qualità edilizia di un fabbricato si sostanzia in una sorta di carta di identità e libretto di garanzia dell'edificio, anticipazione di quello che sarà la certificazione energetica degli edifici.

La nuova struttura di Regolamento Edilizio prevede due parti autonome e complementari: la prima, normativa, costituisce il regolamento vero e proprio, mentre la seconda, tecnico-prestazionale, costituisce un supporto alla prima e contiene tutti gli elementi, specifici per ogni aspetto sia tecnico che amministrativo, necessari ai professionisti per una migliore impostazione del progetto e per un approccio puntuale e mirato verso le tematiche dello sviluppo sostenibile. In quest'ultima parte i requisiti e le relative prestazioni delle opere di trasformazione del territorio sono raggiunti attraverso livelli di qualità cogenti e facoltativi, a seconda del tipo di intervento, della destinazione d'uso, del livello d'uso degli spazi e delle varie componenti tecnologiche del sistema edilizio. Il rispetto dei requisiti facoltativi, qualificati come parametri aggiuntivi al livello minimo di qualità richiesto, può dare luogo a premi incentivanti, che possono tradursi in premi volumetrici o scomputo di oneri.

Nel Regolamento del Comune di Campi Bisenzio, i requisiti sono stati raggruppati nelle seguenti classi:

- requisiti spaziali,
- requisiti di confort e qualità dell'ambiente interno,
- dotazione di impianti,
- qualità e compatibilità ambientale.

La problematica del rumore viene affrontata nella progettazione partendo dall'analisi del sito (livelli di rumorosità presenti, livelli attesi e attività compatibili) e individuando successivamente i requisiti acustici e le prestazioni dell'opera edilizia in relazione alla destinazione d'uso urbanistica, alla tipologia di intervento ed al tipo di attività. Il ciclo si chiude con la verifica sulle prestazioni e la certificazione ed il collaudo delle opere, sulla base dei requisiti individuati in fase di progettazione.

4.5 La gestione del rumore nelle città metropolitane

Il permanere di una certa distanza tra quanto previsto in teoria dal legislatore e quanto messo in pratica dagli enti a questo preposto è testimoniato dalla situazione che si riscontra nelle città metropolitane, così come emerge da uno studio condotto da APAT nel corso del 2006. Infatti, pur essendoci tra esse esempi di amministrazioni attente alle problematiche dell'inquinamento acustico, si nota una generale difficoltà nell'applicazione delle norme: se la maggior parte (8 su 14) ha adottato il Piano comunale di classificazione acustica, solo 2 amministrazioni hanno stilato il Piano comunale di risanamento acustico e 3 hanno provveduto a redigere la Relazione biennale sullo stato acustico (vedi tabella 4.4).

Tabella 4.4
Stato di attuazione della
legislazione nelle città
metropolitane

Città	Piano comunale di classificazione acustica	Piano comunale di risanamento acustico	Relazione biennale sullo stato acustico
Bari	-	-	-
Bologna	Si (1999)	si (1999)	- (a3)
Cagliari	Si (1994)	-	-
Catania	-	-	-
Firenze	Si (2004)	si (2004)	si (2004) (a2)
Genova	Si (2000)	-	-
Messina	Si (2001)	-	-

Città	Piano comunale di classificazione acustica	Piano comunale di risanamento acustico	Relazione biennale sullo stato acustico
Milano	- (a1)	-	- (a3)
Napoli	Sì (2001)	-	-
Palermo	-	-	-
Roma	Sì (2004)	-	-
Torino	- (a1)	-	-
Trieste	-	-	-
Venezia	Sì (2005)	-	-

Note:

(a1): il Comune ha approvato una bozza di Piano di classificazione acustica, che non risulta in vigore sul territorio;

(a2): anno dell'ultima relazione biennale prodotta;

(a3): lo stato acustico comunale viene presentato all'interno del Rapporto sullo Stato dell'Ambiente.

[fonte: "Qualità dell'Ambiente Urbano - Il rapporto APAT - Edizione 2005", di APAT - 2006]

Per conoscere in modo efficace un fenomeno complesso come è il rumore ambientale urbano (caratterizzato da una notevole variabilità nel tempo e nello spazio, per la molteplicità di sorgenti, le diverse modalità di funzionamento delle stesse, la presenza di edifici, ecc.) risulta importante essere dotati di una buona rete di monitoraggio sul territorio. La realtà delle città metropolitane, in proposito, è articolata: accanto ad amministrazioni come quella di Bologna che sono dotate di un buon numero di centraline di monitoraggio, ci sono amministrazioni che per svolgere le misure si avvalgono della consulenza delle ARPA, ed altre che non dispongono di alcun sistema di monitoraggio del rumore (vedi tabella 4.5).

Tabella 4.5 Controllo dell'inquinamento acustico nelle città metropolitane

Città	Centraline di monitoraggio fisse [n.]	Centraline di monitoraggio mobili [n.]	Campagne di misura localizzate [anni]	Tipo di sorgente misurata	Mappatura acustica (b2)
Bari	-	-	-	-	-
Bologna	12	5	2000-2003	Ferrovioario - clima acustico	Sì (b3)
Cagliari	-	-	-	-	-
Catania	8	-	2002	Clima acustico urbano	Sì
Firenze	(b1)	(b1)	1996-2003	Stradale - ferroviario - aeroportuale	(b4)
Genova	2	1	-	-	Sì
Messina	-	6	2001-2005	Stradale	-
Milano	-	2	1991-2003	Stradale - ferroviario	-
Napoli	7	2	2001-2003	Clima acustico urbano	-
Palermo	7	-	-	-	-
Roma	-	6	2000-2005	Clima acustico urbano	-
Torino	(b1)	(b1)	2001-2005	Stradale - clima acustico	-
Trieste	-	(b1)	1996, 1999	Clima acustico urbano	Sì
Venezia	-	(b1)	2000-2005	Stradale - ferroviario - industriale - clima acustico	-

Note:

(b1): la municipalità utilizza le centraline dell'ARPA o consulenze esterne;

(b2): mappa dei livelli sonori urbani prodotta tramite l'abbinamento dei dati di monitoraggio ai modelli revisionali;

(b3): la mappatura non è aggiornata ai dati di monitoraggio;

(b4): una stima dei valori di livello sonoro a bordo strada per ogni via/piazza della città è stata realizzata da ARPAT

[fonte: "Qualità dell'Ambiente Urbano - Il rapporto APAT - Edizione 2005", di APAT - 2006]

Nella colonna "Mappatura acustica" della tabella 4.5, vengono indicate le Amministrazioni comunali che hanno implementato mappature acustiche, intese come descrizione dinamica e georeferenziata dei livelli sonori e ottenute attraverso un'attività di raccolta di dati che soddisfi certi requisiti, come l'utilizzo di metodologie confrontabili a distanza di tempo.

Nel recente D. Lgs. n. 194/2005 viene dato peso rilevante al coinvolgimento della popolazione interessata, considerata non solo come utente a cui nella fase finale comunicare scelte già

intraprese ma come elemento chiave da coinvolgere nell'intero processo per la risoluzione sostenibile delle problematiche acustiche. Questo approccio partecipativo si attua veicolando le informazioni in diversi modi: via internet, attraverso opuscoli informativi, organizzando campagne di sensibilizzazione. Di questi, l'ultima modalità è quella che permette un maggiore feedback e pertanto un maggiore coinvolgimento dei soggetti interessati.

Tra le città metropolitane, quasi tutti i Comuni divulgano nei loro siti internet le mappe di classificazione acustica, fornendo al contempo cenni di legislazione, ma pochi svolgono vere e proprie campagne di sensibilizzazione.

Tabella 4.6
Comunicazione ai cittadini nelle Città metropolitane
[fonte: "Qualità dell'Ambiente Urbano - Il rapporto APAT - Edizione 2005", di APAT - 2006]

Città	Sito internet		Campagne di sensibilizzazione
	Mappa della classificazione acustica	Cenni di legislazione o regolamenti sul rumore	
Bari	-	-	
Bologna	X	X	-
Cagliari	-	-	
Catania	-	-	
Firenze	X	X	Incontri di presentazione al pubblico della Zonizzazione
Genova	-	X	-
Messina	X	X	
Milano	-	X	"Il silenzio è musica" (1996-1998)
Napoli	X	X	2001-2002
Palermo	-	X	
Roma	X	X	Interventi didattici negli istituti secondari
Torino	X	-	-
Trieste	-	X	-
Venezia	X	X	"Zonizzazione acustica: adempimenti delle imprese" (2005)

4.6 Scenari futuri: i Piani d'azione

Come è stato già illustrato nel capitolo 3, il D. Lgs. n° 194/2005, recepimento della direttiva 2002/49/CE, introduce importanti novità nel panorama della gestione dell'inquinamento acustico, prevedendo una serie di strumenti operativi che è necessario armonizzare con quelli già previsti dalla normativa precedente.

In particolare, il recepimento dei Piani d'azione pone una serie di problematiche di tipo tecnico, giuridico e amministrativo (il nodo centrale è rappresentato dal loro rapporto con i Piani comunali di risanamento acustico), ma al contempo rappresenta un'ottima opportunità per rivedere ed armonizzare i diversi dettati legislativi in materia. Appare stridente, infatti, con l'impostazione della direttiva il criterio di redazione dei Piani ai sensi del DM 29.11.2000, secondo cui questi devono realizzare in una sola volta l'eliminazione dei superamenti dei limiti. Tale approccio è ben lungi dal più moderno criterio di progressivo miglioramento per piani successivi, che dà forma alla logica della pianificazione e del miglioramento continuo, anziché a quella del comando-controllo.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche e i contenuti minimi che dovranno essere previsti all'interno di un Piano d'azione, per poi procedere ad un confronto tra esso ed il Piano di risanamento acustico.

I Piani d'azione

Le misure previste nei Piani d'azione sono a discrezione delle autorità competenti, ma riguardano in particolare le priorità che possono essere individuate sulla base del superamento dei valori limite pertinenti o di altri criteri scelti dagli Stati membri, e sono applicate in particolare alle zone

più importanti in base alla mappatura acustica strategica. I Piani sono riesaminati e rielaborati in funzione della necessità ogniqualvolta sviluppi sostanziali si ripercuotano sulla situazione acustica esistente e, comunque, almeno ogni 5 anni dalla prima adozione e deve essere prevista la consultazione e la partecipazione del pubblico sia in fase di preparazione che di riesame dei suddetti piani.

I contenuti minimi del Piano di azione sono i seguenti:

- una descrizione dell'agglomerato, degli assi stradali, delle linee ferroviarie, degli aeroporti principali e delle altre sorgenti di rumore da prendere in considerazione;
- l'autorità competente;
- il contesto giuridico;
- qualsiasi valore limite in vigore;
- una sintesi dei risultati della mappatura acustica;
- una valutazione del numero stimato di persone esposte al rumore, l'individuazione dei problemi e delle situazioni da migliorare;
- un resoconto delle consultazioni pubbliche organizzate;
- le misure antirumore già in atto e i progetti in preparazione;
- gli interventi pianificati dalle Autorità competenti per i successivi 5 anni, comprese le misure volte alla conservazione delle aree silenziose;
- la strategia di lungo termine;
- le informazioni di carattere finanziario, se disponibili (fondi stanziati, analisi costi-efficacia, analisi costi-benefici);
- disposizioni per la valutazione dell'attuazione e dei risultati del Piano d'azione.

Gli interventi pianificati dalle Autorità nell'ambito delle proprie competenze possono comprendere: pianificazione del traffico, pianificazione territoriale, accorgimenti tecnici a livello delle sorgenti, scelta delle sorgenti più silenziose, riduzione della trasmissione del suono, misure di regolamentazione, misure economiche o incentivi.

I Piani d'azione, inoltre, devono contenere stime in termini di riduzione del numero di persone esposte (fastidio, disturbi del sonno o altro) e sintesi dei Piani, non superiori alle 10 cartelle, devono essere trasmesse alla Commissione europea entro sei mesi dalla sua redazione.

È opportuno ricordare che l'applicabilità del decreto è dipendente da un atto della competente autorità regionale o provinciale che definisca da un lato gli agglomerati urbani presenti nel proprio territorio e dall'altro l'organo deputato alla redazione delle mappature acustiche e dei Piani d'azione.

Il rapporto tra Piani d'azione e Piani di risanamento acustico

La domanda chiave relativa alla natura del rapporto tra Piani d'azione previsti dal D. Lgs. n° 194/2005 e Piani di risanamento acustico previsti dalla L. n. 447/1995 si può così riassumere: i primi integrano o sostituiscono i secondi?

Se prevalesse l'interpretazione della sostituzione, verrebbe in primo luogo limitato l'impatto della nuova normativa sul contenimento del rumore nei centri abitati. Infatti secondo quanto stabilito dalla Legge Quadro 447/1995, tutti i Comuni hanno l'obbligo di predisporre ed attuare un Piano di risanamento acustico, a seguito dell'adozione del Piano di classificazione acustica, qualora sia verificato il superamento dei valori di attenzione e/o sia presente il contatto di aree con valori limite che differiscano più di 5 dB(A). secondo la Direttiva, invece, i Piani d'azione sono limitati unicamente ai principali agglomerati urbani, con una popolazione superiore alle 100.000 unità. Le differenze tra i soggetti che devono adempiere alla redazione dei due Piani sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 4.7
Soggetti tenuti alla
redazione del Piano
d'azione e del Piano di
risanamento acustico

Soggetto		Piano di risanamento acustico (L. 447/1995)	Piano d'azione (D.Lgs. n. 194/2005)
Centri abitati	Comuni con popolazione < 100.000 abitanti	Tutti. Entro 12 mesi dall'adozione del Piano di classificazione acustica	Solo se compresi in un agglomerato urbano (>100.000 ab.) Tutti. Entro il 18 luglio 2013
	Comuni con popolazione tra 100.000 e 250.000 abitanti		Tutti. Entro il 18 luglio 2008
	Comuni con popolazione > 250.000 abitanti		
Infrastrutture stradali	Veicoli/anno < 3 mln	Tutte. Entro giugno 2007	Nessuna
	Veicoli/anno tra 3 e 6 mln		Tutte. Entro il 18 luglio 2013
	Veicoli/anno > 6 mln		Tutte. Entro il 18 luglio 2008
Infrastrutture ferroviarie	Convogli/anno < 30.000	Tutte. Entro febbraio 2004	Nessuna
	Convogli/anno tra 30.000 e 60.000		Tutte. Entro il 18 luglio 2013
	Convogli/anno > 60.000		Tutte. Entro il 18 luglio 2008
Aeroporti	Movimenti/anno < 50.000	Tutti. Entro 36 mesi dall'individuazione delle fasce di rispetto	Nessuno
	Movimenti/anno > 50.000		Tutti. Entro 18 luglio 2008

Un'ipotesi alternativa è che i Piani d'azione costituiscano uno strumento integrativo rispetto ai Piani di risanamento acustico: questi ultimi potrebbero in tal senso essere finalizzati a gestire e risolvere specifiche criticità di natura locale, definendosi come piani stralcio e costituendo uno strumento di base per i primi, che rappresentano uno strumento strategico e dinamico attraverso cui gli enti locali orientano le proprie politiche in campo ambientale, focalizzando l'attenzione sulle problematiche più rilevanti e maggiormente diffuse. Tale scenario, peraltro, risulta percorribile solo se entrambi i Piani si basano su criteri uniformi di acquisizione, analisi ed elaborazione dei dati.

5. Buone pratiche in ambiente esterno

5.1 Soluzioni adottate per ridurre il rumore

Gli interventi di risanamento dovrebbero essere effettuati secondo la seguente scala di priorità:

- a. direttamente sulla sorgente rumorosa (difesa attiva);
- b. lungo la via di propagazione del rumore dalla sorgente al recettore (difesa passiva);
- c. direttamente sul recettore (difesa passiva).

Nella pratica quotidiana, risulta più frequente la difesa passiva alla propagazione del rumore, in particolare con l'inserimento di schermi o barriere antirumore che sono oggi installate, sempre più frequentemente, in prossimità di strade, ferrovie o insediamenti industriali, a protezione di aree residenziali, aree protette e ricreative. Vi sono molti altri sistemi che consentono di ridurre il livello di pressione sonora; nelle pagine che seguono sono presentate alcune esperienze concrete realizzate per risanare il clima acustico e che possono costituire un valido riferimento sia per gli interventi di natura pubblica che, almeno in parte, per quelli privati.

5.2 Protezione passiva: barriere antirumore

Dal punto di vista acustico le barriere possono essere divise secondo le loro qualità in:

- fonoisolanti, quando l'energia dell'onda incidente viene principalmente riflessa dalla barriera;
- fonoassorbenti, quando l'energia dell'onda incidente viene riflessa e assorbita dalla barriera.

Il grado di protezione offerto da queste barriere, espresso in termini di potere fonoisolante R , risulta generalmente compreso fra i 10 e 15 dB(A).

In alcuni casi possono trovare impiego anche le cosiddette barriere naturali ovvero barriere costituite da alberi, cespugli, ecc. che costringono il rumore a percorsi complessi con conseguente dispersione di energia.

L'efficacia di tali barriere è strettamente legata al tipo di vegetazione scelta; ad esempio una piantumazione di specie a foglie sempreverdi consente caratteristiche di abbattimento costanti per tutto l'anno; tuttavia, l'abbattimento offerto da questo tipo di barriere è abbastanza contenuto, nell'ordine dei 5-6 dB(A), specie se si considera che tali valori sono conseguiti attraverso notevoli spessori, nell'ordine di qualche decina di metri, quindi, di fatto, difficilmente adottabili nei normali ambienti cittadini.

L'azione schermante di una barriera è generalmente espressa in dB, mediante la "perdita d'inserzione" IL , definita come la differenza tra i livelli di pressione sonora che si rilevano in una determinata posizione esposta al rumore prima e dopo l'installazione della barriera, con le medesime condizioni di rumore, del terreno ed atmosferiche.

$$IL = L_{pA(\text{anteoperam})} - L_{pA(\text{postoperam})} \text{ [dB(A)]}$$

L'efficacia della barriera dipende dalla forma oltreché dalle caratteristiche del materiale di cui è composta. In particolare, è influenzata da:

- **posizione:** per massimizzare l'effetto schermante di una barriera è opportuno tenerla il più vicino possibile alla sorgente sonora;
- **altezza:** deve essere tale da non permettere la visibilità della sorgente da parte dei ricettori;
- **lunghezza:** va valutata attentamente per ridurre il più possibile gli effetti di diffrazione laterale che producono una perdita di attenuazione;
- **spessore:** garantisce un miglioramento delle prestazioni acustiche, riducendo la quantità di energia diffratta che raggiunge il ricettore;
- **fonoisolamento:** deve essere tale da rendere trascurabile il contributo dell'energia trasmessa rispetto a quella diffratta; ciò avviene se questo contributo è di almeno 10 dB inferiore all'energia che raggiunge il ricettore per semplice diffrazione;
- **fonoassorbimento:** provoca un'ulteriore attenuazione della propagazione sonora. Le barriere fonoassorbenti sono generalmente impiegate per prevenire la riflessione del suono dalla parte opposta a quella in cui sono state installate;

- **effetto - cuneo:** dipende dall'angolo superiore delle sezioni cuneiformi (es. percorsi in trincea, colline in terra, ecc.); induce effetti negativi sul rumore percepito dal ricettore.

L'ottimizzazione delle barriere antirumore è ottenuta attraverso il dimensionamento, in termini di lunghezza, altezza e tipologia, effettuato mediante l'uso di appositi modelli di calcolo previsionale. Dal punto di vista esecutivo, quindi non strettamente acustico, le barriere antirumore possono essere classificate in due tipologie principali:

- le barriere a pannello, o **“artificiali”**, caratterizzate dall'esiguo spazio occupato in larghezza, dalla relativa leggerezza; il carattere artificiale dell'opera ne impone uno studio architettonico per consentire un corretto inserimento paesaggistico;
- le barriere a terrapieno, o **“naturali”**, che richiedono maggiore disponibilità di spazio, con un facile inserimento nel paesaggio naturale.

Il principale elemento costitutivo delle barriere artificiali è il pannello, composito o a lastra, sostenuto da una struttura portante, che trasmette al terreno o all'opera d'arte le sollecitazioni cui è sottoposta mediante opportune fondazioni o collegamenti.

Analogamente, le barriere naturali presentano un riempimento in terreno vegetale piantumato con essenze, sostenuto da una struttura portante, che trasmette al terreno le sollecitazioni cui è sottoposta mediante opportune fondazioni. Questo secondo tipo di barriere necessita anche di un impianto d'irrigazione.

5.2.1 Le barriere antirumore artificiali

Pannelli

Le tipologie di pannello principalmente utilizzate negli ultimi anni sono le seguenti:

- **pannelli in lamiera metallica di alluminio**, protetti esternamente ed internamente a tutti gli effetti contro la corrosione, mediante verniciatura in polvere poliestere di spessore minimo di 60 µm per le facciate esposte e 30 µm per le facciate interne dei pannelli, con superficie forata rivolta verso la sorgente di rumore, contenenti materiale fonoassorbente, generalmente costituito da uno strato di fibre minerali o di vetro ad alta densità, protetto sul lato della foratura con tessuti idrorepellenti.

Questo tipo di pannello presenta buone caratteristiche per quanto riguarda la leggerezza, le proprietà fonoassorbenti ed il costo; la scelta dell'alluminio garantisce dalla corrosione, tuttavia l'insorgere di questo fenomeno può essere causato da errori progettuali dei pannelli (presenza di gole con impossibilità di deflusso dell'acqua) o da trattamenti superficiali non adeguati.

- **Pannelli in legno**, di spessore minimo totale pari a 12 cm, realizzati in legno di ottima qualità, trattato con procedimenti speciali di impregnazione con sali organici. Il materiale fonoassorbente interno al pannello, in due strati generalmente da 50 e 30 mm, è costituito da uno strato di fibre minerali o di vetro ad alta densità e deve essere protetto da un telo silconico a grossa trama verso la sorgente del rumore.

La parte del pannello rivolta verso la sorgente del rumore è decorata con griglia in legno, secondo la forma definita in progetto, mentre la superficie posteriore è costituita da tavole accoppiate ad incastro di spessore minimo pari a 2 cm. A finitura dei pannelli in testa è previsto un corrente in legno, sporgente almeno 4 cm dal pannello.

Le caratteristiche di tale pannello consentono un ottimo inserimento ambientale in particolari contesti paesaggistici; qualche problema permane per quanto riguarda la componente di rumore riflessa e la durabilità degli elementi in ambiente stradale particolarmente aggressivo, quale quello alpino. I costi risultano medio-alti.

Un'evoluzione di questo prodotto è rappresentata da una soluzione che integra le caratteristiche dei **pannelli in alluminio con quelle dei pannelli in legno**; in sintesi la parte rivolta ai ricettori resta quella dei pannelli in legno, mentre la parte a listelli rivolta verso la sorgente è sostituita da

una lamiera grecata forata in alluminio; eliminando il carattere artigianale della parte listellata è più facile garantire l'uniformità della produzione, con maggiori garanzie di durabilità, incremento delle prestazioni acustiche e contenimento dei costi di produzione. Dal punto di vista estetico l'utente della strada non percepisce differenze significative, avendo una visione dinamica del manufatto, mentre resta garantita la visione statica dalla parte dei ricettori.

- **Pannelli a struttura portante in calcestruzzo armato e parte fonoassorbente in materiale alleggerito o poroso**, realizzati abbinando uno strato portante in calcestruzzo armato di spessore dell'ordine di 10 cm ad uno strato rivolto verso la sorgente di rumore con caratteristiche fonoassorbenti garantite dalla forma e dalla natura dei materiali impiegati (argilla espansa, pomice, porous beton, cemento legno).
- **Pannelli in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa**, realizzati assemblando piastre modulari di dimensioni in genere 500x500 mm e spessore 150 mm (modificabile in sede di produzione), con leganti ed additivi che consentono la realizzazione della particolare forma del manufatto, studiata in modo da aumentare le proprietà fonoassorbenti, già intrinseche all'argilla espansa. È possibile una produzione in vasta gamma di colorazioni, mediante additivi (ossidi) in fase di lavorazione dell'impasto.

Queste due tipologie di pannelli in calcestruzzo garantiscono ampiamente i requisiti minimi di fonoisolamento e raggiungono valori medi di fonoassorbimento incrementabili con lo studio della forma o di cavità risonanti.

La durabilità dei prodotti è garantita da una corretta esecuzione dell'attacco tra strato portante e strato alleggerito e, nel caso dell'argilla espansa, da una scelta corretta della granulometria e dal legante impiegato al fine di evitare disgregazione e rotture per effetto del gelo-disgelo. Gli svantaggi sono determinati dal peso di tali piastre, che necessitano di una struttura di supporto posteriore, con occupazione di spazio in larghezza. I costi risultano medi.

- **Lastre trasparenti in polimetilmetacrilato**, realizzate con materiale non rigenerato, dello spessore minimo consigliato di 20 mm, con caratteristiche tecniche particolari per quanto riguarda la trasparenza e la resistenza meccanica. La trasmittanza totale, ossia la percentuale di luce incidente che attraversa la lastra è superiore al 90%.

Anche in questo caso è possibile aggiungere degli additivi in fase di lavorazione, con conseguente colorazione delle lastre trasparenti. Il pregio maggiore di questi pannelli è, appunto, la trasparenza, apprezzabile sia dal punto di vista paesaggistico che dal punto di vista della sicurezza (visibilità e riduzione del rischio-gelo sulla sede stradale). Un limite nella loro applicazione è rappresentato dalla mancanza di proprietà fonoassorbenti e, di conseguenza, l'elevata componente di rumore riflessa può comportare problemi in ambienti acusticamente complessi. La manutenzione di queste lastre trova ancora oggi un ostacolo nell'assenza di solventi idonei all'eliminazione dei graffiti.

Altri pannelli sono attualmente in fase di sperimentazione; ad esempio in Autostrada del Brennero sono stati installati dei campioni dei seguenti pannelli:

- **pannelli trasparenti risonanti in policarbonato**, costituiti da una lastra trasparente opportunamente forata, orientata verso la sorgente di rumore, contrapposta ad una lastra trasparente piena fonoisolante; le lastre sono protette ai raggi UV su entrambi i lati. Tra le due lastre è prevista un'intercapedine d'aria; le due lastre sono scatolate in un profilo di alluminio anodizzato, provvisto di opportune guarnizioni perimetrali, che consente la veloce messa in opera dell'intero pannello. Tale pannello presenta buone caratteristiche acustiche sia di fonoassorbimento sia di fonoisolamento, oltre alle ottime caratteristiche fisiche e meccaniche del policarbonato (trasparenza, leggerezza, lavorabilità, resistenza meccanica, chimica e resistenza agli urti). Il prezzo risulta abbastanza alto, ma si ritiene giustificato nel caso di installazioni in cui sia necessario garantire sia la trasparenza sia la fonoassorbenza.

- **Pannelli in legno a membrana in lamina di acciaio**, con proprietà sia fonoassorbenti che fonoisolanti; all'interno del pannello è previsto un sistema a membrana per l'isolamento acustico delle basse frequenze principalmente prodotte dal traffico pesante, consistente in una lamina di acciaio Fe360 zincato, di spessore totale pari a 0.8 mm, vincolata a dei supporti elastici antivibranti in gomma. La lamina in acciaio separa due strati di materiale fonoassorbente in fibre minerali o di vetro ad alta densità, da 50 e 20 mm di spessore, interni al pannello, protetti da un telo siliconico a grossa trama verso la sorgente del rumore. Per il resto il pannello è composto in maniera del tutto analoga ai pannelli in legno tradizionali. Anche in questo caso il miglioramento delle proprietà acustiche è correlato ad un aumento del costo di produzione, non tanto nei materiali utilizzati (la maggior parte del costo è comunque nel legno), quanto nella composizione del pannello.

Struttura portante

Attualmente, i principali enti gestori di infrastrutture stradali prescrivono che la struttura portante per il sostegno dei pannelli antirumore sia soprattutto in acciaio zincato e verniciato. Sono considerati anche altri tipi di montanti (in calcestruzzo armato o in legno), ma utilizzati in minore quantità ed in situazioni particolari.

Montanti e accessori metallici, quindi, sono in acciaio Fe360B (secondo UNI EN 10025), zincato a caldo come da progetto di norma UNI E14.07.000.0, per uno spessore non inferiore a 80 µm, previo ciclo di sabbiatura fine SA 2½ oppure trattamento di decapaggio chimico. Inoltre è previsto un ulteriore trattamento di verniciatura a polveri termoindurenti delle superfici dopo la zincatura, previo trattamento per migliorare l'aderenza. Lo spessore minimo locale della protezione, compreso lo spessore della zincatura, è pari ad almeno 150 µm.

Analogamente sono zincati a caldo i collegamenti mediante bulloni, dadi e tirafondi, le piastre e le contro-piastre. Per quanto riguarda la posa, i tirafondi sono posizionati ed inglobati nel getto delle fondazioni utilizzando opportune dime per il mantenimento della corretta interdistanza fra montante e montante.

I montanti sono posati in perfetto allineamento, sia planimetrico sia altimetrico, tenendo conto dell'effettivo andamento della struttura di supporto. La piastra di base risulta in un primo momento rialzata rispetto al cordolo/fondazione sottostante, al fine di realizzare, una volta fatta la correzione altimetrica del montante, un getto di completamento in calcestruzzo espansivo, opportunamente contenuto entro casseri metallici.

Trasmissione dei carichi

In fase di valutazione dei costi, nelle attività di pianificazione degli interventi, risulta particolarmente importante tenere conto dell'incidenza delle fondazioni o dei collegamenti ai cordoli, nel caso di barriera su opera d'arte.

Infatti, in base all'esperienza maturata, su barriere di media altezza (H=3,00 m) risulta che la fondazione incide sul totale del costo dei lavori nelle seguenti proporzioni:

- fondazione diretta 30%;
- fondazione su pali a grande diametro 35%;
- fondazione su micropali 40%;
- collegamento con rifacimento dei cordoli di viadotto 50%.

Occorre quindi che sia valutata attentamente la convenienza e l'opportunità di un tipo di fondazione rispetto all'altro, considerando in particolare le caratteristiche del terreno, l'altezza della barriera e l'occupazione della sede stradale durante le attività di cantiere.

In particolare, è consigliabile l'utilizzo di fondazioni dirette per barriere medio-basse (fino a circa 3.50 m), prevedendo pali a grande diametro (800 mm) solo per barriere di altezza elevata ed

in terreni adeguati, in considerazione delle difficoltà esecutive e dell'ingombro delle attività di cantiere relative a tali pali. In alternativa, si può utilizzare anche la tecnologia dei micropali, in forte evoluzione negli ultimi anni, più costosa ma di agevole esecuzione, nonché interessante dal punto di vista dell'impatto sulla viabilità.

Nel caso, invece, di intervento su opera d'arte, si deve sempre considerare la necessità di rinforzare la struttura dei cordoli del viadotto o del muro di sostegno, generalmente non dimensionati all'epoca di costruzione per gli sforzi trasmessi da una barriera antirumore, nonché la necessità di ricostruire le parti esposte della stessa struttura, spesso fortemente degradate e corrose.

Tali considerazioni portano, di fatto, alla necessità di prevedere la costruzione delle eventuali barriere antirumore su opere d'arte all'interno dei programmi di risanamento e/o ricostruzione delle stesse opere. La costruzione di barriere antirumore su cordoli di opere d'arte, quindi, è generalmente effettuata contestualmente al rifacimento completo dei cordoli stessi, con rinforzo del collegamento dei cordoli all'impalcato, previa verifica della struttura dell'opera nel suo complesso.

5.2.2 Le barriere antirumore naturali

Le principali esperienze maturate su questo tipo di barriera antirumore riguardano la realizzazione di "biomuri", ottenuti con elementi portanti in legno, o in calcestruzzo, o in acciaio, predisposti per contenere essenze vegetali. Le piante in essi contenute sono generalmente scelte in base alle seguenti caratteristiche:

- patrimonio botanico locale;
- caratteristiche del terreno;
- latitudine;
- quota;
- contesto urbano.

Inoltre si cercherà di favorire l'uso di piante sempreverdi, ad alta densità fogliare, in totale assenza di agenti patogeni e a rapida crescita.

Più in particolare, la struttura di sostegno in legno è normalmente realizzata in legno duro di prima classe (DIN 68364), avente adeguate caratteristiche di resistenza sia alle sollecitazioni sia al deperimento organico. Tale struttura consiste in un assemblaggio trapezoidale di pali con una distanza reciproca di 1.5 m, opportunamente controventati.

Per altezze superiori ai 4.00 m le distanze dei sostegni sono diminuite, seguendo i normali criteri per il dimensionamento delle strutture in legno. I sostegni trapezoidali sono rinforzati con travi trasversali. A distanza di 25 m sono inserite delle controventature. Sono inoltre previste delle assi dello spessore minimo di 4 cm per il contenimento trasversale del terreno.

Tutta la viteria, la bulloneria, le barre filettate, gli ancoraggi al calcestruzzo, le piastre di contenimento al piede della barriera, sono in acciaio inox; i controventi longitudinali e trasversali possono essere in legno, dello stesso tipo di quello usato per la costruzione della barriera, oppure in acciaio zincato. Per le installazioni con "new jersey" alla base è prevista una scossalina di copertura del manufatto in acciaio inox, di spessore non inferiore a 8/10 di mm, opportunamente sagomata e ancorata al calcestruzzo in modo da consentirne le deformazioni termiche.

Il riempimento della barriera con terra vegetale è eseguito in più strati tramite mezzi meccanici dalla parte superiore. Secondo la qualità della terra è aggiunta sabbia o humus, previa fornitura di un'analisi chimica della terra usata in modo da verificare la compatibilità della stessa con le essenze da piantumare.

Per evitare degli abbassamenti la terra è costipata con acqua e lasciata sedimentare per almeno due mesi prima della messa a dimora delle piante. Sono, inoltre, necessari vari interventi per riempire gli eventuali abbassamenti della terra; eventuali vuoti sono eliminati muovendo adeguatamente la

terra e ricalzando la stessa anche all'interno dei singoli cassettini della barriera.

Il piede della barriera deve essere opportunamente ancorato alla fondazione in calcestruzzo o mediante la predisposizione di adeguati alloggi ricavati direttamente all'interno delle fondazioni o mediante la messa in opera di squadretta in acciaio inox di collegamento fra fondazione e montanti in legno, squadrette dotate di opportuni tasselli di ancoraggio.

Su tali barriere, infine, è previsto su entrambi i lati e sulla testa un adeguato impianto di irrigazione a goccia che garantisca acqua sufficiente nel periodo della crescita iniziale e nei periodi secchi. I principali pregi di tali tipi di barriera antirumore sono sicuramente le ottime caratteristiche acustiche e la possibilità di ottenere valide soluzioni di inserimento ambientale.

I limiti, invece, consistono soprattutto nella necessità di ampi spazi in larghezza (da 2 a 4 m) e di un attento e continuo programma di manutenzione, sia come sfalcio e cura delle piante, che come integrazione ed additivazione del terreno.

Per quanto riguarda infine i costi, occorre ricordare che, a fronte dell'elevata manutenzione, le barriere naturali generalmente non necessitano di opere di fondazione importanti. Globalmente, quindi, i costi sono da ritenersi medio-alti, e quindi concorrenziali, in considerazione delle notevoli prestazioni acustiche.

5.3 La progettazione di qualità

Dopo aver brevemente caratterizzato le principali tipologie di barriere antirumore presenti sul mercato ed in corso di sperimentazione, si intende ora affrontare un tema comune ad ogni tipologia nel suo insieme e ad ogni componente delle singole tipologie: la progettazione di qualità, nel senso di una progettazione che renda possibile una realizzazione a regola d'arte.

Ribadita l'assoluta necessità di uno studio acustico per garantire il raggiungimento degli obiettivi di bonifica, dal punto di vista "esecutivo" si sono individuati i principali argomenti che si ritiene possano caratterizzare una progettazione di qualità:

studio architettonico

- il dimensionamento e calcolo strutturale;
- la durabilità;
- la sicurezza;
- la manutenzione.

Di seguito sono proposti alcuni spunti conoscitivi su tali argomenti.

Studio architettonico

La fase di studio di inserimento sia ambientale sia architettonico è generalmente sotto-stimata sia dai tecnici sia dai committenti di barriere antirumore. Per questo genere di opera, invece, si ritiene necessario uno studio di impatto ambientale già in fase di progettazione di massima, in modo da considerare sia gli impatti sull'ambiente, soprattutto come inserimento nel paesaggio, sia l'impatto sull'utente dell'infrastruttura stradale. Occorre da subito valutare gli effetti sulla popolazione, nel caso di barriere molto vicine ad abitazioni, nonché il disagio sugli automobilisti provocato da eventuali tratti di considerevole lunghezza senza visibilità sull'ambiente circostante, noto come "effetto-tunnel", nel caso di pannellature in fregio all'infrastruttura stradale.

Sia la geometria della barriera che lo studio dei materiali da utilizzare, quindi, dovrà considerare anche questo genere di problematiche, con l'attenzione, inoltre, ad una resa estetica gradevole dell'insieme.

Dimensionamento e calcolo strutturale

Per quanto riguarda l'analisi dei carichi la normativa EN 1794-1 e prEN 1794-2 costituisce il riferimento tecnico più autorevole, non esistendo attualmente in Italia altre indicazioni specifiche sull'argomento.

Fino a poco tempo fa l'analisi dei carichi è stata condotta riferendosi al D.M. 16 gennaio 1996 per quanto riguarda le azioni statiche: peso proprio, neve, vento (a cui è applicato anche un coefficiente dinamico per le vibrazioni strutturali) e variazioni termiche. Si è fatto riferimento, inoltre, al D.M. 4 maggio 1990 per gli effetti conseguenti ad azioni dinamiche quali lo spostamento d'aria di un veicolo in passaggio e l'urto di un veicolo in svio, estrapolando alcune considerazioni ivi contenute.

Ora, invece, la normativa europea citata definisce precisamente:

- a. il carico del vento, riferito comunque a mappature nazionali per la velocità di base del vento su cui calcolare la pressione;
- b. la pressione dinamica conseguente al passaggio dei veicoli, differenziata per velocità dei veicoli e distanza della barriera;
- c. il peso proprio degli elementi acustici, misurato a secco e bagnato;
- d. il peso proprio delle strutture.

Sono inoltre definite le deformazioni massime degli elementi soggetti a tali carichi, secondo determinate combinazioni di carico ed entro intervalli definiti di temperatura. La EN 1794-1 descrive infine delle specifiche per l'impatto di pietre sugli elementi acustici, nonché un carico neve dinamico, nel caso di operazioni di sgombraneve dalla sede stradale mediante frese.

Durabilità

Per quanto riguarda le **parti metalliche**, si è già accennato al problema della corrosione. Questo fenomeno è particolarmente accentuato in ambito stradale: i sali disgelanti sparsi sulle pavimentazioni, le nebbie, l'umidità, i cicli di gelo-disgelo intaccano il metallo, anche se protetto, e trovano "alimento" nell'ambiente acido determinato dai gas di scarico (ossidi ed anidride carbonica). Un'ulteriore accelerazione del fenomeno può derivare anche da contatti non previsti e non protetti fra materiali con potenziali elettrici diversi, e quindi con caratteristiche di resistenza alla corrosione diverse ("effetto pila", a scapito del materiale più nobile).

A tale problema si può ovviare in diversi modi, di seguito brevemente descritti.

- a. Zincatura dell'acciaio tradizionale (Fe360, Fe430, Fe510 secondo UNI EN 10025).

La zincatura è un procedimento complesso che deve essere eseguito con attenzione in tutte le sue parti e lo spessore minimo della zincatura risultante deve essere pari a 80 µm.

- b. Verniciatura dell'acciaio zincato.

Il trattamento duplex di verniciatura dopo la zincatura a caldo presenta soprattutto un vantaggio estetico, di incremento della durata della protezione. Lo spessore minimo della verniciatura risultante deve essere pari a 75 µm.

- c. Utilizzo delle leghe di alluminio.

Una valida alternativa all'acciaio zincato è sicuramente l'alluminio. Questo elemento, a seconda del tipo di lega utilizzato, può presentare ottime caratteristiche di resistenza alla corrosione e di resistenza meccanica. L'alluminio può essere utilizzato sia nei pannelli sia nella struttura, garantendo particolari caratteristiche di leggerezza e di resa estetica dei manufatti.

- d. Viteria e finiture.

La zincatura a caldo di piccoli elementi (raccordi, bulloni, dadi, rondelle) è molto delicata e si presta ad irregolarità esecutive (sia negli spessori sia nell'omogeneità del rivestimento) tali per cui, in alternativa, per zone particolarmente esposte, si consiglia l'uso dell'acciaio inossidabile, del tipo AISI 316L (X5CrNiMo17-12), resistente all'attacco di acidi e sali. Eventuali contatti fra materiali con potenziali elettrici diversi vanno sempre protetti con guarnizioni isolanti in gomma (rondelle, spessori, diaframmi).

Per quanto riguarda il **calcestruzzo** l'aspetto più importante della durabilità riguarda soprattutto le opere di fondazione e di collegamento delle barriere antirumore ai cordoli di manufatti.

Analogamente alle parti metalliche sopra considerate, la durabilità del calcestruzzo nelle opere

stradali è determinata dalla resistenza all'attacco combinato dei seguenti fattori:

- aggressione dei vari elementi strutturali (solette, cordoli, pile, pulvini) da parte delle acque provenienti dal piano viabile, spesso fortemente clorurate a causa del massiccio uso di sali disgelanti;
- carbonatazione dello strato corticale di calcestruzzo ("copriferro") dei vari elementi strutturali, conseguente alla reazione chimica fra cemento e anidride carbonica;
- cicli ripetuti di gelo e disgelo nelle possibili fessurazioni ed interstizi di strutture.

In fase di progettazione dei cordoli superficiali di fondazione o del rifacimento dei cordoli esistenti su opere d'arte, occorre prevedere l'utilizzo di materiali e tecnologie che garantiscano la durabilità del calcestruzzo armato in tale ambiente aggressivo.

Per quanto riguarda le **parti in legno** si riportano gli importanti spunti emersi all'interno del Comitato Tecnico europeo TC175 ("Qualità del legno e dei prodotti in legno"):

- esiste una relazione diretta tra la densità del legno e l'isolamento dal rumore, e quindi le essenze tropicali (di maggiore densità) sono ritenute più appropriate;
- l'attenzione all'ambiente ed ai costi implica che le essenze tropicali, che resistono bene a condizioni climatiche avverse, sono da preferire ad essenze che necessitano di trattamenti chimici;
- in tema di riciclaggio si deve considerare che sono da penalizzare i legni trattati chimicamente.

L'indirizzo dato dalle norme internazionali sembra andare verso una forte valorizzazione delle essenze tropicali. Si ritiene opportuno, però, chiedere una particolare attenzione ed un controllo continuo a tale attività, per non correre il rischio di un abuso di tali essenze, come è successo in passato, richiedendo il certificato di riforestazione in accompagnamento ad ogni fornitura di questo tipo di legno.

Per quanto riguarda gli aspetti più propriamente di capitolato, la struttura portante del pannello potrà essere richiesta in legno Azobé o Bongossi (*Lophira alata*), o comunque in essenza con le seguenti caratteristiche:

- resistenza alla compressione assiale: 1.050 kg/cmq;
- resistenza alla flessione: 2.250 kg/cmq;
- modulo di elasticità: 170.000 kg/cmq.

Altro legno consigliato per le strutture o le bordature è il Bois d'Or o Golden Teak (*Nauclea diderrichii*), anche se con caratteristiche leggermente inferiori all'Azobé. Invece, la schiena dei pannelli e i profili nella parte anteriore dovranno essere composti con un legno di elevato peso specifico (per il fonoisolamento), ma soprattutto con notevole valore di imputrescibilità e valenza estetica per l'inserimento ambientale.

A tale scopo il legno consigliato è il Mogano o Timbra (*Didelotia*), con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- resistenza alla compressione assiale: 480 kg/cmq;
- resistenza alla flessione: 980 kg/cmq;
- modulo di elasticità: 96.000 kg/cmq.

Allo scopo di mantenere integra nel tempo la colorazione naturale delle parti in legno, si può prevedere un ciclo di verniciatura trasparente oleosintetica superiore, usata nel settore degli alimentari, applicata a spruzzo.

In alternativa si potrà usare legno tradizionale, comunque di ottima qualità, come il larice o l'abete rosso, usato anche nella composizione del lamellare. Il legno dovrà essere resistente al deperimento organico, trattato con procedimenti speciali secondo le norme DIN 68800 per evitare la formazione di funghi. In particolare il legno sarà sottoposto all'impregnazione di sali inorganici indilavabili tipo CB preservanti in autoclave in pressione con procedimento Bethell UNI 8859, seguendo le indicazioni delle proposte di normativa CEE (G.U. CEE d.d. 24.6.1992 n° 92/C157/05) al riguardo del contenuto di benzo-pirene e di fenoli estraibili in acqua.

Per le **barriere trasparenti** i materiali principali utilizzati in questo settore sono: il vetro stratificato o armato, il metacrilato e il policarbonato. I parametri di durabilità da considerare in questo caso si riferiscono al mantenimento nel tempo delle caratteristiche di trasparenza e di purezza superficiale, sia come ingiallimento conseguente alle radiazioni ultra-violette, sia come possibilità di graffiature conseguenti a ghiaio o sassi scagliati dai veicoli in transito.

Qualsiasi produttore può allegare alle diverse forniture le schede tecniche relative ai parametri di durabilità sopra riportati: occorre però verificare l'omogeneità dei diversi parametri e delle diverse modalità di prova proposte. La normativa tecnica internazionale già citata, EN 1794-1 e prEN 1794-2, prevede alcuni test standard per verificare la resistenza a piccoli urti e la trasparenza dei diversi materiali. In particolare, considera separatamente due tipi di trasparenza:

- la trasparenza per gli abitanti dietro la barriera antirumore, trasparenza "statica", importante per ragioni estetiche e psicologiche;
- la trasparenza per gli utenti della strada, trasparenza "dinamica", importante per la sicurezza stradale nelle intersezioni e nelle curve.

Altri parametri considerati sono la resistenza al fuoco ed il comportamento a rottura, come si descrive brevemente nel paragrafo relativo alla "sicurezza".

Estetica

Tra i requisiti richiesti ad una barriera antirumore vi sono senza dubbio anche quelli di carattere estetico e di contenimento dell'impatto visivo. A tal fine, risultano interessanti i materiali trasparenti plastici, quali il policarbonato, che possono essere micro-perforati ed assemblati in sistemi a più lastre con intercapedini d'aria, al fine di ottenere pannelli che coniughino proprietà fonoisolanti e fonoassorbenti con una buona trasparenza ottica.

Sicurezza

Il tema della sicurezza va sviluppato su tre livelli:

- sicurezza degli elementi e dei materiali;
- sicurezza nella costruzione;
- sicurezza nell'esercizio.

Al primo livello fanno riferimento le normative e prescrizioni tecniche sulle proprietà intrinseche dei materiali utilizzati: atossicità, riciclabilità, smaltimento. Soprattutto dal punto di vista della protezione ambientale, i materiali devono essere specificati sia nei loro componenti che negli elementi eventualmente prodotti dalla esposizione naturale all'ambiente e al fuoco.

Al secondo livello (sicurezza nella costruzione) fanno riferimento le normative nazionali ed internazionali sulla sicurezza nei cantieri, che devono essere tenute presenti all'atto della progettazione. Infatti, il Decreto Legislativo 494/96, in attuazione della direttiva 92/57/CEE, impone la redazione di un dettagliato Piano di Sicurezza già in fase di progettazione.

Modalità esecutive, attrezzature impiegate ed operai impegnati devono essere attentamente valutati dal progettista della barriera antirumore.

Infine, per quanto riguarda la sicurezza nell'esercizio, fa riferimento ancora la normativa europea prEN 1794-2, che specifica alcune prescrizioni in merito a:

- resistenza degli elementi al fuoco, indicando un test-tipo a tale riguardo;
- pericolo di caduta di parti di barriera in seguito a violenti urti;
- uscite di sicurezza;
- riflessione della luce e trasparenza.

In particolare, è apprezzabile lo sforzo in atto da parte di alcuni produttori per ovviare al pericolo di caduta di parti o frammenti di barriera in caso di urto, molto importante nelle installazioni su viadotti, ponti e comunque in prossimità di edifici privati.

Fino ad oggi tale pericolo era evitato ponendo sull'esterno della barriera dei pannelli di protezione costruiti con profilati zincati a caldo e rete elettrosaldata con maglia 50x50 mm e filo del diametro di 3 mm zincato.

Le nuove tipologie, invece, prevedono le seguenti possibilità:

- vincolo delle lastre mediante ganci di ancoraggio alla struttura in acciaio zincato o inox;
- lastre in metacrilato rinforzate all'interno con filamenti in poliammide da 2 mm di diametro, con funzioni di dissipatori e di collegamento dei frammenti in caso di rottura;
- lastre in policarbonato, infrangibili a qualsiasi urto, vincolate come sopra alla struttura portante.

Manutenzione

Una corretta progettazione esecutiva di una barriera antirumore deve considerare anche la necessità di manutenzione della stessa nel tempo. Occorre perciò tenere presente alcuni parametri, quali:

- l'accessibilità alla barriera e alle sue parti, anche in presenza di traffico;
- la modularità dei componenti della barriera, in modo da rendere possibili eventuali sostituzioni e comunque da garantire adeguate scorte di magazzino;
- la prevenzione, per quanto possibile, degli atti di vandalismo;
- le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria, classificate in un programma con indicazione del tipo di attività manutenzione, dell'ingombro previsto della sede stradale e del personale necessario.

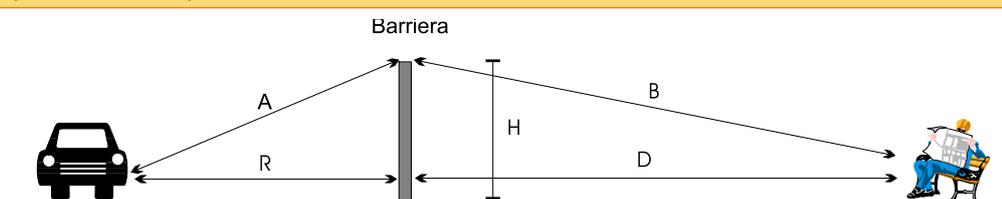
Traffico stradale / ferroviario	1
Barriere antitumore - schema geometrico	Generale

Tipo problema: Rumore da infrastrutture stradali e ferroviarie

Fonte: Autoveicoli o convogli in transito

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate a breve distanza dalla infrastruttura stradale e ferroviaria

Note: La soluzione proposta si può applicare a molteplici casi, non solo a quello schematizzato (auto - ricevitore)



Situazione geometrica di riferimento Sorgente-Barriera-Ricevitore

Soluzione: La presenza di barriere artificiali (muri, recinzioni, file di edifici, barriere specifiche) o naturali (rilievi di terreno, colline, ecc) consente la riduzione della pressione sonora che raggiunge l'osservatore. Particolarmente rilevante è l'effetto che si può ottenere con le barriere artificiali poiché sulla superficie rivolta verso la sorgente e soprattutto alla sommità della barriera stessa si possono impiegare accorgimenti fonoassorbenti. Di fatto la barriera si frappone tra la sorgente ed il ricevitore in maniera che le onde sonore raggiungono l'osservatore solo per diffrazione. Per una barriera rigida rettilinea interposta tra sorgente sonora puntiforme ed osservatore l'attenuazione che si ottiene è in funzione del numero di Fresnel di seguito indicato con N. L'attenuazione è molto efficace per elevati valori di N

$$N = \pm \frac{2}{\lambda} [(A + B) - (R + D)]$$

dove λ è la lunghezza d'onda del suono in metri, $(A+B)$ è il cammino più breve dell'onda sonora al di sopra della barriera, $(R+D)$ è la distanza in linea d'aria fra sorgente e osservatore. Una buona soluzione tecnica posta tra la sorgente ed il ricevitore introduce un'attenuazione di 10 - 15 dB sul livello che si avrebbe senza ostacolo.

Commento: Dal punto di vista esecutivo le barriere antirumore possono essere classificate in due tipologie principali: le barriere a pannello, o "artificiali" e le barriere a terrapieno, o "naturali". Uno specifico approfondimento sulle due tipologie è stato riportato nelle pagine precedenti.

Costi indicativi: I costi delle barriere, per le quali è necessario uno specifico progetto, dipendono principalmente dalle dimensioni e dal materiale utilizzato. Il costo indicativo di una barriera di 3-4 metri di altezza è di circa 4/500 euro al metro lineare.

Traffico ferroviario/stradale	2
Barriere antirumore “artificiali” - tipo trasparente	Trentino

Tipo problema: Rumore prodotto da veicoli ferroviari

Fonte: Veicoli ferroviari

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti

Note: Per far fronte alla rumorosità prodotta dalla ferrovia del Brennero si è predisposto uno specifico progetto preliminare per il risanamento acustico della tratta trentina della suddetta linea ferroviaria. Il rumore prodotto dal transito di un convoglio ferroviario ha origine da diverse componenti:

- contatto ruota-rotaia: dipende dal peso assiale e dalle dimensioni delle ruote ed è presente sia sui locomotori sia sul materiale rimorchiato. L'intensità dei livelli di pressione sonora è legata alla velocità e ad altri fattori, fra i quali il più importante risulta essere lo stato di usura dei binari e delle ruote. Generalmente la variazione del livello sonoro è funzione della velocità.
- contatto pantografo-linea;
- motori di trazione: la rumorosità emessa è significativa solo alle basse velocità, come nei tratti di ingresso ed uscita dalle stazioni ferroviarie;
- apparecchiature ausiliarie di raffreddamento: sono poco influenti e avvertibili solo alle basse velocità, inferiori a 60 Km/h. Il rumore aerodinamico è generato dall'aria che scorre lungo la superficie del convoglio e dalle discontinuità del treno. Questo parametro risulta significativo per velocità generalmente superiori a 300 Km/h;
- rumore aerodinamico;
- eventi occasionali: fischi, frenate (sfregamento del sistema frenante sulla ruota), giunti di rotaia, scambi, ecc.



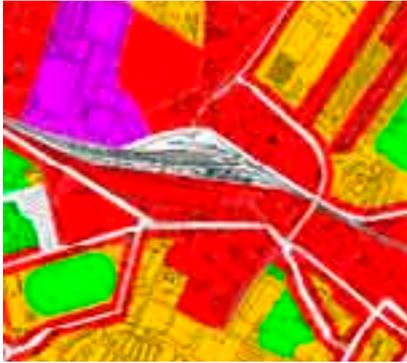
Le barriere antirumore offrono una buona protezione sui ricettori vicini alla sorgente sonora (distanze fino a 100-150 metri).

Soluzione: La tratta della ferrovia del Brennero, oggetto di studio, si sviluppa lungo la Valle dell'Adige e la Vallagarina per un totale di circa 73 chilometri. La ferrovia segue, con un percorso per lo più rettilineo, la Valle dell'Adige; il dislivello è di circa 84 metri, per una pendenza media dello 0,12 %. Il progetto ha previsto la realizzazione di circa 20 Km di barriere antirumore (il 28% della lunghezza complessiva della tratta trentina dalla ferrovia).

Commento: L'utilizzo di tali barriere ha permesso di ridurre il quantitativo di suolo occupato e contemporaneamente di ridurre l'impatto visivo e ambientale. L'attenuazione è dell'ordine di 12/13 dB.

Costi indicativi: Costo complessivo di circa 20 milioni di Euro, circa 1.000 euro al metro lineare.

Per approfondimenti: Provincia di Trento (Progetto coordinamento attività ferrovia del Brennero e intermodalità), Ferrovie dello Stato.

Traffico ferroviario/stradale	3
Barriere antirumore “artificiali” - soluzione in centro urbano	Modena
Tipo problema: Rumore prodotto dal transito di veicoli ferroviari all'interno del centro urbano	
Fonte: Veicoli ferroviari	
Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate nei pressi delle sorgenti	
Note: La linea ferroviaria Milano-Bologna attraversa il centro abitato di San Cataldo (Modena); lungo il suo percorso urbano esisteva il problema dell'assenza di spazi per l'inserimento di barriere naturali. La zonizzazione acustica classifica tutta l'area adiacente alla ferrovia per un'estensione di almeno 50 m per ciascun lato, come zona IV (zona ad intensa attività umana) rappresentata in rosso. Nella carta sottostante si identifica anche una zona in viola, classificata come zona V (zona prevalentemente industriale) e tutt'intorno siamo in presenza di zone residenziali e di tipo misto (III e II).	
 <p>Zonizzazione acustica</p>	 <p>Pannelli in polimetilmetacrilato</p>
Soluzione: Si è previsto il posizionamento di schermi in calcestruzzo con pannelli in polimetilmetacrilato lungo il tracciato urbano della linea ferroviaria. Il polimetilmetacrilato (PMMA) è un materiale termoplastico, dalle qualità simili al vetro: rigido, trasparente e con una buona resistenza alle intemperie e agli agenti chimici; è incolore e molto limpido e può essere colorato in un'ampia gamma di tinte e si presta così a tutti gli effetti di trasmissione o di diffusione della luce e del colore. Le lastre in PMMA possono essere lavorate o messe in forma secondo i più svariati procedimenti industriali, artigianali o artistici.	
Commento: La scelta di utilizzare tali pannelli ha risolto sia il problema della mancanza di spazio lungo i binari, che impediva l'utilizzo di barriere naturali, sia il problema di un eccessivo impatto ambientale e visivo. L'attenuazione ottenuta è dell'ordine di 12-15 dB.	
Costi indicativi: n.d.	
Per approfondimenti: Comune di Modena, Ferrovie dello Stato	

Traffico ferroviario/stradale	4
Barriere antirumore "artificiali" - soluzione con pannelli fonoisolanti	Brescia
Tipo problema: Rumore prodotto da veicoli ferroviari	
Fonte: Veicoli ferroviari	
Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti	
Note: -	
 <p style="text-align: center;">Linea ferroviaria di Brescia lato interno del pannello fonoisolante</p>	
<p>Soluzione: Lungo la linea ferroviaria di Brescia si sono utilizzati pannelli sandwich fonoisolanti, formati da una lamiera piana di acciaio sp.10/10mm, provvista di sagoma laterale che forma la battuta di tenuta tra i pannelli; sono presenti uno strato di lana minerale dello spessore di 80mm (densità 90kg/mc), uno strato di velo vetro protettivo e una lamiera protettiva d'acciaio microstirato 10/10 con foro di 6mm e con una percentuale di foratura superiore al 50%.</p>	
<p>Commento: Come si vede il potere fonoisolante dei pannelli raggiunge, per la frequenza di 1.000Hz, i 40 dB. La barriera acustica determina attenuazioni di circa 15-16 dB. In questa sede si è scelto di utilizzare i pannelli fonoassorbenti, sebbene questa sia solo una delle scelte possibili; si possono infatti scegliere anche pannelli riflettenti, risonanti, in legno, in cls, in alluminio riflettente e fonoassorbente con perforazione, in calcestruzzo alleggerito con finitura in argilla espansa o fibre mineralizzate di legno, barriere combinate costituite da "vasche" in cemento armato riempite con terreno vegetale ricco di humus tale da assicurare un buon attecchimento della vegetazione, etc.</p>	
<p>Costi indicativi: I costi delle barriere con pannello fonoassorbente variano a seconda dello spessore. Sono dell'ordine dei 200 euro al metro quadrato.</p>	
<p>Per approfondimenti: Aziende produttrici di pannelli, Ferrovie dello Stato, Comune di Brescia</p>	

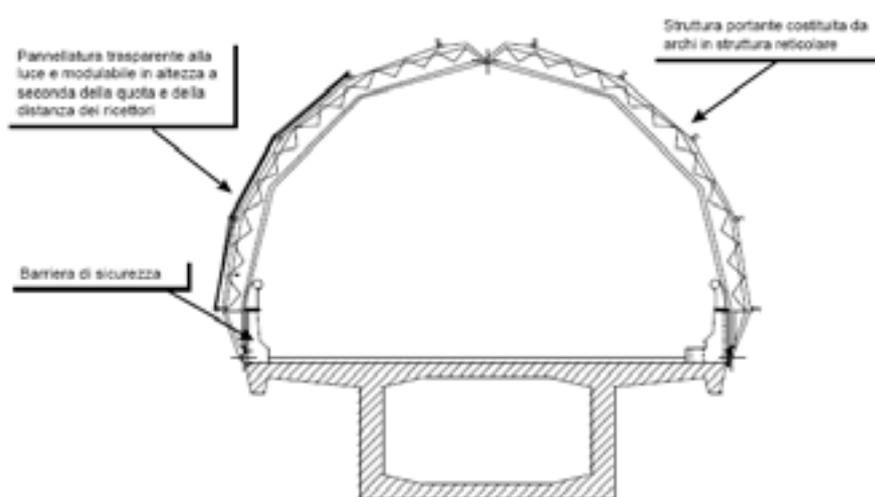
Traffico stradale/ferroviario	5
Barriere antirumore “artificiale” - soluzione a tunnel	Generale

Tipo problema: Risanamento acustico di aree a valenza paesaggistica

Fonte: Traffico, stradale o autostradale, su viadotto

Ricettore: Ricettori in ambiente situati a quota maggiore del piano stradale

Note: Per interventi di bonifica che non possono limitarsi alla posa di asfalto drenante e/o di barriere di ridotte dimensioni poiché la diversa quota dei ricettori sensibili, talvolta situati anche ad alcuni metri di dislivello rispetto al piano stradale.



Sezione di una struttura su viadotto

Soluzione: La soluzione progettuale è costituita dalla realizzazione di una barriera acustica formata da pannelli trasparenti alla luce solare sorretti da archi leggeri realizzati in struttura reticolare e permette di ottenere una mitigazione del rumore modulata su ognuno dei ricettori sensibili e favorire un corretto inserimento paesaggistico dell'opera.

Commento: Tale struttura presenta la possibilità di modulare l'altezza della pannellatura in corrispondenza di ricettori situati a quote diverse per raggiungere ovunque il necessario abbattimento del livello sonoro e comporre al contempo un motivo architettonico che favorisce l'inserimento dell'infrastruttura di trasporto nell'ambiente circostante. Tale struttura, inoltre, per le sue caratteristiche di leggerezza, non comporta una drastica revisione della progettazione strutturale dei viadotti, scarpate etc. sui quali essa viene applicata. Con questo intervento si ottengono risultati notevoli in termini di attenuazione, riconducendo aree compatibili con la classe V o VI ad una compatibilità con la classe III realizzando così una efficace riqualificazione dell'area.

Costi indicativi: n.d.

Per approfondimenti: Raffaele Pisani - Marco Gamarra, Studio di Ingegneria Acustica, Rivoli (TO)

Traffico stradale / ferroviario	6
Barriere antirumore "naturali" - in legno	Generale
<p>Tipo problema: Rumore da infrastrutture stradali/ferroviarie</p>	
<p>Fonte: Autoveicoli o convogli ferroviari in transito</p>	
<p>Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate a breve distanza dalla infrastruttura stradale</p>	
<p>Note: Le tipologie delle barriere acustiche devono essere scelte in base alle caratteristiche dei luoghi circostanti. La barriera acustica in legno si adatta perfettamente ad essere installata in aree caratterizzate da vegetazione, terreni coltivati, aree aperte o di elevato valore paesaggistico. Di seguito sono presentate 2 tipi di barriere in legno: a pannello e a riempimento in terra.</p>	
 <p data-bbox="491 1263 855 1321">Barriera in legno (lato fonoassorbente e lato interno)</p>	 <p data-bbox="943 1263 1433 1321">Schema di barriera in legno con riempimento in terra ed elemento prefabbricato in legno</p>
<p>Soluzione: La barriera antirumore formata da pannellature prefabbricate modulari realizzate in legno viene installata su struttura portante costituita da profili ad H in acciaio. I pannelli, inseriti ad incastro, sono delle strutture a sandwich formate generalmente da un telaio perimetrale a cui viene applicata nella parte posteriore un tavolato di almeno 20 mm accoppiato e nella parte anteriore una griglia in doghe di legno di almeno 25 mm. All'interno dei pannelli si inserisce un materassino di lana di roccia con densità di circa 100 kg/mc o altro materiale fonoassorbente. La parte anteriore è protetta da una rete siliconica a trama fine. Il pannello ha complessivamente spessori sui 13-15 centimetri e dimensioni massime di circa 3x3 metri. Il valore di fonoisolamento (R) di un pannello in legno come sopra descritto varia in funzione della frequenza, tra i 20 ed i 40 db.</p> <p>La barriera antirumore formata da muri cellulari è invece costituita da elementi prefabbricati in legno relativamente leggeri, di almeno 12 cm di spessore, da riempirsi con inerte graduato (ghiaia o pietrame di granulometria compresa tra 25 mm e 100mm). Non si richiedono particolari opere di fondazione e gli elementi risultano di facile posa e rapida esecuzione. L'ingombro di base varia in funzione dell'altezza. Gli elementi vegetali eventualmente piantumati richiedono irrigazione e manutenzione.</p>	
<p>Commento: Queste barriere mantengono inalterate nel tempo le loro prestazioni acustiche. La barriera a riempimento, pur essendo esteticamente apprezzabile, mostra qualche problema in relazione alla durata degli elementi, il rumore riflesso e i costi medio-alti</p>	
<p>Costi indicativi: Medio alti</p>	
<p>Per approfondimenti: Parte iniziale del capitolo o produttori di barriere</p>	

Traffico stradale/ferroviario	7
Barriere antirumore “seminaturali” - in terre rinforzate	Bologna
Tipo problema: Rumore da infrastrutture stradali/ferroviarie	
Fonte: Autoveicoli o convogli ferroviari in transito	
Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate a breve distanza dalla infrastruttura stradale	
Note: -	
 <p data-bbox="248 958 523 1016">Barriera in terre rinforzate con muri in sasso</p>	 <p data-bbox="660 1016 1133 1070">Terre rinforzate in via delle Armi (BO) lungo la linea ferroviaria Bologna-Firenze</p>
<p>Soluzione: Barriere antirumore che si configurano come vere e proprie opere architettoniche, necessitano di opportune indagini geotecniche per dimensionare correttamente le fondazioni. Una particolare tipologia di barriera a terre rinforzate può essere ottenuta costipando del terreno all'interno di muri di contenimento in sasso.</p> <p>Un caso interessante è stato realizzato a Bologna. Per proteggere un nuovo complesso residenziale nei pressi della linea ferroviaria direttissima Bologna-Firenze si è scelto di operare con il sistema di terre rinforzate. È stato necessario eseguire una barriera alta 5 metri e lunga 300 metri. L'attenuazione ottenuta è dell'ordine dei 15-18 dB.</p>	
<p>Commento: Le barriere acustiche devono adattarsi all'area in cui vengono montate. La sezione trasversale di barriere a terre rinforzate vanno da un minimo di 2 fino a 8-10 metri di larghezza, pertanto chiedono una discreta disponibilità di spazio. L'impatto visivo non risulta sempre di alto gradimento ma è possibile mascherare il lato interno con opportuni rivestimenti vegetali.</p>	
<p>Costi indicativi: Medio alti</p>	
<p>Per approfondimenti: Società Hydrogeo, Casalecchio di Reno (BO), Studi di ingegneria e geotecnica</p>	

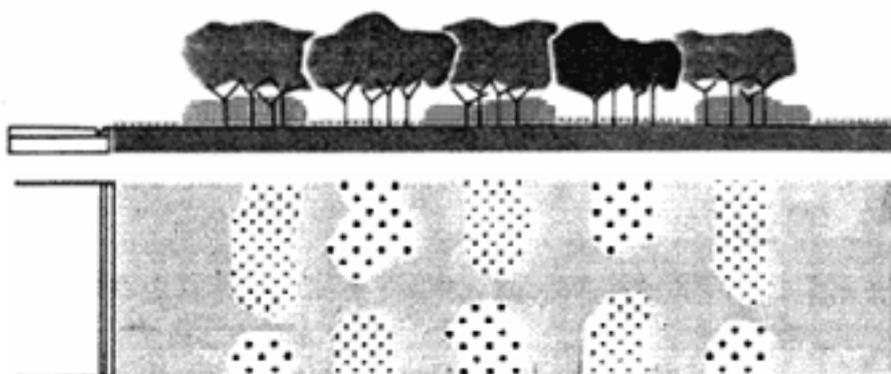
Traffico stradale/ferroviario	8
Barriere vegetali	Prato

Tipo problema: Rumore da infrastrutture stradali/ferroviarie

Fonte: Autoveicoli o convogli ferroviari in transito

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate a discreta distanza dalla infrastruttura stradale

Note: -



Schema barriera vegetale antirumore su morfologia piana

Soluzione: Per le barriere antirumore il profilo della vegetazione deve avere un andamento crescente dal margine verso l'interno e, dove possibile, la fascia centrale di vegetazione sempreverde deve essere impiantata su un terrapieno di 2-3 m in modo da offrire un maggiore schermo ai rumori. I sesti di impianto variano a seconda delle funzioni e delle specie introdotte. In particolare gli schemi evidenziano le barriere vegetali antirumore che si sviluppano con moduli di 42x10 m su file di 6 m e di 10 m, costituite da specie arboree di 1°, 2°, 3° grandezza e da specie arbustive.

specie di 1° grandezza	sesto di impianto (m)	specie di 2° e 3° grandezza	sesto di impianto (m)
<i>Quercus ilex</i>	2x2	<i>Taxus baccata</i>	1,50x1,50
<i>Carpinus betulus</i>	2x2	<i>Acer campestre</i>	1,50x1,50
<i>Cupressus sempervirens</i>	2x2	<i>Ulmus campestre</i>	1,50x1,50
<i>Tilia cordata</i>	2x2	<i>Carpinus betulus</i>	1,50x1,50

Sono inoltre da impiantare con un sesto di 0,50x0,50 le seguenti specie: *Viburnum tinus*, *Ligustrum vulgare*, *Juniperus communis*, *Phyllirea latifolia*, *Crataegus sp.*, *Quercus ilex*, *Laurus nobilis*, *Rhamnus alaternus*, *Spartium junceum*, *Rosmarinus officinalis*.

Commento: L'efficacia di tali barriere è strettamente legata al tipo di vegetazione scelta; ad esempio una piantumazione di specie a foglie sempreverdi consente caratteristiche di abbattimento costanti per tutto l'anno; tuttavia, l'abbattimento offerto da questo tipo di barriere è abbastanza contenuto, nell'ordine dei 5-6 dB(A), specie se si considera che tali valori sono conseguiti attraverso notevoli spessori, almeno 30 metri, quindi, di fatto, difficilmente adottabili nei normali ambienti cittadini.

Costi indicativi: Medio alti

Per approfondimenti: Comune di Prato, Guida agli spazi verdi.

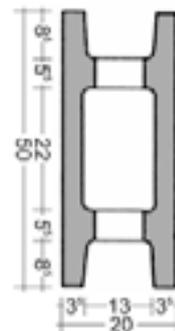
Traffico ferroviario	9
Blocchi a cassero in galleria	Vienna

Tipo problema: Rumore prodotto da veicoli ferroviari o simili in galleria

Fonte: Veicoli ferroviari

Ricettore: Utenti a bordo del mezzo di trasporto

Note: -



Metropolitana di Vienna isolata con blocchi ad alta densità

Soluzione: Si utilizzano blocchi a cassero in legno-cemento prodotti con trucioli di legno dolce e gli scarti provenienti dalla lavorazione del legno. Con un minimo di fabbisogno d'energia i trucioli e scarti sono sminuzzati, mescolati con i prodotti naturali: cemento, acqua e minerali per formare blocchi o pannelli. I blocchi utilizzati nel caso della metropolitana di Vienna per l'isolamento acustico sono ad alta densità ed utilizzati come rivestimento della galleria. Le caratteristiche di tali blocchi sono riportate di seguito.

Caratteristiche tecniche	
Spessore calcestruzzo (cm)	13 - 18
Assorbimento (db)	58 - 63
Peso del blocco (kg)	11 - 12
Peso della parete intonacata (kg/m ²)	375 - 490
Riempimento del fabbisogno cls (lt/m ²)	105 - 145
Numero blocchi/m ²	8

Commento: La modularità dell'elemento consente di seguire ogni profilo. Tempi di posa e manodopera da valutare.

Costi indicativi: n.d.

Per approfondimenti: Legnobloc srl, Agoiolo di Casalmaggiore (CR); Società di gestione del Metro di Vienna Wiener Linien / Wiener Stadtwerke - Verkehrsbetriebe (WVB) Erdbergstrasse 202, Vienna 1030

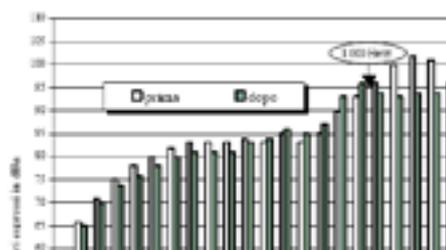
Traffico stradale	10
Asfalti fonoassorbenti	Generale

Tipo problema: Rumore prodotto da autoveicoli in movimento su strada

Fonte: Autoveicoli

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti

Note: Al crescere della velocità dei veicoli su strada aumenta la componente del rumore dovuta al rotolamento. Il rumore da rotolamento è dovuto essenzialmente ai seguenti fenomeni: rumori di shock dovuti al pneumatico che urta la strada a grande velocità; rumore che aumenta con l'irregolarità della superficie stradale. Il fenomeno dell'air-pumping: è la messa in vibrazione dell'aria vicina alla superficie del pneumatico sotto l'azione di deformazione del pneumatico stesso quando esso si avvicina al contatto con la strada o quando si allontana. Tali compressioni e rilasci dell'aria si traducono in emissione acustica ad alta frequenza. Il fenomeno dello "slip and stick": si ha quando il pneumatico entra in contatto con la sede stradale si deforma e si crea un'adesione tra la gomma e il granigliato, quasi assimilabile ad un effetto ventosa. In uscita dal contatto la gomma è sottoposta ad una successione di aderenze seguita da una rottura delle aderenze che spiega la generazione di rumore.



Confronto tra gli spettri prima e dopo l'intervento con asfalto fonoassorbente



Soluzione: L'asfalto di tipo tradizionale, chiuso in superficie, si comporta come una superficie riflettente con un basso valore assorbente. L'asfalto drenante-fonoassorbente, caratterizzato dalla sua natura "aperta" (è infatti caratterizzato da una granulometria media compresa tra i 6 e i 13 mm, ed è formato da miscele di bitume, con eventuali aggiunte di polimeri, fibre o polveri di gomma e materiali inerti ad alta resistenza come il ghiaietto) crea delle microcamere intercomunicanti tra loro, e si comporta come una superficie "spugnosa" avente un coefficiente di assorbimento acustico elevato, al di sopra dei 1.000 Hz. in valore assoluto. L'attenuazione dei fenomeni sopraelencati non è comunque di facile realizzazione poiché determinate soluzioni utili in un caso si dimostrano dannose nell'altro. Ad esempio, i rumori di shock sono dovuti alla trama del battistrada del pneumatico che urta sul granigliato della strada (inerti): più gli inerti sono grossi più il pneumatico sarà messo in vibrazione ed irradierà energia sonora. D'altro canto, la macro-tessitura del manto stradale diminuisce la generazione del rumore dovuto al fenomeno dello "slip and stick", rispetto a quanto riscontrato con un manto a debole macro-tessitura.

Commento: L'esperienza ha dimostrato che la porosità di un conglomerato bituminoso risulta avere un ruolo favorevole sull'assorbimento del rumore ma le caratteristiche di drenabilità e fonoassorbente della pavimentazione subiscono dei decadimenti nel corso degli anni, dovuti all'invecchiamento della superficie e alla rapida sporcabilità del manto per effetto della penetrazione del materiale e pulviscolo di varia natura. Questo provoca l'intasamento progressivo delle cavità dell'asfalto poroso, pregiudicando notevolmente la capacità fonoassorbente dello stesso. Si consideri che la componente del rumore di rotolamento diventa importante per velocità superiori ai 50 Km/h e quindi il trattamento con asfalto fonoassorbente acquista significato nelle strade a media-alta velocità; meno efficace si dimostra nelle strade urbane dove le velocità di transito medio sono molto contenute.

Costi indicativi: Indicativamente un asfalto drenante - fonoassorbente costa circa 4 volte di più rispetto ad uno tradizionale.

Per approfondimenti: Aziende produttrici di asfalti e conglomerati bituminosi, ARPA Emilia Romagna, Veneto, Liguria, Toscana, Valle d'Aosta, ANPA, APPA Bolzano, Trento, Regione Lombardia. Analisi dello stato delle pavimentazioni stradali attraverso il loro assorbimento acustico, Claudio Osele, A.P.I.C.E. s.r.l.

Traffico stradale	11
Asfalti fonoassorbenti-drenanti, a doppio strato, a matrice aperta	Modena / Stoccolma

Tipo problema: Rumorosità degli asfalti

Fonte: Autoveicoli in transito

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate a breve distanza dalla infrastruttura stradale

Note: -

Soluzione: Tra le esperienze pilota c'è da segnalare quella condotta nel 1996 dalla città di Modena; qui differenti tipi di asfalti a bassa rumorosità furono testati su Viale J. Barozzi; in particolare su tale strada urbana furono stesi su un tratto asfalto drenante fonoassorbente del tipo usato per le autostrade e su un altro tratto asfalto con graniglia di piccole dimensioni. In sede di verifica si è constatato che a bordo strada si evidenziarono, nel caso dell'asfalto drenante, una riduzione dei livelli sonori di circa 3 dBA che mostrò tuttavia una deriva nel tempo, che fu messa in relazione con il riempimento dei vuoti, tale per cui, ad un anno dalla stesura, la riduzione del rumore era divenuta trascurabile.

Più recentemente su un tratto di circa 500 m di Via Emilia Ovest e su Viale Tassoni, per una lunghezza pari a 670 m circa, l'asfalto tradizionale preesistente è stato sostituito con manto drenante fonoassorbente di nuova generazione di 4 cm di spessore realizzato con bitume modificato con polimero S.B.R. (stirene-butadiene) in ragione del 5,5 - 6,5 %. Il legante bituminoso è compreso tra il 4,5% ed il 5,0% riferito al peso totale degli aggregati. La percentuale dei vuoti sui provini Marshall è superiore al 18%. Rispetto al manto normalmente usato sulle autostrade presenta inerti di dimensioni minori. Il piano di posa è impermeabile ed il manto superficiale è perfettamente piano e privo di asperità in superficie. Il monitoraggio dei livelli sonori condotto sui due interventi di riasfaltatura mostra una buona efficacia in termini di riduzione dopo 15 mesi dalla posa. L'entità della riduzione, di circa 3 dBA riguarda sia il periodo diurno che quello notturno ma è quantificabile con certezza per il solo tratto della via Emilia, mentre risulta più incerto il beneficio ottenuto su Viale Tassoni. I tratti di strada sono stati sottoposti a lavaggio, ma non si sono rilevati benefici proprio perché l'asfalto aveva mantenuto pressoché inalterate le prestazioni.

Nuovi tipi di asfalto "a matrice aperta" sono in fase di sperimentazione in diverse località. Una sperimentazione svedese indica la possibilità di abbattere notevolmente il rumore dovuto allo scorrimento dei pneumatici con l'uso di asfalti di nuova generazione. Lo dimostra una ricerca che Skanska, una grande impresa svedese, che sta effettuando in Svezia una sperimentazione sul tratto di autostrada E18 tra Bro e Bålsta, alla periferia di Stoccolma. La struttura aperta dell'asfalto aumenta anche l'assorbimento dell'acqua, diminuendo il rischio di acquaplaning e di perdita di visibilità in caso di pioggia. L'asfalto viene posato lasciando lo strato sottostante con una matrice molto larga, che lascia fluire facilmente aria e acqua tra lo spazio lasciato tra i grani. Il rumore provocato dallo scorrimento dei pneumatici arriva spesso a 90dB, mentre con la nuova soluzione si riduce a 77dB, con un effetto che all'orecchio risulta di dimezzamento. Il progetto, condotto da Btp Skanska e dall'amministrazione delle strade (Vv), fa parte del programma europeo Silvia, che raggruppa 15 soggetti provenienti da 11 paesi.

Commento: Attualmente tali asfalti porosi trovano largo utilizzo sulle autostrade o sui tratti veloci delle grandi arterie extra-urbane come le autostrade A22, A1 e A14, mentre sono ancora scarsamente impiegati nei centri urbani dove le velocità delle auto sono notevolmente più basse e gli stessi effetti poco apprezzabili. Tale scarsità di utilizzo nei centri urbani è inoltre dovuta alla rapida sporcabilità di tali asfalti, per effetto della penetrazione di materiale corpuscolare di varia natura che provoca l'intasamento progressivo delle cavità dell'asfalto poroso pregiudicandone fortemente la capacità fonoassorbente. Recenti studi hanno dimostrato che per un manto di 4-5 cm di spessore, steso in ambito urbano, a fronte di una riduzione iniziale di 3-3.5 dBA, a bordo strada, rispetto ad un asfalto tradizionale, dopo circa un anno tale riduzione si annulla quasi completamente (0.5-0.7 dBA). Tale sporcabilità è dunque il principale fattore che riduce la vita utile dei conglomerati drenanti-fonoassorbenti in quanto il manto perde sensibilmente anche la sua conduttività idraulica. Per far fronte al problema del progressivo intasamento della porosità superficiale di uno strato di asfalto drenante, si sono realizzati i cosiddetti manti a doppio strato. Si tratta di manti costituiti da uno strato sottostante (3.5 ÷ 4 cm di spessore), composto da aggregati più grossolani di natura calcarea e da un secondo strato superiore (di norma 1.5 ÷ 2 cm) costituito da inerti più piccoli e di natura basaltica. Rispetto ai drenanti "monostrato", essi garantiscono una sorta di funzione "filtro"; in altre parole, la maggior parte delle particelle (polveri, usura dei pneumatici, ecc.) è trattenuta dallo strato superiore ed in questo caso le proprietà autopulenti dei veicoli sono migliorate anche a bassa velocità.

Il fatto che i due strati siano contraddistinti da una diversa granulometria degli inerti (4÷8 mm per lo strato superiore e 11÷16 mm per quello inferiore) permette una maggior capacità drenante e dunque consente di mantenere efficiente nel tempo la porosità anche in termini di dissipazione della energia sonora. Inoltre le pratiche di pulizia dei drenanti risultano molto più efficaci in quanto solo un piccolo strato in superficie risulta ostruirsi. Da esperienze condotte in altri paesi europei risulta che le prestazioni acustiche di tali asfalti si mantengono per 4-5 anni dalla posa; materiali e tecniche sono comunque in evoluzione con attesa di miglioramenti in tal senso.

Costi indicativi: La controindicazione dell'asfalto fonoassorbente è il costo, circa 4 volte maggiore di quello tradizionale.

Per approfondimenti: Aziende produttrici di asfalti e conglomerati bituminosi, Comune di Modena, Scuola di Acustica dell'Università di Ferrara, Comune di Firenze, Skanska, Stoccolma www.skanska.com

Traffico stradale	12
Moderazione della velocità - restringimenti alternativi ai dossi	Generale

Tipo problema: Rumore prodotto dal transito di autoveicoli su dossi rallentatori

Fonte: Autoveicoli che transitano su dossi rallentatori

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate nei pressi dei dossi

Note: Il codice della strada all'articolo 42 tratta i rallentatori di velocità. Tra le soluzioni ammesse vi sono anche i dossi artificiali. Essi sono possibili sulle strade dove vige un limite di velocità inferiore o uguale ai 50 km/h e posti in opera solo su strade residenziali, nei parchi pubblici e privati, nei residences, ecc.; possono essere installati in serie e devono essere presegnalati. Sono in produzione dossi di 3 diverse altezze: 3, 5 e 7 centimetri. Il dosso rallentatore è oggi il sistema più economico per ridurre la velocità e largamente usato da molte amministrazioni. Non sempre però si considera anche l'impatto sul clima acustico che esso produce poiché i dossi rallentatori producono una accelerazione verticale del mezzo con conseguente sollecitazione del gruppo ruote-ammortizzatori e relative emissioni sonore.



Dossi rallentatori su strada di un Comune del veronese



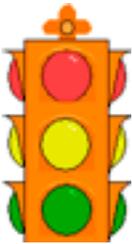
Restringimenti di carreggiata su strada cantonale a Sementina Svizzera

Soluzione: Per ottenere effetti di moderazione di traffico invece dei dossi rallentatori che producono rumore si possono realizzare dei restringimenti di carreggiata, accompagnata da adeguata segnaletica verticale ed orizzontale. La soluzione individuata nella foto utilizza degli spartitraffico realizzati con tratte di cordone sormontati da delineatori stradali e segnaletica verticale ed orizzontale di colorazione diversa. La soluzione consente di aumentare anche la sicurezza delle biciclette e di ridurre il tratto di attraversamento stradale dei pedoni.

Commento: Il rumore prodotto dai dossi viene completamente eliminato. Altre soluzioni di moderazione del traffico alternative ai dossi sono illustrate nelle schede che seguono.

Costi indicativi: costi minimi per la realizzazione, dell'ordine di alcune centinaia di euro. È importante però rinnovare la segnaletica orizzontale con una certa frequenza.

Per approfondimenti: Tecnici progettisti esperti di interventi di moderazione del traffico.

Traffico stradale	13
Moderazione della velocità - semafori intelligenti alternativi ai dossi	Milano
<p>Tipo problema: Rumore prodotto dal transito di autoveicoli su dossi rallentatori</p>	
<p>Fonte: Autoveicoli che transitano su dossi rallentatori</p>	
<p>Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate nei pressi dei dossi</p>	
<p>Note: Sono riportati altri possibili interventi di moderazione del traffico alternativi ai dossi rallentatori.</p>	
 <p data-bbox="493 981 683 1010">Semafori intelligenti</p>	 <p data-bbox="794 1021 1406 1050">Apparecchio che rileva la targa di chi passa col semaforo rosso</p>
<p>Soluzione: La Provincia di Milano ha deciso di installare semafori intelligenti per controllare la velocità dei veicoli sulle strade provinciali che attraversano centri abitati. Si tratta di semafori dotati di misuratore radar della velocità che fanno scattare il rosso quando gli automezzi in avvicinamento superano i limiti imposti dalla segnaletica.</p> <p>Il sistema è stato sperimentato sulla strada provinciale n. 28 nel Comune di Opera con risultati decisamente positivi: a fronte del sistematico superamento dei limiti che si registra in presenza di segnaletica tradizionale, pur integrata con pannelli di dimensioni notevoli, lampeggianti, ripetizione del segnale a terra, si è potuto osservare come il semaforo riesca a indurre nell'autista il rispetto dei limiti previsti. Oltre a garantire una maggiore sicurezza, il sistema ha anche il forte vantaggio di ridurre l'inquinamento acustico.</p> <p>Sono stati successivamente individuati 24 tratti di strade provinciali che per le loro caratteristiche di traffico e pericolosità richiederebbero l'installazione dei semafori intelligenti. Per ciascuno di tali tratti è prevista una coppia di semafori rispettivamente a ognuna delle due entrate del centro abitato. Gli interventi vengono realizzati previa sottoscrizione di un protocollo d'intesa con cui i Comuni interessati si faranno carico della manutenzione dell'impianto.</p>	
<p>Commento: In molte realtà italiane si sta diffondendo "il semaforo intelligente", tecnicamente chiamato anche "photored" quando automaticamente fotografa l'auto che passa con il rosso. Abbinare al semaforo la possibilità di multare gli automobilisti che non rispettano il rosso consente alle amministrazioni locali di recuperare anche le spese dell'investimento in tempi molto brevi. A Como, dove sono state montate le prime apparecchiature "Photored F17 A" in 8 giorni tre apparecchi hanno multato 896 automobilisti. Infrazioni rilevate con questo sistema vengono spesso contestate dall'utente, e frequentemente il ricorrente vince il ricorso.</p>	
<p>Costi indicativi: La Provincia di Milano ha impegnato la cifra di 720.000 euro (nel bilancio 2005 e 2006) per l'acquisto e l'installazione dei semafori. Un nuovo impianto semaforico "intelligente", costituito da 4 semafori installati a coppie su 2 nuovi pastorali posti alle estremità della zona da moderare costa circa 15/18 mila euro (con spire ma senza photored).</p>	
<p>Per approfondimenti: Provincia di Milano, Assessorato alla viabilità, opere pubbliche stradali, mobilità e trasporti.</p>	

Traffico stradale	14
Regolarizzazione del flusso - rotonde al posto dei semafori	Generale

Tipo problema: Rumore prodotto dalle fasi di accelerazione e decelerazione degli autoveicoli

Fonte: Autoveicoli in corrispondenza di semafori

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate nei pressi degli incroci semaforizzati

Note: Sono riportati altri possibili interventi di moderazione del traffico alternativi ai dossi rallentatori.



Schema rotonda a 4 bracci



Rotonda a ridosso del centro storico di Vicenza

Soluzione: L'introduzione di una rotonda in corrispondenza di un incrocio al posto di un impianto semaforico che si sta diffondendo in maniera sempre più evidente nelle aree urbane per facilitare la scorrevolezza dei flussi di traffico, può dar luogo anche a riduzioni dei livelli sonori prodotti dal traffico stesso.

Commento: Queste soluzioni consentono una riduzione del rumore comprese tra 1 e 4 dBA. L'entità del guadagno acustico dipende principalmente dalla tipologia del traffico (percentuale di veicoli pesanti), dalla forma della rotonda (rotonda o ovale) e dal numero di strade che si diramano dalla rotonda stessa.

Costi indicativi: Realizzare una rotonda in ambito urbano (di tipo compatto con precedenza all'anello), in un punto della viabilità cittadina può costare da 15 a 80 mila euro. Il costo varia in funzione della presenza di pista ciclabile, piano rialzato per attraversamento pedonale, dotazione di segnaletica, arredo dell'aiuola, ecc.

Per approfondimenti: Comune di Ancona.

Traffico stradale	15
Moderazione della velocità - zona 30	Generale

Tipo problema: Rumore prodotto da autoveicoli

Fonte: Autoveicoli

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti

Note: Il rumore prodotto da un veicolo in movimento ha varie sorgenti che possono essere classificate in quattro gruppi:

- il sistema di propulsione;
- il rotolamento dei pneumatici sull'asfalto;
- le vibrazioni trasmesse alla struttura del sistema propulsivo;
- il rollo (cioè le vibrazioni trasmesse alla struttura dall'avanzamento del veicolo).

Ognuna di queste dipende poi dal tipo di veicolo e dalla velocità; se si considerano le velocità urbane, il rumore prevalente è quello generato dal sistema propulsivo del veicolo il quale è essenzialmente legato al numero di giri e alla marcia inserita.



Soluzione: Rallentare i veicoli a 30km/h porta alla riduzione del numero di picchi di rumore, nonché alla riduzione del livello di questi picchi, poiché vengono ridotte le irregolarità legate alle variazioni di velocità e alle accelerazioni dei veicoli.

Commento: La moderazione della velocità delle auto a 30 km/h in aree residenziali permette la coesistenza pacifica tra auto e pedone e favorisce l'utilizzo della via come "spazio pubblico" non solo orientato al traffico. Tale tecnica sta diventando in tutta Europa e in molte città italiane un potente strumento di riqualificazione urbana, ma risulta applicabile solo su strade realmente "locali". In generale, gli studi effettuati hanno indicato che si possono raggiungere riduzioni di 3-4 dBA sul livello equivalente (Leq).

Costi indicativi: Gli interventi per realizzare una zona 30, possono essere effettuati con spese molto contenute, in alcuni casi con adeguata segnaletica si possono ottenere risultati interessanti. Si consideri che un singolo cartello stradale costa 40/50 euro. Nella maggior parte dei casi va invece realizzato un intervento di riqualificazione della via, con golfi, restringimenti, ripavimentazioni di porzioni di strada, piantumazioni ecc. ed altri interventi di arredo urbano che completano l'intervento.

Per approfondimenti: città di Bologna, città di Modena, città di Bergamo, città di Reggio Emilia, città di Milano, etc.

Traffico stradale	16
Riduzione dei volumi di traffico e/o della percentuale di mezzi pesanti	Generale

Tipo problema: Rumore prodotto da autoveicoli

Fonte: Autoveicoli (leggeri e pesanti)

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti

Note: -



Soluzione: Da studi effettuati si è visto come la riduzione della quantità di veicoli transitanti nell'unità di tempo, a velocità costante porti ad una sostanziale riduzione del livello sonoro. In particolare un dimezzamento del flusso di traffico provoca un calo di circa 3dB del livello del rumore prodotto. Similmente anche la riduzione del numero di automezzi pesanti porta ad una riduzione del livello delle emissioni sonore:

autoveicoli	mezzi pesanti	Lp (dB)
80%	20%	70,9
90%	10%	68,6
95%	5%	66,8
100%	0%	63,7

Commento: Si possono attuare bonifiche acustiche del rumore da traffico in ambito urbano con misure che possono essere applicate nelle 24 ore, oppure in fasce orarie ben determinate (dei periodi di riferimento), tramite la riduzione del flusso totale accompagnato da una riduzione della percentuale o eliminazione dei veicoli pesanti e dalla regolarità di marcia, dal rispetto dei limiti di velocità e dalla eliminazione del contributo al rumore causato dai veicoli manomessi o più rumorosi. L'istituzione di divieto di transito ai mezzi pesanti lungo una via contribuisce molto al miglioramento del clima acustico della stessa; dal punto di vista teorico, a parità degli altri parametri, un dimezzamento del flusso di traffico porta a ridurre di 3 dB il livello misurato; una riduzione del 75% del traffico produce una riduzione di 6 dB. Va comunque valutato l'incremento di traffico, e quindi di rumore, che si determina sui percorsi alternativi.

Costi indicativi: Istituire un divieto di transito ai mezzi pesanti su una strada costa molto poco in termini monetari (un cartello stradale 40/50 euro).

Per approfondimenti: ARPA Emilia Romagna, Veneto, Liguria, Toscana, Valle d'Aosta, ANPA, APPA Bolzano, Trento, Regione Lombardia

Autobus urbani	17
Applicazione di carter agli autobus in servizio	Firenze

Tipo problema: Rumore prodotto da autobus per il trasporto pubblico

Fonte: Autobus per il trasporto pubblico

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti

Note: Si tratta di uno studio finanziato dal piano triennale per l'ambiente al Comune di Firenze realizzato dal Dipartimento di Ingegneria Meccanica dell'Università di Firenze in collaborazione con l'Azienda di trasporto pubblico di Firenze ATAF.



Soluzione: Si tratta di applicare una schermatura alle sorgenti di rumore dell'autobus utilizzando carter fonoisolanti e fonoassorbenti appositamente realizzati; nei casi in cui non sia possibile chiudere il carter per garantire una adeguata ventilazione, si creeranno percorsi per l'aria curvilinei, tali che le onde sonore siano intercettate più volte da superfici fonoassorbenti.

Per la realizzazione dei carter si sono utilizzati materiali capaci di sopportare vibrazioni, oli, ed elevate temperature senza modificare le loro caratteristiche. Sono state eseguite prove sulle temperature interne al motore dopo l'applicazione del carter, che hanno dato esito favorevole.

Velocità km/h		LP sin dB	LP des dB	LP alto dB
30	prima	90,0	87,8	87,9
	dopo	82,5	75,5	80,2
	differenza	7,5	12,3	7,7
40	prima	87,6	86,0	85,6
	dopo	80,0	75,2	77,8
	differenza	7,6	10,8	7,8
50	prima	89,9	88,3	87,2
	dopo	81,8	76,0	80,3
	differenza	6,1	12,3	6,9

Commento: Il progetto rientra nell'ambito di quella che è la proposta di insonorizzazione della flotta degli autobus del Comune di Firenze. Esso affianca quindi i progetti di sostituzione e ammodernamento dei mezzi attualmente in uso e alla conversione degli autobus a diesel in filobus.

Costi indicativi: 290 milioni di euro

Per approfondimenti: Dipartimento di Ingegneria Meccanica dell'Università di Firenze, Azienda ATAF

Traffico aeroportuale	18
Metodologie varie	Generale

Tipo problema: Rumore prodotto da velivoli in fase di decollo e atterraggio

Fonte: Aeromobili

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti

Note: Già nel 1966, durante una conferenza internazionale tenutasi a Londra, si discuteva di inquinamento acustico prodotto dagli aerei; in quella sede si convenne che tale questione dovesse essere affrontata su scala internazionale e con metodologie appropriate e comuni. Il 26 marzo 2002, il Parlamento Europeo e il Consiglio emanano la Direttiva 2002/30/CE, che istituisce norme e procedure per l'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti della Comunità.



Soluzione: Le possibili soluzioni per contrastare l'inquinamento acustico generato in un aeroporto sono molteplici ma non sempre di facile attuazione:

- diminuzione della rumorosità degli aerei;
- pianificazione del territorio circostante l'aeroporto;
- tassazione sul rumore;
- limitazione dei voli notturni;
- monitoraggio del rumore;
- procedure anti-rumore (procedure di decollo e atterraggio volte ad evitare il sorvolo dei centri abitati);
- programmi di insonorizzazione degli edifici prossimi all'aeroporto;
- slot allocation.

Commento: Le soluzioni sopraelencate sono le più diffuse in campo internazionale e quelle che hanno sortito e sortiscono i maggiori effetti riguardo la riduzione del rumore.

Costi indicativi: n.d.

Per approfondimenti: Aeroporto di Linate, Aeroporto di Malpensa, etc.

Traffico aeroportuale	19
Progetto Ter.I.A. (Territorial Insert of Airports)	Aeroporti europei

Tipo problema: Rumore prodotto da velivoli in fase di decollo e atterraggio

Fonte: Aeromobili

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti

Note: Il progetto TERIA (Territorial Insert of Airports), frutto di uno studio finanziato da fondi Interreg per i programmi del Mediterraneo occidentale, punta in particolare sull'identificazione delle soluzioni mirate alla protezione dal rumore di origine aeroportuale, che è considerato un elemento di forte interesse in tutta Europa. Il progetto è partito nel marzo di due anni fa e si è concluso a giugno 2006. I risultati sono stati sperimentalmente testati intorno a Malpensa, a 550 metri dalla pista principale dello scalo varesino, nei pressi dell'aeroporto di Lyone (il Saint-Exupéry) in una scuola del comune di Jons a 6 chilometri dalle piste, a Palma de Majorca in un'abitazione a 300 metri e nel comune di Vernier, confinante con l'aeroporto di Ginevra-Cointrin.



barriera attiva



finestra attiva ad anta oscillante



finestra aperta a controllo attivo

Soluzione: Il progetto prevede la realizzazione di:

barriere attive: si tratta di speciali antenne di altoparlanti orientate nella direzione di provenienza del rumore disturbante, con lo scopo di creare alle sue spalle una sorta di "ombra acustica" che protegga la facciata di un edificio o un cortile. I risultati di abbattimento acustico previsti dalla simulazione della barriera variano da 5 a 10 dB per un campo di frequenza da 80 a 400 Hz, in una zona dell'ordine di 5x5x10 m dietro l'antenna in presenza di una sorgente di rumore disturbante fissa e sono un po' inferiori nel caso di rumore emesso da aerei al decollo;

finestre ibride attive: si tratta di finestre che permettono una ventilazione naturale e contemporaneamente un isolamento acustico tradizionale di tipo passivo. Esse sono costituite da tre condotti di 13x20 cm dotati di un rivestimento assorbente che, una volta aperti, garantiscono la ventilazione della stanza e da un sistema di microfoni che registrano il rumore disturbante e attivano degli altoparlanti per la generazione del controrumore, in fase opposta rispetto al rumore disturbante, producendo come risultato una diminuzione del livello sonoro all'interno della stanza;

finestre aperte a controllo attivo: si tratta di finestre ad ante scorrevoli dotate di un sistema di microfoni, che registrano il rumore disturbante, attivando un sistema di altoparlanti che originano il controrumore. I risultati ottenuti hanno mostrato attenuazioni del campo sonoro all'interno della stanza di circa 8 dB con rumore da aerei a elica e di entità inferiori con i jet;

finestre attive ad anta oscillante: si tratta di finestre ad anta oscillante collegate a un sistema di tre altoparlanti posizionati all'esterno della casa al di sopra dell'apertura della finestra e a un sistema di microfoni posti nello spazio libero tra la finestra e il suo telaio, che rilevano così l'effettivo rumore che entra nella stanza. La vicinanza dei microfoni agli altoparlanti migliora inoltre il rendimento del controllo attivo.

Commento: il concetto di "assorbire" il rumore con altre fonti sonore in una sorta di effetto "chiodo-scaccia-chiodo" si è già sperimentato con successo in ambienti chiusi e viene ora riproposto in un ambito particolare come quello di un aeroporto.

Costi indicativi: n. d.

Per approfondimenti: Regione Lombardia, Province di Varese e Novara, Governo delle isole Baleari e Camera di Commercio di Lione, Istituto per le tecnologie della Costruzione del Cnr italiano, Centre national de la recherche scientifique di Marsiglia, Politecnico di Milano, Laboratorio di Inginyera acustica i Mecanica della Catalunya, Centre Technique et scientifique du Batiment di Grenoble e Ecole Polytechnique Fédérale di Lausanne. Sito progetto TERIA: www.teria.itc.cnr.it

Interporto - zona carico scarico	20
Terrapieno e barriera antirumore	Trento

Tipo problema: Rumore prodotto da veicoli ferroviari, autogrù, autoarticolati, etc.

Fonte: Veicoli ferroviari, autogrù, autoarticolati, etc.

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicati nei pressi delle sorgenti

Note: Lo scalo intermodale di Trento è sorto nella zona nord della città, in un'area compresa tra la ferrovia a est, l'autostrada A22 a ovest e la località di Roncafort a sud. A poco più di 100 m dal confine dello scalo si trova il nucleo abitativo di Roncafort, composto da circa 50 abitazioni, la maggior parte delle quali è costituita da edifici di 2-3 piani fuori terra, ad esclusione di due condomini di recente costruzione che raggiungono i 6 piani di altezza. La realtà di uno scalo intermodale è particolare rispetto alle tipiche infrastrutture ferroviarie, poiché il rumore prodotto dal materiale rotabile non rappresenta la sorgente sonora principale, che è invece legata alle operazioni di movimentazione dei containers, eseguita con mezzi su gomma (autogrù).



Esempio di autogrù



Esempio di movimentazione merci

Soluzione: La proposta di intervento è costituita da uno schermo antirumore all'estremità sud dell'interporto, in modo da creare un "effetto barriera" nei confronti delle abitazioni di Roncafort.

Ipotesi I: realizzazione di un terrapieno a sezione trapezoidale di altezza 8 metri con la base minore di 1,5 m e la base maggiore di 8-10 m (eventualmente piantumato), posizionato a ridosso del confine dello scalo e di lunghezza pari a circa 260 m.

Ipotesi II: allo scopo di aumentare l'efficacia schermante del terrapieno, si ipotizza di aggiungere sul lato superiore del terrapieno una tradizionale barriera antirumore (ad es. in legno, in pannelli di argilla espansa, in vetro o metacrilato) di altezza pari a 4 m.

Ipotesi III: realizzazione di una barriera in terrapieno a forma trapezoidale con la base minore di 1,5 -1,7 m, la base maggiore di 7-8 m, un'altezza pari a 5 m e una lunghezza complessiva di circa 350 m, sulla cui sommità si planteranno arbusti e talee di salice.

Commento: La soluzione più efficace che è stata scelta prevede la sovrapposizione di una barriera semplice al terrapieno.

Costi indicativi: 840.000 euro , pari circa 2.800 euro al metro lineare.

Per approfondimenti: Provincia di Trento

Impianti frigoriferi, di condizionamento, trasformatori	21
Barriere antirumore a ridosso della sorgente	Generale

Tipo problema: Riduzione della rumorosità emessa in ambiente esterno da unità di refrigerazione degli impianti di condizionamento centralizzati (refrigerazione - condizionamento - ventilazione: RCV) e simili

Fonte: Unità di refrigerazione di impianti frigoriferi, di condizionamento, trasformatori

Ricettore: Abitazioni, uffici, ecc. ubicate nei pressi delle sorgenti

Note: Questa soluzione consente di proteggere i ricettori situati lungo un lato dell'impianto. E' adattabile esteticamente ai contesti più svariati, a seconda del prodotto utilizzato.



Barriera fonoisolante



Barriere realizzate a protezione di impianti o macchinari

Soluzione: Il rumore delle unità di ventilazione degli impianti RCV, generalmente situate in ambiente esterno, viene generato dalle ventole di raffreddamento e dall'aria stessa nel suo moto lungo le condotte. L'opportunità dell'installazione di barriere va accuratamente valutata in via preventiva in base al contributo effettivo della sorgente alla rumorosità ambientale. Le barriere possono essere costituite da strutture di sostegno in acciaio e da elementi fonoisolanti e fonoassorbenti in lega leggera. In alternativa la struttura di sostegno può essere realizzata con profili di alluminio estruso, soprattutto nei casi in cui i macchinari siano installati su opere d'arte che non consentono un aggravio dei pesi. Le lastre possono essere anche trasparenti in policarbonato o metacrilato. In entrambi i casi vengono utilizzate materie prime ad alta resistenza ai raggi U.V.A.

Commento: I benefici per il clima acustico sono facilmente apprezzabili. Nel caso in cui la protezione interessi macchinari che comprendono motori a combustione va attentamente valutata la questione relativa al surriscaldamento degli elementi, al ricambio d'aria e al rischio di incendio, nonché alla riflessione delle onde sonore.

Costi indicativi: n.d.

Per approfondimenti: Stopson Italia e aziende produttrici di pannelli.

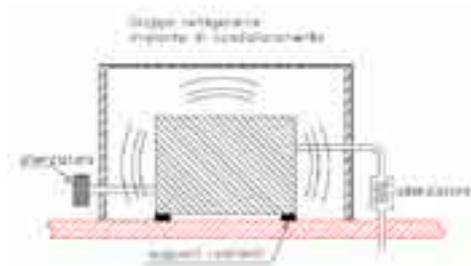
Centrali di raffreddamento degli impianti di condizionamento	22
Cabinatura fonoisolante completa	Generale

Tipo problema: Isolamento acustico delle stazioni di raffreddamento esterne degli impianti di condizionamento

Fonte: Stazioni di raffreddamento degli impianti di condizionamento

Ricettore: Immissione in ambiente esterno, unità abitativa

Note: Da utilizzarsi come soluzione completa, qualora l'emissione acustica sia rilevante e non sanabile tramite interventi di schermatura parziale



Isolamento completo delle stazioni di raffreddamento degli impianti di condizionamento

Soluzione: Isolamento tramite cabina insonorizzata, silenziatori lungo la mandata ed in corrispondenza delle prese d'aria.

Commento: Le stazioni di raffreddamento degli impianti di condizionamento immettono rumore nell'ambiente in modo diretto e nell'unità abitativa tramite le condotte d'aria. Il primo problema viene risolto utilizzando cabinature fonoisolanti/fonoassorbenti a racchiudere l'impianto e silenziatori in corrispondenza delle prese d'aria verso l'esterno. Per quel che riguarda l'immissione nell'unità abitativa, si possono nuovamente distinguere due problematiche. Il rumore immesso tramite le condotte d'aria, che viene ridotto utilizzando dei silenziatori lungo le tubature, e quello trasmesso per via strutturale, che viene trattato appoggiando il macchinario su supporti resilienti.

Costi indicativi: n. d.

Per approfondimenti: Stopson Italia

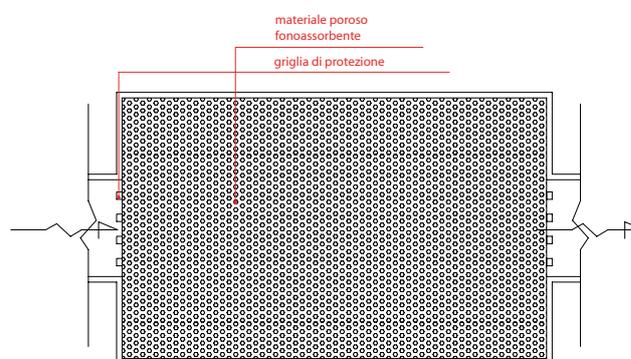
Camini di aspirazione e scarico di impianti di condizionamento	23
Silenziatori	Generale

Tipo problema: Riduzione della rumorosità emessa in ambiente esterno dalle unità di refrigerazione degli impianti di condizionamento centralizzati (refrigerazione - condizionamento - ventilazione: RCV)

Fonte: Unità di refrigerazione degli impianti di condizionamento centralizzati

Ricettore: Ambiente esterno

Note: Questa soluzione consente di proteggere tutti i ricettori situati in prossimità dell'impianto.



Silenziatori per unità refrigeranti degli impianti RCV

Soluzione: Viene installato un silenziatore sulle bocche di aspirazione e di scarico a una barriera fonoisolante vicino all'unità di refrigerazione, lungo uno o più lati a seconda dell'ubicazione dei ricettori da proteggere.

Commento: Il rumore delle unità di ventilazione degli impianti RCV, generalmente situate in ambiente esterno, viene generato dalle ventole di raffreddamento e dall'aria stessa nel suo moto lungo le condotte. Il rumore risulta particolarmente intenso in direzione delle bocche di aspirazione e di scarico. La soluzione consiste nell'installare dei silenziatori in corrispondenza delle bocche di aspirazione e di scarico; è efficace e di costo moderato.

Nella scelta del silenziatore, occorre valutare, oltre all'abbattimento del rumore, anche la resistenza al flusso d'aria. A titolo di esempio, si riporta in tabella la gamma di valori di abbattimento sonoro medio nella gamma di frequenze 125Hz - 8kHz. Il valore preciso dipende dalle caratteristiche geometriche del dispositivo e dal tipo di materiale fonoassorbente usato come riempimento.

Abbattimento sonoro silenziatori	
Tipo	Abbattimento
minimo	10dB
massimo	30dB

Costi indicativi: n. d.

Per approfondimenti: Stopson Italia

Tagliaerba	24
Regolamento comunale	Torino

Tipo problema: Manutenzione aree verdi

Fonte: Uso di macchine ed impianti rumorosi per operazioni di manutenzione delle aree verdi

Ricettore: Abitazioni

Note: Il tema è trattato nel regolamento apposito: Regolamento comunale per la tutela dall'inquinamento acustico, Città di Torino, approvato dal Consiglio Comunale della Città di Torino nella seduta del 6 marzo 2006, articolo 8



Il Regolamento per la tutela dall'inquinamento acustico della città di Torino 2006

Soluzione: "L'uso di macchine ed impianti rumorosi per operazioni di manutenzione delle aree verdi private è consentito nei giorni feriali, escluso il sabato, dalle ore 7.30 alle ore 13.00 e dalle ore 15.00 alle ore 19.00; è consentito nei giorni festivi ed al sabato dalle ore 9.00 alle ore 12.00 e dalle ore 15.00 alle ore 19.00.

L'uso di macchine ed impianti rumorosi per operazioni di manutenzione delle aree verdi pubbliche (sfalcio dell'erba, potature, ecc.) e del suolo pubblico per le opere di pronto intervento, in virtù della pubblica utilità nonché per il fatto che trattasi di attività manutentive temporanee, siano esse condotte da operatori dei servizi pubblici od anche da operatori di imprese private appaltatrici di opere o servizi pubblici, è consentito nei giorni feriali, compreso il sabato, dalle ore 7.30 alle ore 19.00 senza interruzioni e nei giorni festivi dalle ore 9.00 alle ore 12.00 e dalle ore 15.00 alle ore 19.00".

Commento: Regolamentare le attività di sfalcio dell'erba, sia per il verde pubblico che privato, fissando degli orari in cui tale attività è consentita garantisce maggior tutela ai residenti e uno strumento regolamentare per gli agenti della polizia locale altrimenti in difficoltà nei casi in cui siano chiamati ad effettuare controlli.

Costi indicativi: I costi per l'approvazione di un regolamento sono molto limitati.

Per approfondimenti: Comune di Torino.

Attività venatoria	25
Ordinanza sindacale	Acerra (Na)

Tipo problema: Rumore impulsivo prodotto dagli spari di cacciatori

Fonte: Arma da fuoco

Ricettore: Abitazioni ubicate nei pressi delle aree di caccia

Note: Al momento nessuna tutela è predisposta per il cittadino rispetto al rumore provocato dagli spari nelle aree agricole abitate, anche se il rumore può influenzare il benessere psico-fisico degli individui. In particolare, il rumore prodotto dalle inattese fucilate può creare situazioni di stress, interruzioni del sonno e disturbo delle attività umane.



Soluzione: Il Sindaco di Acerra, con il parere favorevole dell'ASL NA 4, ha firmato una ordinanza urgente, prescrivendo cautelativamente la distanza di 400 metri (4 volte superiore a quella prevista dalla Legge 157/92) dalle abitazioni per poter svolgere l'attività venatoria. Tale parere è stato preceduto da prove fonometriche effettuate dai tecnici dell'ASL che hanno misurato il rumore prodotto da alcuni spari di fucili simili a quelli utilizzati dai cacciatori. La località oggetto di tutela era posta in un'area di II classe, con valori limite assoluti di immissione di 55 dB(A) diurno e 45 dB(A) notturno. I rilievi fonometrici dell'ASL hanno accertato un LAeq di 74,0 db (A) sparando a 100 metri dall'apparecchio rilevatore e di 69,5 db(A) sparando a 150 metri (valori solo indicativi del disagio causato da tali attività). L'ASL ha anche accertato il limite differenziale di immissione, che è risultato essere ben al di sopra dei limiti posti dalla normativa. L'ordinanza di cui sopra costituisce un provvedimento di estrema innovatività. Infatti essa affronta per la prima volta il tema del rapporto tra attività venatoria e tutela della salute con riferimento particolare alla tutela dall'inquinamento acustico.

Commento: Considerato che le aree in cui viene esercitata l'attività venatoria sono zone rurali caratterizzate da un basso rumore di fondo e che la legge sulla caccia consente ai cacciatori di sparare a soli 100 metri dagli immobili - distanza alla quale si sono accertate violazioni degli standards previsti - in tutta Italia la caccia nelle aree agricole di fatto può essere esercitata in violazione degli standards previsti dalle norme a tutela dell'inquinamento acustico. Sarebbe pertanto auspicabile una modifica della legislazione in materia venatoria al fine di aumentare le distanze dalle abitazioni per la tutela dall'inquinamento acustico prodotto dalle fucilate.

Costi indicativi: Le ordinanze sindacali non costano molto, come atto in sé. L'attività di controllo è difficile da quantificare; in parte può essere compensata dalle sanzioni rilevate.

Per approfondimenti: Comune di Acerra (Na)

6. Buone pratiche in ambiente interno

6.1 Soluzioni adottate per isolare gli edifici

Le schede raccolte di seguito mostrano come è possibile intervenire sull'isolamento degli edifici con interventi di tipo passivo. Le soluzioni indicate sono state tendenzialmente raggruppate per destinazione d'uso degli edifici: inizialmente vi sono le buone pratiche utilizzate nell'edilizia direzionale e successivamente in quella residenziale, anche se le soluzioni sono a volte utilizzabili indifferentemente in entrambi i casi. Sono presentati solo i casi di intervento utili per abbattere i rumori provenienti da fonti esterne all'edificio (o dagli impianti tecnologici degli stessi) ma non è trattato il tema del controllo del rumore prodotto da fonti interne agli edifici stessi.

Sono quindi presentati alcuni interventi che possono essere realizzati sulle facciate degli edifici, sui serramenti (interni ed esterni) e sulle coperture.

Per comprendere l'efficacia di tali interventi, è spesso riportato l'indice di attenuazione acustica ponderato R_w del materiale (che si misura secondo la norma EN ISO 140). L'indice di attenuazione acustico ponderato R_w tiene conto del fatto che per ciascuna banda di 1/3 di ottava, centrata tra i valori 100 e 3150 Hz, (16 valori) esiste un differente valore di attenuazione acustica R . Partendo da questi 16 valori di R , che sono diversi in funzione della frequenza, è possibile rappresentare il valore acustico standard R_w del manufatto.

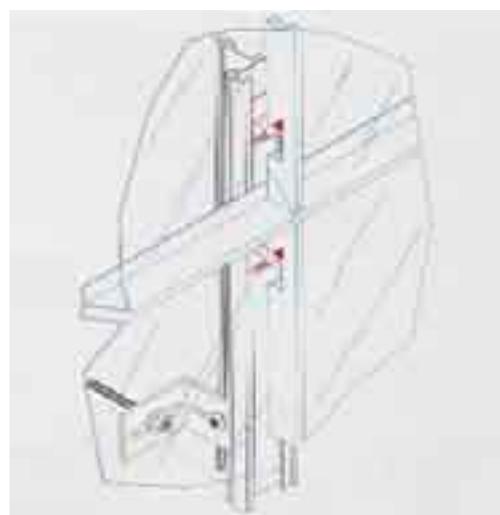
Edilizia direzionale	1
Facciata metallica ventilata	Generale

Tipo problema: Risanamento acustico della facciata di unità a destinazione commerciale/direzionale

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: centri direzionali, uffici, centri commerciali e simili

Note: -



Facciata metallica ventilata

Soluzione: Posa in opera di una facciata ventilata in materiale metallico, che consente di migliorare contestualmente anche le caratteristiche termoigrometriche ed estetiche del fabbricato.

Commento: La facciata ventilata è costituita da una controstruttura metallica, separata dalla facciata principale da una intercapedine d'aria. Spessori minimi di metallo sono sufficienti a garantire un'ottimo isolamento acustico. Grazie alla ventilazione naturale nell'intercapedine, si riscontrano benefici effetti sulle prestazioni termiche dell'edificio. Inoltre, la facciata risulta molto resistente agli agenti atmosferici e di pregevole aspetto. I valori di fonoassorbimento dipendono dal tipo di materiale utilizzato, dallo spessore dell'intercapedine e dal montaggio a parete; si ottengono i valori presentati in tabella.

Valori di fonoisolamento indicativi per facciate metalliche ventilate	
Descrizione	Rw
minimo	40 dB
massimo	50 dB

Per approfondimenti: DETAIL Review of Architecture, arch. Gaio Andrea

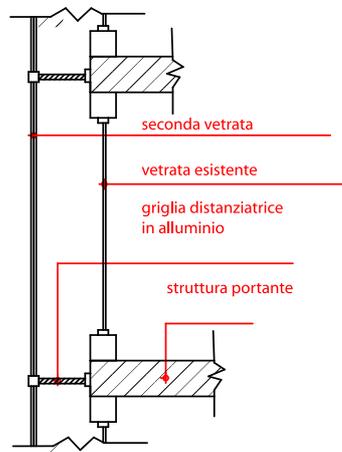
Edilizia direzionale	2
Doppia facciata in vetro	Generale

Tipo problema: Risanamento acustico della facciata di unità a destinazione commerciale/direzionale

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Centri direzionali, uffici, centri commerciali e simili

Note: Questo tipo di facciata preserva la luminosità dei locali, l'apporto energetico solare ed introduce lievi variazioni nell'estetica esterna



Doppia facciata in vetro

Soluzione: Posa in opera di una facciata ventilata in vetro fonoisolante, che consente di migliorare contestualmente anche le caratteristiche termoigrometriche ed estetiche del fabbricato.

Commento: L'involucro edilizio in vetro fonoisolante viene fissato alla struttura portante tramite elementi metallici a griglia, onde consentire il passaggio dell'aria; la controfacciata va adeguatamente isolata dalla struttura portante tramite giunti resilienti, onde evitare la trasmissione delle onde sonore per via strutturale. Grazie alla ventilazione naturale nell'intercapedine, si riscontrano benefici effetti sulle prestazioni termiche dell'edificio. Inoltre, l'estetica della facciata è in linea con le moderne tendenze architettoniche. I valori di fonoassorbimento dipendono dal tipo di materiale utilizzato, dallo spessore dell'intercapedine e dal montaggio a parete; si riportano in tabella valori riferiti a diversi tipi di vetro. Per la valutazione del potere fonoisolante complessivo occorre esaminare il dettaglio tecnico della struttura.

Valori di fonoisolamento per tipi di vetro	
Descrizione	Rw
vetro stratificato 16 mm	40 dB
vetro monolitico 16 mm	32 dB
vetro monolitico 19mm	40 dB

Per approfondimenti: DETAIL Review of Architecture, Saint Gobain Glass.

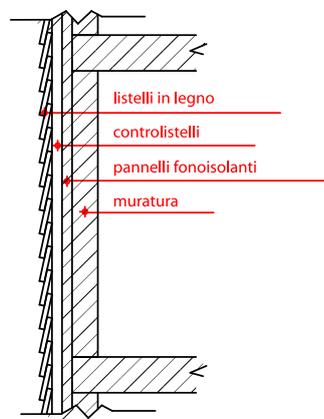
Edilizia direzionale	3
Controfacciata ventilata in listelli di legno e materiale fonoisolante	Generale

Tipo problema: Risanamento acustico della facciata di unità a destinazione commerciale/direzionale

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Centri direzionali, uffici, centri commerciali e simili

Note: La facciata in legno migliora notevolmente l'estetica dei fabbricati, anche se occorre prestare attenzione al suo deterioramento



Controfacciata in materiale fonoisolante e listelli in legno a finire

Soluzione: Posa in opera di uno strato di pannelli fonoisolanti a contatto con la parete esterna del fabbricato, posando a finire dei listelli orizzontali in legno fissati tramite controllistelli.

Commento: Il vantaggio di questa soluzione è che il potere fonoisolante dipende direttamente dal tipo di materiale o struttura che viene posata a ridosso della parete in muratura, indipendentemente dalla finitura esterna. In questo modo, il problema dell'estetica di facciata viene trattato separatamente rispetto al problema del fonoisolamento dalla stessa. Occorre però prestare attenzione alla posa in opera dei listelli orizzontali, che devono costituire uno strato continuo senza fessure rilevanti.

Come riferimento, si riportano in tabella i poteri fonoisolanti di alcuni materiali. Occorre però ricordare che il potere fonoisolante complessivo dipende dal dettaglio della struttura e dalle modalità di messa in opera.

Valori di fonoisolamento per varie tipologie di listelli di legno	
Descrizione	Rw
minimo	45 dB
massimo	55 dB

Per approfondimenti: DETAIL Review of Architecture, ditte produttrici di materiali fonoisolanti.

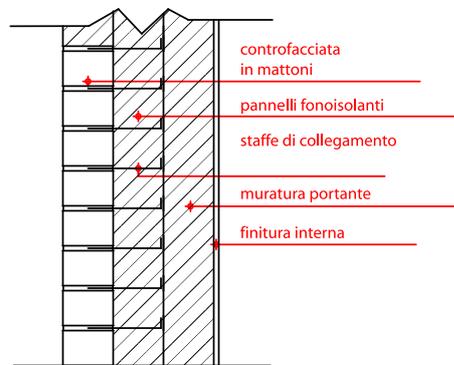
Edilizia direzionale	4
Controfacciata in materiale fonoisolante e mattoni	Generale

Tipo problema: Risanamento acustico della facciata di unità a destinazione commerciale/direzionale

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Centri direzionali, uffici, centri commerciali e simili

Note: La facciata in mattoni può contribuire a migliorare l'estetica del fabbricato, senza tuttavia introdurre significativi costi di manutenzione.



Controfacciata in materiale fonoisolante e listelli in legno a finire

Soluzione: Posa in opera di una controparete esterna in mattoni, con intercapedine riempita di materiale fonoisolante.

Commento: Questa soluzione presenta poteri fonoisolanti nettamente superiori rispetto alle contropareti leggere, grazie allo strato di mattoni esterno, che presenta elevata densità superficiale. I distanziatori metallici vanno fissati alla parete tramite supporti resilienti, onde evitare la formazione di "ponti acustici". Come riferimento, si riportano in tabella i poteri fonoisolanti di alcuni materiali. Occorre però ricordare che il potere fonoisolante complessivo dipende dal dettaglio della struttura e dalle modalità di messa in opera.

Valori di fonoisolamento per i pannelli	
Descrizione	Rw
minimo	45 dB
massimo	60 dB

Per approfondimenti: DETAIL Review of Architecture, ditte produttrici di materiali fonoisolanti.

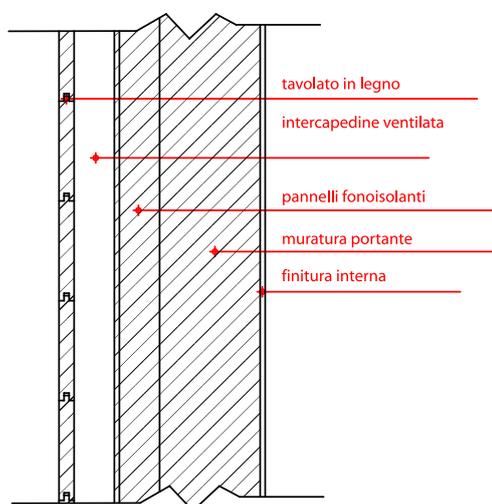
Edilizia direzionale	5
Controfacciata continua in legno e materiale fonoisolante	Generale

Tipo problema: Risanamento acustico della facciata di unità a destinazione commerciale/direzionale

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Centri direzionali, uffici, centri commerciali e simili

Note: La facciata in legno contribuisce a migliorare l'estetica del fabbricato nonché le caratteristiche termoigrometriche del fabbricato.



Facciata ventilata in legno

Soluzione: Posa in opera di una facciata ventilata in legno, con intercapedine d'aria e parziale riempimento in materiale fonoisolante.

Commento: La soluzione consta di uno strato fonoisolante fissato alla parete esterna, su cui viene fissato un tavolato in legno continuo ad incastro. È presente un'intercapedine d'aria fra il tavolato ed i pannelli fonoisolanti, in cui sono alloggiati dei montanti verticali in legno. L'intercapedine, oltre a garantire la ventilazione della facciata, migliora anche l'isolamento acustico.

Come riferimento, si riportano in tabella i poteri fonoisolanti di alcuni materiali. Occorre però ricordare che il potere fonoisolante complessivo dipende dal dettaglio della struttura e dalle modalità di messa in opera.

Valori di fonoisolamento per i diversi materiali	
Descrizione	Rw
minimo	45 dB
massimo	55 dB

Per approfondimenti: DETAIL Review of Architecture, ditte produttrici di materiali fonoisolanti.

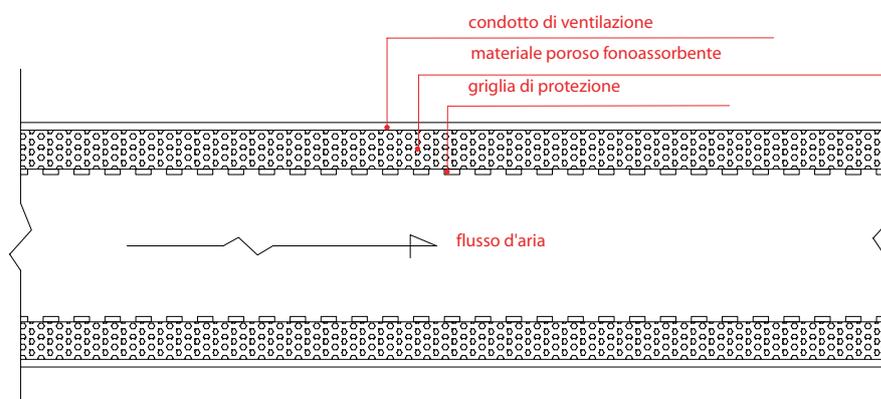
Impianti di condizionamento	6
Risanamento acustico dei tubi di distribuzione dell'aria tramite riempimento con materiale fonoassorbente	Generale

Tipo problema: Riduzione della rumorosità introdotta negli ambienti dalle condotte di distribuzione dell'aria degli impianti RCV (riscaldamento, condizionamento e ventilazione)

Fonte: Impianti di condizionamento, ventole

Ricettore: Unità abitativa

Note: -



Tattamento fonoassorbente dei tubi di distribuzione dell'aria

Soluzione: Le condotte di distribuzione dell'aria vengono parzialmente riempite con materiale fonoassorbente.

Commento: Il rumore degli impianti RCV viene generato dalle ventole di ricircolo e dall'aria stessa nel suo moto lungo le condotte. Il rumore così generato può propagarsi fino alle unità abitative tramite i canali di distribuzione. I canali rettangolari costruiti con lamiera metallica presentano una bassa attenuazione sonora, dell'ordine di 0.1 dB/m. I canali circolari risultano molto più rigidi di quelli rettangolari e presentano quindi valori di attenuazione ancora più bassi. La presente soluzione consta nel rivestire internamente i canali con uno strato di materiale poroso fonoassorbente, dello spessore di 2-5cm, con griglia di protezione.

Il principale vantaggio è la semplicità ed il basso costo dell'intervento, anche se la principale controindicazione è la scarsa attenuazione alle basse frequenze. Inoltre, le recenti problematiche legate al controllo della qualità dell'aria, specie in ambienti come ospedali, industrie alimentari etc., sconsigliano l'uso di materiale poroso con fibre naturali.

Per approfondimenti: -

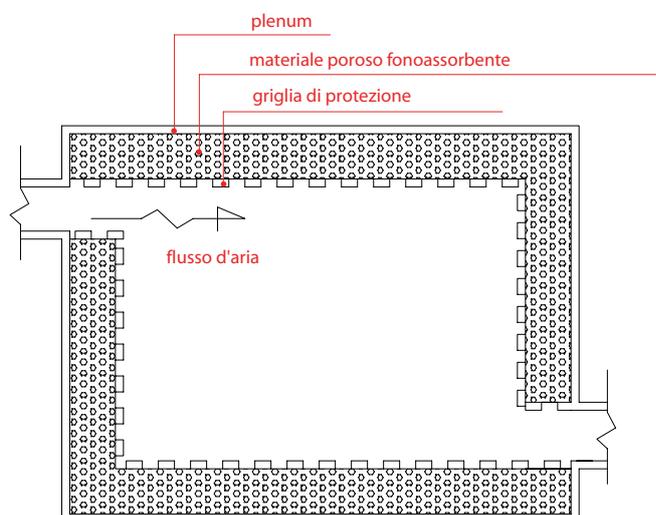
Impianti di condizionamento	7
Risanamento acustico degli impianti di distribuzione dell'aria tramite trattamento del plenum con materiale fonoassorbente	Generale

Tipo problema: Riduzione della rumorosità introdotta negli ambienti dalle condotte di distribuzione dell'aria degli impianti RCV (riscaldamento, condizionamento e ventilazione)

Fonte: Impianti di condizionamento, ventole

Ricettore: Unità abitativa

Note: -



Riempimento del plenum con materiale fonoassorbente

Soluzione: Il plenum di distribuzione viene parzialmente riempito con materiale fonoassorbente.

Commento: Il rumore degli impianti RCV viene generato dalle ventole di ricircolo e dall'aria stessa nel suo moto lungo le condotte. Il rumore così generato può propagarsi fino alle unità abitative tramite i canali di distribuzione. La presenza di un plenum di distribuzione offre la possibilità di un efficace trattamento di fonoisolante riempiendo parzialmente la cavità con materiale fonoassorbente. In questo caso, l'assorbimento acustico avviene, oltre che per dissipazione all'interno del rivestimento poroso, anche per risonanza di cavità ed è pertanto selettivo in frequenza.

Per approfondimenti: -

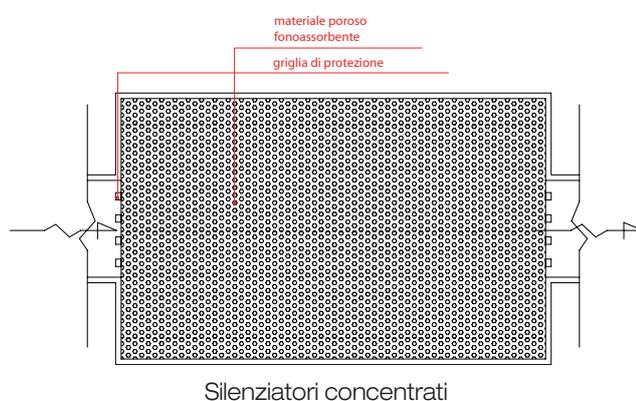
Impianti di condizionamento	8
Risanamento acustico degli impianti di distribuzione dell'aria tramite silenziatori concentrati	Generale

Tipo problema: Riduzione della rumorosità introdotta negli ambienti dalle condotte di distribuzione dell'aria degli impianti RCV (riscaldamento, condizionamento e ventilazione)

Fonte: Impianti di condizionamento, ventole

Ricettore: Unità abitativa

Note: -



Soluzione: Lungo le condotte di distribuzione dell'aria vengono posti dei silenziatori concentrati.

Commento: Il rumore degli impianti RCV viene generato dalle ventole di ricircolo e dall'aria stessa nel suo moto lungo le condotte. Il rumore così generato può propagarsi fino alle unità abitative tramite i canali di distribuzione. Sono presenti in commercio diverse tipologie di attenuatori concentrati che vanno inseriti lungo la condotta. Nella progettazione, occorre tener conto di:

- attenuazione sonora dichiarata dal costruttore;
- rumorosità generata dall'attraversamento del filtro da parte dell'aria;
- impedenza meccanica dovuta all'utilizzo del materiale poroso;
- attenuazione scarsa in presenza di basse frequenze, a meno di non voler ricorrere a volumi eccessivamente ingombranti.

Per approfondimenti: -

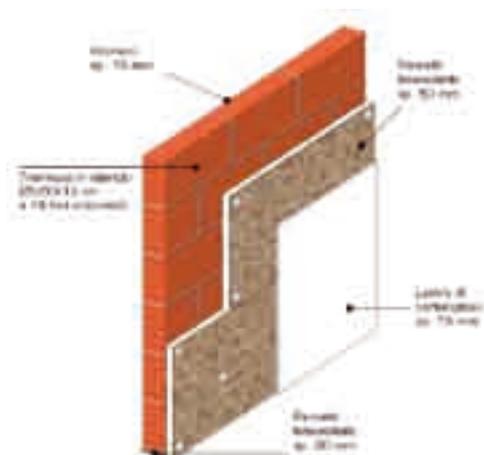
Edilizia residenziale	9
Controparete di pannelli fonoisolanti in lana di legno e polistirene espanso	Generale

Tipo problema: Aumento del potere fonoisolante di facciata o di pareti di separazione fra unità abitative

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno o dall'unità abitativa adiacente

Ricettore: Unità abitative

Note: Nel caso delle facciate, deve essere utilizzato solo qualora le prestazioni acustiche dei serramenti risultino buone e ciò nonostante l'isolamento acustico di facciata non sia ancora sufficiente. Efficace nelle partizioni interne, qualora non vi siano ponti acustici fra le due unità abitative.



Controparete fonoisolante in lana di legno e polistirene espanso: esempio di posa in opera

Soluzione: Uno strato di materiale fonoisolante in lana di legno (eventualmente con interposto un foglio di polistirene espanso) viene addossato alla parete di facciata, posando, a finire, una controparete in cartongesso.

Commento: I pannelli, dello spessore di 50 mm, hanno una struttura a sandwich, essendo costituiti da due strati di lana di legno di abete mineralizzata che rivestono un pannello interno in polistirene espanso sinterizzato. I pannelli possono essere costituiti esclusivamente da lana di legno di abete mineralizzata legata con cemento. In entrambi i casi vengono fissati alla parete tramite tasselli ad espansione in plastica. Successivamente, il cartongesso viene incollato per punti ai pannelli. La soluzione è caratterizzata dall'aver un basso ingombro.

Potere fonoisolante	
Struttura	Rw
Parete base in laterizio forato 25 x 50 x 12, densità 144 Kg/m ²	40 dB
Parete base + pannello sandwich (50 mm) + cartongesso (1.5 cm)	54 dB
Parete base + pannello lana di legno (25 mm) + cartongesso (1.5 cm)	55 dB
Parete base + pannello lana di legno (50 mm) + cartongesso (1.5 cm)	57 dB

Per approfondimenti: Celenit

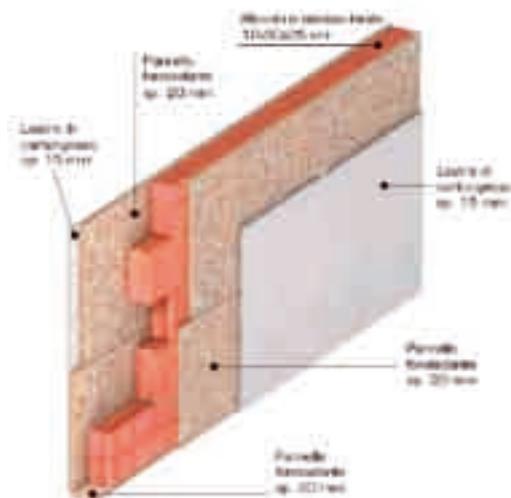
Edilizia residenziale	10
Doppia controparete di pannelli fonoisolanti	Generale

Tipo problema: Aumento del potere fonoisolante di pareti di separazione fra unità abitative

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'unità abitativa adiacente

Ricettore: Unità abitative

Note: Efficace qualora non vi siano ponti acustici fra le due unità abitative.



Doppia controparete fonoisolante in lana di legno: esempio di posa in opera

Soluzione: Uno strato di materiale fonoisolante in lana di legno viene addossato alla parete divisoria su entrambi i lati, posando a finire una controparete in cartongesso.

Commento: I pannelli, di spessore variabile, sono costituiti esclusivamente da lana di legno di abete mineralizzata legata con cemento, oppure hanno una struttura a sandwich con strato centrale in lana di roccia ad alta densità a fibra orientata. Vengono fissati alla parete tramite tasselli ad espansione in plastica. Successivamente, il cartongesso viene incollato per punti ai pannelli. La soluzione è caratterizzata dall'aver un basso ingombro.

Potere fonoisolante	
Struttura	Rw
Parete base in laterizio forato 12 x 50 x 25, densità 107 Kg/m ²	36 dB
Parete base + 2 pannelli lana di legno (20 mm) + 2 cartongesso (1.5 cm)	55 dB
Parete base + 2 pannelli sandwich (35 mm) + 2 cartongesso (1.5 cm)	62 dB

Particolare attenzione va prestata alla messa in opera, evitando discontinuità nello strato fonoisolante e la presenza di fessure laterali fra la controparete e le pareti laterali. Si consiglia, in ogni caso, di avvalersi di manodopera specializzata.

Per approfondimenti: Celenit

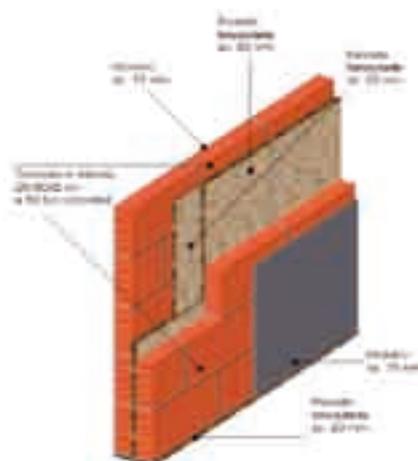
Edilizia residenziale	11
Controparete in muratura con intercapedine riempita di materiale fonoisolante	Generale

Tipo problema: Aumento del potere fonoisolante di facciata o di pareti di separazione fra unità abitative

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno o dall'unità abitativa adiacente

Ricettore: Unità abitative

Note: Rispetto alle contropareti in cartongesso, la struttura in muratura ha il vantaggio ulteriore di fornire anche un adeguato isolamento termico



Controparete in muratura con intercapedine riempita di materiale fonoisolante

Soluzione: Costruzione di una controparete in mattoni e posa in opera di pannelli fonoisolanti in intercapedine.

Commento: La controparete in mattoni viene costruita appoggiata ad uno strato di materiale fonoisolante, in modo da ridurre la trasmissione di rumore per via strutturale. I pannelli, dello spessore di 20 mm, sono costituiti esclusivamente da lana di legno di abete mineralizzata legata con cemento. Vengono posati in aderenza nell'intercapedine senza fissaggio

Potere fonoisolante	
Struttura	Rw
base in laterizio forato 25 x 50 x 12, densità 144 Kg/m ²	40 dB
Parete base + 2 pannelli lana di legno (20 mm) adiacenti + controparete in laterizio forato 25 x 50 x 8 + intonaco	55 dB

Particolare attenzione va prestata alla messa in opera, evitando discontinuità nello strato fonoisolante e la presenza di fessure laterali fra la controparete e le pareti laterali. Si consiglia in ogni caso di avvalersi di manodopera specializzata.

Per approfondimenti: Celenit

Edilizia residenziale	12
Intonaco fonoisolante applicato sul lato esterno/interno della parete	Generale

Tipo problema: Aumento del potere fonoisolante di facciata o di pareti di separazione fra unità abitative

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno o dall'unità abitativa adiacente

Ricettore: Unità abitative

Note: Rispetto alle contropareti in cartongesso, l'intonaco ha il vantaggio ulteriore di fornire, oltre al potere fonoisolante, anche un adeguato isolamento termico.



Utilizzo di intonaco fonoisolante

Soluzione: Costruzione di una controparete in mattoni e posa in opera di pannelli fonoisolanti nella intercapedine tra muro portante e controparte.

Commento: L'intonaco, per interni o esterni, è del tipo fibrorinforzato ecologico con sughero, argilla e polveri diatomeiche. Viene mescolato con cemento o calce idraulica ed acqua per realizzare l'impasto, da stendere in due momenti successivi, a strati di circa 1 cm. L'intonaco ha un elevato coefficiente di assorbimento acustico, in quanto è costituito da inerti a cellula aperta. Le proprietà di fonoisolamento, riferite ad una parete in laterizio forato (spess. 25 cm) a cui è stato applicato uno strato di intonaco di 3 cm, sono espote in Tabella. Ulteriori vantaggi sono dati dal miglioramento dell'isolamento termico e delle proprietà igrometriche della parete.

Potere fonoisolante di una parete finita con intonaco acustico	
Struttura	Rw
Parete in laterizio forato di 25 cm + intonaco fonoassorbente di 3 cm	59 dB

In generale l'andamento del potere fonoisolante al variare delle frequenze, non presenta anomalie o variazioni di pendenze per cui si può ritenere valida la "Legge della massa". L'effetto dell'intonaco incrementa nettamente il potere fonoisolante e tale incremento è maggiore alle alte frequenze. La stagionatura della parete ha scarsissima influenza sul fenomeno. La presenza di "tracce" nella parete ha influenza alle basse frequenze (fino a 400 Hz) ed alle alte frequenze (maggiori di 1500 Hz).

Per approfondimenti: Diasen

Edilizia residenziale	13
Sostituzione dei vetri di facciata con vetro monolitico spesso o stratificato	Generale

Tipo problema: Isolamento dal rumore trasmesso attraverso le finestre

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Unità abitative

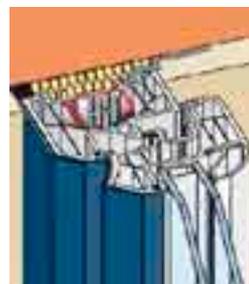
Note: I serramenti sono l'elemento che incide maggiormente sull'isolamento acustico di facciata. Da utilizzare qualora non si possa limitare l'emissione da parte della fonte sonora oppure non si possano installare barriere fonoisolanti in prossimità della sorgente.



Finestra in vetro monolitico



Vetro multistrato



Particolare del montaggio

Soluzione: Aumentare il fonoisolamento sostituendo il vetro esistente con uno di spessore maggiore.

Commento: Lo spessore del vetro è il fattore che influenza in modo essenziale il potere fonoisolante delle finestre. Aumentare lo spessore del vetro è a volte sufficiente a riportare i livelli di pressione sonora al di sotto dei limiti di legge. In Tabella si riportano i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w per vetri monolitici o stratificato di diverso spessore.

vetri monolitici	
spessore del vetro	R_w
4 mm	30 dB
6 mm	32 dB
16 mm	36 dB
19 mm	40 dB
vetri stratificati	
spessore del vetro	R_w
9 mm	37 dB
11 mm	38 dB
13 mm	39 dB
16 mm	40 dB

Occorre tuttavia tener presente che, in aggiunta allo spessore del vetro, rivestono fondamentale importanza:

- il tipo di serramento: si consiglia di utilizzare serramenti di tenuta all'aria almeno pari alla classe quarta e di affidarsi a manodopera specializzata per la posa in opera
- la mancanza di fughe nel sistema di montaggio a parete

Per approfondimenti: Pilkington, Internorm, Saint Gobain Glass

Edilizia residenziale	16
Sostituzione dei vetri di facciata con vetrocamera	Generale

Tipo problema: Isolamento dal rumore trasmesso attraverso le finestre

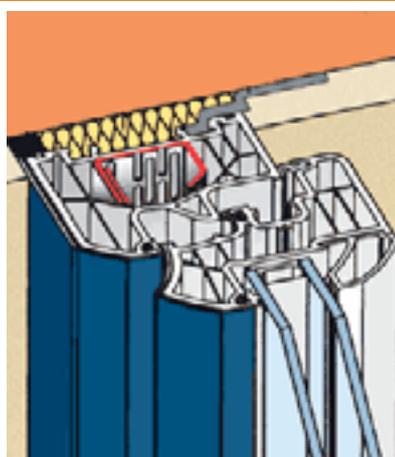
Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Unità abitative

Note: I serramenti sono l'elemento che incide maggiormente sull'isolamento acustico di facciata. Da utilizzare qualora non si possa limitare l'emissione da parte della fonte sonora oppure non si possano installare barriere fonoisolanti in prossimità della sorgente.



Vetrocamera



Particolare del montaggio

Soluzione: Aumentare il fonoisolamento sostituendo il vetro esistente con una vetrocamera.

Commento: La vetrocamera, già nota per le sue prestazioni nell'ambito dell'isolamento termico, rappresenta una valida soluzione anche nel caso dell'isolamento acustico. Nelle tabelle seguenti si riportano i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w per vetrocamere di vario tipo.

Vetrocamera con vetri monolitici	
tipologia di vetrocamera	R_w
6-12-6 mm	33 dB
10-12-4 mm	36 dB
10-12-6 mm	38 dB
Vetrocamere con vetri stratificati	
tipologia di vetrocamera	R_w
6-12-7 mm	38 dB
6-12-11 mm	41 dB
13-12-13 mm	45 dB

Occorre tuttavia tener presente che, in aggiunta alla scelta del vetro, rivestono fondamentale importanza:

- il tipo di serramento: si consiglia di utilizzare serramenti di tenuta all'aria almeno pari alla classe quarta e di affidarsi a manodopera specializzata per la posa in opera
- la mancanza di fughe nel sistema di montaggio a parete

Per approfondimenti: Pilkington, Internorm, Saint Gobain Glass

Edilizia residenziale	15
Uso di doppie finestre	Generale

Tipo problema: Isolamento dal rumore trasmesso attraverso le finestre

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Unità abitative

Note: I serramenti sono l'elemento che incide maggiormente sull'isolamento acustico di facciata. Da utilizzare qualora non si possa limitare l'emissione da parte della fonte sonora oppure non si possano installare barriere fonoisolanti in prossimità della sorgente.



Doppia finestra

Soluzione: Aumentare il fonoisolamento installando una vetrata esterna aggiuntiva.

Commento: L'installazione di una seconda finestra, esterna, è una soluzione pratica ed efficace per migliorare il fonoisolamento. Il principio di funzionamento è analogo a quello delle vetrocamere, dove in questo caso l'intercapedine d'aria è considerevolmente più estesa. Si riportano in tabella i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w per vari tipi di installazione.

Caratteristiche acustiche delle doppie finestre	
tipologia di vetrocamera	R_w
6-100-4 mm	46 dB
6-150-4 mm	47 dB
10-200-6 mm	49 dB

Occorre tuttavia tener presente che, in aggiunta alla scelta del vetro, rivestono fondamentale importanza:

- il tipo di serramento: si consiglia di utilizzare serramenti di tenuta all'aria almeno pari alla classe quarta e di affidarsi a manodopera specializzata per la posa in opera;
- la mancanza di fughe nel sistema di montaggio a parete.

Per approfondimenti: Internorm, Saint Gobain Glass

Edilizia residenziale	16
Uso di balconi a setti orientabili	Generale
<p>Tipo problema: Isolamento dal rumore trasmesso attraverso le finestre, in particolare modo durante il periodo notturno</p>	
<p>Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno</p>	
<p>Ricettore: Unità abitative</p>	
<p>Note: I serramenti sono l'elemento che incide maggiormente sull'isolamento acustico di facciata. Da utilizzare qualora i limiti di livello di pressione sonora vengano superati durante il periodo notturno.</p>	
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Persiane a setti orientabili</p>	
<p>Soluzione: Installare balconi con setti orientabili.</p>	
<p>Commento: Qualora vengano superati i limiti di immissione durante il periodo notturno, l'installazione di balconi con setti orientabili fornisce l'adeguata soluzione. Durante il periodo notturno i setti vengono chiusi completamente garantendo un ottimo fonoisolamento. Durante il periodo diurno, i setti possono essere parzialmente aperti, regolando opportunamente la luminosità dell'ambiente. Tuttavia, la presenza di aperture riduce drasticamente le proprietà di fonoisolamento.</p>	
<p>Per approfondimenti: Kikau, Montano & Vatta</p>	

Edilizia residenziale	17
Uso di avvolgibili metallici	Generale

Tipo problema: Isolamento dal rumore trasmesso attraverso le finestre, in particolar modo durante il periodo notturno

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Unità abitative

Note: I serramenti sono l'elemento che incide maggiormente sull'isolamento acustico di facciata. Questa soluzione va utilizzata qualora i limiti di livello di pressione sonora vengano superati durante il periodo notturno.



Avvolgibili metallici

Soluzione: Installare avvolgibili in metallo.

Commento: Questa soluzione, di costo contenuto ma efficace, consente l'abbattimento del livello di pressione sonora di 20 - 25 dB, limitatamente al periodo notturno. In genere, gli avvolgibili sono in alluminio o acciaio ed uniscono alle proprietà fonoisolanti anche buone caratteristiche di isolamento termico.

Per approfondimenti: Kikau, Montano & Vatta

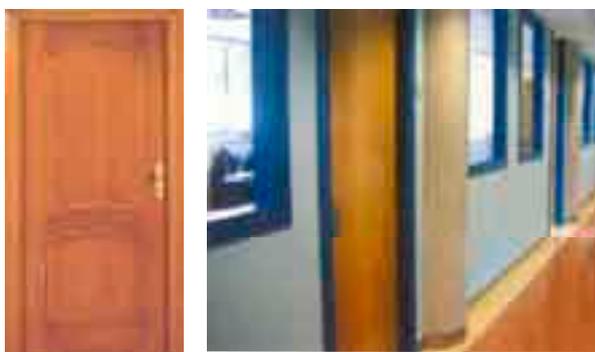
Edilizia residenziale	18
Porte fonoisolanti	Generale

Tipo problema: Isolamento dal rumore trasmesso attraverso la porta d'ingresso

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno

Ricettore: Unità abitative

Note: I serramenti sono l'elemento che incide maggiormente sull'isolamento acustico di facciata. È consigliabile esaminare questa soluzione prima di ricorrere alla bonifica dell'intera parete di facciata.



Porte fonoisolanti

Soluzione: Installare porte fonoisolanti negli ingressi

Commento: Il valore di isolamento acustico di facciata dipende in primo luogo dalle prestazioni dei serramenti e delle porte, e solo secondariamente dalle prestazioni della parte in muratura. Le porte fonoisolanti sono in genere costituite da una doppia lamiera in acciaio, riempita di materiale fonoisolante, e ricoperta su ambo i lati da pannelli in legno. I valori di fonoisolamento ottenibili sono riportati in tabella e dipendono, oltre che dalla struttura della porta, anche dalle modalità di montaggio, in particolare dalla tenuta all'aria e dal tipo di perni utilizzati. In aggiunta, le porte così composte hanno ottima resistenza al fuoco e all'effrazione.

Caratteristiche acustiche delle porte	
tipo di installazione	Rw
porta fonoisolante a struttura metallica, con finiture a pannelli in legno, senza accorgimenti nel montaggio	20-27 dB

Per approfondimenti: Global building

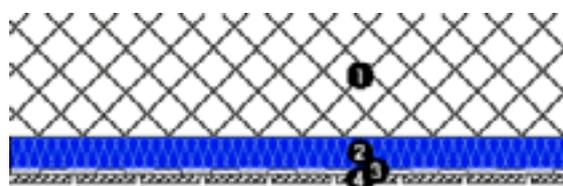
Edilizia residenziale	19
Controsoffitto in aderenza	Generale

Tipo problema: Isolamento acustico del soffitto

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno o dall'unità abitativa soprastante attraverso il soffitto

Ricettore: Unità abitative

Note: Viene utilizzato qualora nell'unità abitativa soprastante vengano esercitate attività rumorose oppure quando l'unità abitativa è collocata all'ultimo piano ed il tetto dell'abitazione è ad una quota inferiore a quella del piano stradale (ad es. in prossimità dei viadotti).



- 1) soffitto
- 2) pannello fonoisolante
- 3) velo di pulizia
- 4) materiale fonoassorbente

Controsoffitto fonoisolante

Soluzione: Posa in opera di uno strato fonoisolante a contatto con il soffitto

Commento: I pannelli fonoisolanti vanno fissati direttamente al soffitto; a coprire viene poi posato un materiale fonoassorbente, per garantire o migliorare il comfort acustico del locale. Per la posa in opera, è essenziale seguire minuziosamente le istruzioni fornite dal produttore del pannello, servendosi di manodopera specializzata. In particolare, i pannelli fonoassorbenti devono combaciare perfettamente fra loro, lungo i quattro lati. Le caratteristiche acustiche dipendono dalle specifiche del materiale fonoassorbente e dall'accuratezza della posa in opera.

Per approfondimenti: Celenit, Ghiotto Edilizia, Acustica Sistemi, Isover ed altri fornitori di materiale fonoisolante

Edilizia residenziale	20
Controsoffitto sospeso	Generale

Tipo problema: Isolamento acustico del soffitto

Fonte: Ogni tipo di rumore proveniente dall'esterno o dall'unità abitativa soprastante attraverso il soffitto

Ricettore: Unità abitative

Note: Viene utilizzato qualora nell'unità abitativa soprastante vengano esercitate attività rumorose oppure quando l'unità abitativa è collocata all'ultimo piano ed il tetto dell'abitazione è ad una quota inferiore a quella del piano stradale (ad es. in prossimità dei viadotti).



- 1) soffitto
- 2) intercapedine d'aria
- 3) pannello fonoisolante
- 4) velo di pulizia
- 5) materiale fonoassorbente

Controsoffitto fonoisolante

Soluzione: Posa in opera di un controsoffitto fonoisolante con intercapedine d'aria

Commento: I pannelli fonoisolanti vengono fissati al soffitto tramite distanziatori; ad essi viene fissata una finitura con materiale fonoassorbente, per garantire o migliorare il comfort acustico del locale. Per la posa in opera, è essenziale seguire minuziosamente le istruzioni fornite dal produttore del pannello, servendosi di manodopera specializzata. In particolare, i pannelli fonoassorbenti devono combaciare perfettamente fra loro, lungo i quattro lati. Le caratteristiche acustiche dipendono dalle specifiche del materiale fonoassorbente e dall'accuratezza della posa in opera.

Per approfondimenti: Celenit, Ghiotto Edilizia, Acustica Sistemi, Isover ed altri fornitori di materiale fonoisolante

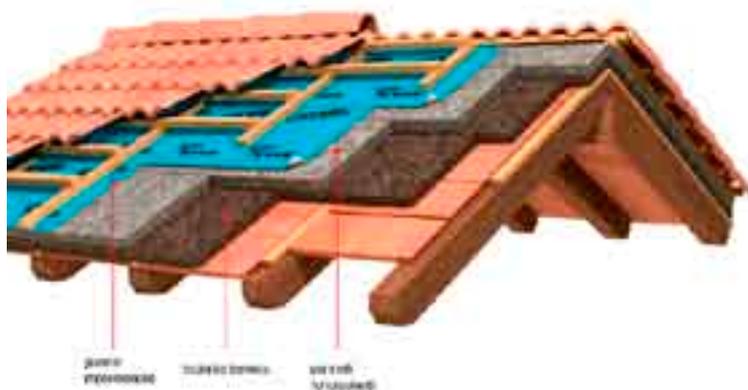
Edilizia residenziale	21
Tetto fonoisolante, rivestimento interno	Generale

Tipo problema: Risanamento acustico di singole unità abitative

Fonte: Traffico stradale, autostradale o linea ferroviaria

Ricettore: Unità abitative

Note: In genere risulta essere un intervento di marginale importanza, se non nel caso in cui il tetto dell'abitazione sia ad una quota inferiore a quella del piano stradale. Con questa soluzione viene persa la caratteristica finitura interna con travi a vista.



Fonoisolamento del tetto

Soluzione: Applicazione di pannelli fonoisolanti al soffitto

Commento: Nel caso di un fabbricato esistente ovvero quando non si voglia intervenire drasticamente sulla struttura complessiva della copertura è sufficiente riempire lo spazio fra le travi con materiale fonoisolante, posando a finire uno strato di materiale fonoassorbente (opzionale) intonacabile. Quando invece si preferisca un intervento più invasivo sulla copertura, occorrerà prevedere uno strato di isolamento termico sopra la travatura, protetto da una guaina impermeabile su cui vanno posati i listelli in legno di supporto alle tegole. I valori di fonoisolamento variano a seconda della soluzione tecnica adottata. Il costo indicativo è pari a 40-50 Euro/mq

Per approfondimenti: Celenit

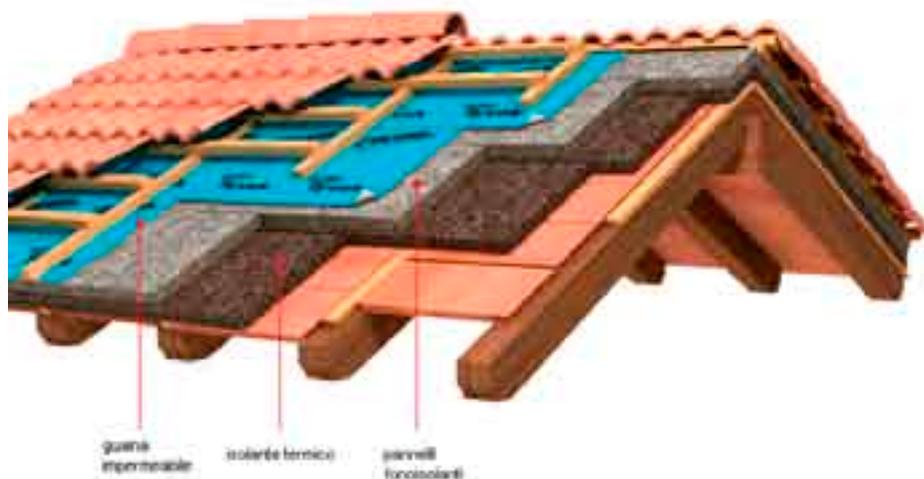
Edilizia residenziale	22
Tetto fonoisolante, isolamento sopra i travi	Generale

Tipo problema: Risanamento acustico di singole unità abitative

Fonte: Traffico stradale, autostradale o linea ferroviaria

Ricettore: Unità abitative

Note: In genere risulta essere un intervento di marginale importanza, se non nel caso in cui il tetto dell'abitazione sia ad una quota inferiore a quella del piano stradale. Con questa soluzione viene mantenuta la caratteristica finitura interna con travi a vista.



Fonoisolamento del tetto

Soluzione: Applicazione di pannelli fonoisolanti al soffitto

Commento: In questo caso è necessario intervenire in modo invasivo sulla struttura complessiva del tetto. Sopra il solaio in laterizio viene posato un primo strato termoisolante, quindi si procede alla posa in opera dei pannelli fonoassorbenti, curando in modo particolare l'assenza di discontinuità laterali. Infine, viene stesa una guaina impermeabile su cui poggiano i tasselli in legno a supporto delle tegole.

I valori di fonoisolamento variano a seconda della soluzione tecnica adottata. Il costo indicativo è pari a 40-50 Euro/mq

Per approfondimenti: Celenit

Edilizia residenziale	23
Insonorizzazione dei camini delle centrali termiche	Generale
<p>Tipo problema: Emissione rumorosa da parte dei camini delle centrali termiche ad uso abitativo, nelle zone ad elevata densità abitativa</p>	
<p>Fonte: Centrale termica</p>	
<p>Ricettore: Unità abitative adiacenti</p>	
<p>Note: Viene utilizzato quando i camini delle centrali termiche per uso residenziale, pur presentando bassi livelli di emissione rumorosa, sono collocati in zone ad elevata densità abitativa arrecando perciò disturbo alle unità abitative adiacenti.</p>	
 <p data-bbox="491 1675 911 1731">Insonorizzazione del camino di scarico di una centrale termica</p>	<p>Soluzione: Viene posto un silenziatore lungo il camino di scarico fumi.</p> <p>Commento: Le caldaie di riscaldamento hanno spesso una potenzialità molto inferiore a quella delle caldaie industriali ma, proprio per il loro posizionamento nelle zone abitative, l'emissione sonora dal camino ne fa sovente una sorgente di notevole disturbo, in particolare nelle ore notturne.</p> <p>Il silenziatore più idoneo allo scopo viene identificato in ogni caso specifico, a seconda dello spettro in frequenza del rumore emesso e della portata d'aria necessaria all'impianto. A causa di quest'ultimo problema le dimensioni del dispositivo possono talvolta essere rilevanti.</p> <p>Il prodotto va valutato attentamente anche sulla base dei costi di manutenzione, che possono essere elevati qualora non siano stati usati nella costruzione i materiali opportuni. Si possono ottenere abbattimenti del livello di pressione sonora L_p di 4 - 8 dB, a seconda del tipo e delle dimensioni del silenziatore.</p>
<p>Per approfondimenti: Stopson Italiana</p>	

7. Per approfondire

7.1 Università e istituti di ricerca italiani

Università - Istituto	Sito
CEMOTER-CNR, Istituto per le Macchine Movimento Terra e Veicoli Fuoristrada, Ferrara	http://cemoter.da.ru
DETEC, Dipartimento di Energetica Termofluidodinamica applicata e Condizionamenti ambientali, Università di Napoli	www.detec.unina.it
DIENCA, Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale, Università di Bologna	http://tori.ing.unibo.it/dienca
Dipartimento di Fisica Tecnica, Università di Padova	http://www.dft.unipd.it
Dipartimento di ingegneria, Università di Ferrara	http://www.unife.it
IDAC-CNR, Istituto di Acustica O.M. Corbino, Roma	http://www.rm.iac.cnr.it/indexroma.htm
IEN, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Torino	http://www.iem.it
Scuola di Acustica, Università di Ferrara	http://acustica.ing.unife.it/scuola_acustica
CIRIAF, Centro Interuniversitario di Ricerca dell'Inquinamento da Agenti Fisici, Università di Perugia	http://www.unipg.it/~cotana/mainciriaf.htm
Istituto Giordano, Centro politecnico di ricerca e certificazione	http://www.arx.org/istitutogiordano.htm
CNR - Istituto di Acustica	http://www.idac.rm.cnr.it/

7.2 Università e istituti di ricerca stranieri

Università - Istituto	Sito
Acoustics Department, Penn State University, USA	http://www.acs.psu.edu
Ando Lab, Kobe University, Japan	no
CAV, Center for Acoustics and Vibration - Penn State University, USA	http://kirkof.psu.edu
CERIB, Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton, Epemon, France	http://www.cerib.fr
CIDB, Centre d'information et de documentation sur le Bruit, Paris, France	http://www.bruit.fr/FR/info/00
CSTB, Centre Scientifique et Technique du Batiment, Grenoble, France	http://www.cstb.fr
ENTPE-LASH CNRS, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Lyon, France	no
G.A.U.S., Groupe d'acoustique de l'Université de Sherbrooke, University of Sherbrooke, Canada	http://www.gaus.gme.usherb.ca/eng
IA-CSIC, Instituto de Acustica, Madrid, Spain	http://www.ia.csic.es
IBP, Institut für Bauphysik-Fraunhofer, Stuttgart, Germany	http://www.ibp.fhg.de/index_e.html
IRCAM, Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique, Paris, France	http://www.ircam.fr
ISVR, Institute of Sound and Vibration Research (ISVR), Southampton, UK	http://www.isvr.soton.ac.uk
LAVA, Laboratory of Vibro-Acoustics - Université Laval, Québec, Canada	no
LCPC, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France	http://www.lcpc.fr
MIT, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA	http://web.mit.edu
Physics Department, University of Oldenburg, Germany	http://www.physik.uni-oldenburg.de/Docs/aku
School of Acoustics and Electronic Engineering, University of Salford, UK	http://www.cse.salford.ac.uk
State Research Center N. N. Andreyev Acoustics Institute, Russia	http://www.akin.ru/e_main.htm
Telford Institute of Acoustics, University of Salford, UK	http://www.acoustics.salford.ac.uk
TRL, Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK	http://www.trl.co.uk
VAL, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA	http://www.val.me.vt.edu
World Forum for Acoustic Ecology, University of Oregon, USA	http://interact.uoregon.edu/MediaLit/WFAE/home/index.html

7.3 Associazioni scientifiche

Associazione	Sito
AIA, Associazione Italiana di Acustica	www.associazioneitalianadiacustica.it
AES, Audio Engineering Society, USA	http://www.aes.org
ASA, Acoustical Society of America, USA	http://asa.aip.org
ASJ, Acoustical Society of Japan, Japan	http://www.asj.gr.jp/index-en.html
DEGA, Deutsche Gesellschaft für Akustik, Germany	http://www.dega-akustik.de
EAA, European Acoustics Association	http://www.european-acoustics.org
FIA, Iberoamerican Federation of Acoustics	http://www.fia.ufsc.br
ICA, International Commission on Acoustics	http://www.icacommission.org
IIAV, International Institute of Acoustics and Vibration	http://www.iiav.org
INCE, Institute of Noise Control Engineering, USA	http://www.inceusa.org
I-INCE, International Institute of Noise Control Engineering	http://www.i-ince.org
IOA, Institute of Acoustics, UK	http://www.ioa.org.uk
Institute of Sound and Vibration Research-acoustics (ISVR)	http://www.isvr.soton.ac.uk
NAS, Acoustical Society of Norway, Norway	http://www.akustisk-selskap.com/english_startpage.html
NZA, New Zealand Acoustical Society, NZ	http://www.nzas.auckland.ac.nz
ÖAL, Österreichische Arbeitsring für Lärmbekämpfung, Austria	http://www.oal.at
SEA, Sociedad Española de Acústica, Spain	http://www.ia.csic.es
SFA, Société Française d'Acoustique, France	http://www.sfa.asso.fr
TADITAS, Turkish Acoustical Society, Turkey	http://www.takder.org

7.4 Associazioni professionali

Associazione	Sito
Assoacustici, Italia	http://www.assoacustici.it
CIADI, Unione Costruttori di Impianti ed Apparecchiature di Insonorizzazione, Italia	http://www.ciadi.it
Associazione Italiana per la Difesa dal Rumore	http://www.missionerumore.it
Associazione Italiana di Acustica	http://www.associazioneitalianadiacustica.it
Associazione Ambiente e Lavoro	http://www.amblav.it
Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e Acustico	http://www.anit.it
Euroacustici	http://www.euroacustici.org

7.5 Riviste italiane

Rivista	Sito
RIA, Rivista Italiana di Acustica	http://www.associazioneitalianadiacustica.it/RIA.htm
Inquinamento acustico	http://www.inquinamentoacustico.it

7.6 Riviste internazionali

Rivista	Sito
Acoustics Abstracts	http://www.multi-science.co.uk/acous.htm

Acta Acustica united with Acustica	http://www.eaa-fenestra.org/Products/ActaAcustica/
Applied Acoustics	http://www.elsevier.nl/inca/publications/store/4/0/5/8/9/0/index.htm
Building Acoustics	http://www.multi-science.co.uk/buildaco.htm
Electronic Journal Technical Acoustics	http://webcenter.ru/~eeaa/ejta/
International Journal of Acoustics and Vibration	http://www.rcom.ru/IJAV/
International Journal of Aeroacoustics	http://www.multi-science.co.uk/aeroacou.htm
International Sound and Vibration Digest	http://www.auburn.edu/isvd/
Journal of Sound and Vibration	http://www.elsevier.com/locate/issn/0022-460X
Journal of the Acoustical Society of America	http://ojps.aip.org/jasa/
Journal of the Audio Engineering Society	http://www.aes.org/journal/
JSV+	http://www.harcourt-international.com/journals/jsv/
Low Frequency Noise, Vibration and Active Control	http://www.multi-science.co.uk/lowfreq.htm
Noise and Vibration Bulletin	http://www.multi-science.co.uk/nvb.htm
Noise and Vibration in Industry	http://www.multi-science.co.uk/nvi.htm
Noise and Vibration Worldwide	http://www.multi-science.co.uk/nwww.htm
Noise Notes	http://www.multi-science.co.uk/noisenotes.htm
Noise/News International	http://users.aol.com/noisenewsi/nni.html

7.7 Hardware e software in Italia

Società	Sito
01dB Italia	http://www.01db.it/
AESSE Misure	http://www.aesse-misure.it/
Bruel Kjaer - Spectris	http://www.bksv.com
Microbel	www.microbel.it/
Ramsete	www.ramsete.com
SCS Controlli e Sistemi	www.scs-controlsys.com
SPECTRA	www.spectra.it/

7.8 Altri siti internazionali

Ente	Sito
The Sixth Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration of the European Community	http://www.europa.eu.int/comm/research/fp6/index_en.cfm
ERTRAC - European Road Transport Research Advisory Council	http://www.ertrac.org
This website provides EU noise documents such as reports of working groups, position papers, etc.	http://www.forum.europa.eu.int/Public/irc/env/noisedir/library
ACARE - the Advisory Council for Aeronautical Research in Europe.	http://www.acare4europe.com/
ERRAC - the European Rail Research Advisory Council.	http://www.errac.org/
The German Research Network "Quiet Traffic".	http://www.fv-leiserverkehr.de/FV-LeiserVerkehr/index-e.htm
The Specific Research and Technological Development Programme "Competitive and Sustainable Growth" of the European Commission.	http://europa.eu.int/comm/research/growth/
The Community Research and Development Information System.	http://www.cordis.lu/
The Noise Policy Website of the EC, DG Environment.	http://www.europa.eu.int/comm/environment/noise/

7.9 I progetti europei sull'inquinamento acustico

La crescente attenzione posta a livello comunitario sull'inquinamento acustico è testimoniata dalla presenza di una serie di progetti europei che affrontano i diversi aspetti della problematica. Un argomento così complesso, infatti, richiede approfondimenti sotto più punti di vista, a partire dalle tecniche di misura del rumore fino all'individuazione di pratiche sostenibili per limitare il disagio acustico in ambiente urbano, con particolare riferimento all'inquinamento dovuto alle infrastrutture di trasporto ed alla mobilità in genere.

I principali progetti in corso o da poco conclusi che si possono citare sono:

- **CALM** (Coordination of European Research for Advanced Transport Noise Mitigation): network tematico che si propone di indicare, su scala europea, gli obiettivi di ricerca principali in campo acustico, per ridurre la produzione di rumore e migliorare la qualità della vita in Europa (con particolare attenzione al rumore prodotto dalle infrastrutture di trasporto e alla creazione di nuovi metodi di previsione del rumore), www.calm-network.com/
- **IMAGINE** (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment) : principalmente orientato alle problematiche del noise mapping, www.imagine-project.org
- **GIPSYNOISE** (GIpSyNOISE): volto alla realizzazione di un software in piattaforma GIS che rappresenti sotto forma di mappe tematiche i dati di rumore sovrapposti a quelli sociali, economici e urbani, fungendo in tal modo di aiuto per i "decision makers", www.gipsynoise.org
- **QCITY** (Quiet City Transport): volto a proporre una serie di azioni e soluzioni concrete che possano essere realisticamente realizzate nei piani di azione che le Amministrazioni comunali devono produrre a seguito della direttiva 2002/49/EC, <http://qcity.dyndns.org/index.php>
- **SILENCE** (Quieter Surface Transport in Urban Areas): mira a sviluppare una metodologia integrata e una tecnologia per migliorare il controllo del rumore prodotto dal trasporto di superficie nelle aree urbane, <http://www.silence-ip.org/>
- **SMILE**: il progetto, conclusosi nel maggio 2004, ha raccolto in un database dedicato 170 best practices relative alla mobilità sostenibile in ambito urbano, producendo anche delle linee guida sull'abbattimento del rumore stradale, <http://www.smile-europe.org>
- **SILVIA** (SILenda VIA, Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control): per lo studio di metodi di riduzione del rumore da traffico con interventi sulla superficie stradale, progetto terminato nell'agosto 2005 che ha prodotto delle linee guida sull'implementazione di superfici stradali a basso impatto acustico, <http://www.trl.co.uk/silvia/index.htm>
- **ROTRANOMO** (Road TRAfic NOise MOdel): l'obbiettivo consiste nell'elaborazione di una nuova metodologia previsionale per il rumore dovuto al traffico stradale, rappresentando in dettaglio sia l'evoluzione temporale dei flussi di traffico sia le sorgenti, <http://www.rotranomo.com/>
- **X-NOISE**: dedicato alla riduzione del rumore aeroportuale in Europa, <http://www.x-noise.net/>
- **SOURDINE II** (Study of Optimisation procedURes for Decreasing the Impact of NoisE): volto alla standardizzazione e armonizzazione delle procedure di atterraggio e decollo degli aeromobili per ridurre l'impatto acustico da essi provocato, <http://www.sourdine.org/>
- **RANCH** (Road traffic & Aircraft Noise & Children's cognition & Health): il progetto ha esaminato le relazioni esposizione/effetto tra l'esposizione cronica in edifici scolastici al rumore aeroportuale e stradale e gli effetti a livello cognitivo e di salute, http://www.ichs.qmul.ac.uk/ranch_project/
- **HYENA** (HYpertension and Exposure to Noise near Airports): volto alla valutazione degli impatti del rumore aeroportuale e stradale sul sistema cardiovascolare, <http://www.hyena.eu.com/>

7.10 Bibliografia

APAT "Qualità dell'ambiente urbano - Il Rapporto APAT Edizione 2005" - 2006

ARPAT Dipartimento provinciale di Firenze "Progetto per la stesura del primo Piano di risanamento acustico della città di Firenze". - 2006

Associazione Italiana di Acustica "I Piani di Risanamento Acustico delle aree urbane" a cura di D. Bertoni e A. Peretti - 1999

Autostrada del Brennero S.p.A. - Direzione Tecnica, "Capitolato Speciale d'Appalto - Norme Tecniche", Trento 1998.gno 1998

David Casini - Simone Secchi - Cesare Fagotti - Andrea Poggi "Prestazioni acustiche di asfalti fonoassorbenti a doppio strato", ARPAT, Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana e Comune di Firenze, Firenze 1998

G. Mucci, L. Rocco, "Barriere antirumore per il traffico stradale", Maggioli Editore, Rimini 1993;
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze "Progettare il risanamento acustico" a cura di G. Galassi e S. Luzzi - 2006

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze "Rumore nei trasporti" a cura di G. Galassi e S. Luzzi - 2004

ANPA, Agenzia per la protezione dell'Ambiente. "Linee Guida per l'elaborazione di piani comunali di risanamento acustico" a cura di Anpa, Appa Bolzano, APPA Trento, ARPA Emilia Romagna, ARPA Liguria, ARPA Valle D'Aosta, ARPA Veneto, ARPA Toscana, Regione Lombardia. Roma, 1998

7.11 Elenco dei tecnici acustici

L'elenco dei tecnici competenti in acustica e iscritti all'albo della Regione Veneto è disponibile all'indirizzo http://www.arpa.veneto.it/agenti_fisici/htm/rumore_tecnici_elenco.asp.

Le principali associazioni degli "specialisti in acustica" (suono, rumore e vibrazioni) in Italia sono inoltre: Assoacustici, Euroacustici, Associazione italiana di acustica.

8. Glossario dei termini acustici

A

ACUSTICA - La scienza che studia la generazione, la propagazione e la rilevazione dei fenomeni acustici. (2)

ARMONICA - Componente sinusoidale di un'onda periodica complessa, la cui frequenza è multiplo intero della frequenza fondamentale dell'onda. La componente di un suono avente frequenza doppia di quella fondamentale è definita seconda armonica. (3)

ASSORBIMENTO ACUSTICO (COEFFICIENTE DI) - Il coefficiente di assorbimento acustico di un materiale, la cui superficie sia esposta ad un campo sonoro, è il rapporto tra l'energia sonora assorbita dalla superficie e quella totale incidente. (3)

ATTENUAZIONE - Riduzione del livello di pressione acustica a seguito dell'apprestamento di un sistema (o dispositivo) antirumore. (1)

AUDIOGRAMMA - Grafico sull'abilità uditiva di una persona in una gamma di frequenze. (1)

B

BANDA D'OTTAVA - Gamma di frequenze il cui limite superiore ha valore doppio del limite inferiore. (3)

ARRIERE ACUSTICHE - Una barriera acustica è un dispositivo utilizzato per ridurre la propagazione del rumore lungo una certa direzione. Esso viene interposto sul percorso di propagazione del rumore per via aerea, tra la sorgente ed il ricevitore. La presenza del suolo influisce sulla propagazione del suono all'aperto a causa dell'interferenza tra il suono riflesso dal suolo ed il suono trasmesso per via aerea. L'attenuazione che ne deriva dipende dalle quote della sorgente e del ricevitore e dalle caratteristiche superficiali del suolo. (2)

C

CAMPO SONORO - Insieme dei punti del mezzo di propagazione interessati al fenomeno sonoro. Conoscenza in ogni punto delle grandezze acustiche. (2)

CAMPO SONORO DIFFUSO - Campo sonoro in cui la densità di energia è uguale in ogni punto e tutte le direzioni di propagazione sono equiprobabili. (3)

CAMPO SONORO LIBERO - Spazio non influenzato in modo apprezzabile da riflessioni sonore. (3)

D

DECIBEL (dB) - Unità di misura logaritmica che rappresenta il rapporto tra livello acustico misurato e livello acustico di riferimento corrispondente approssimativamente al suono più debole percepibile dall'orecchio umano. Più alto è il livello acustico misurato in dB, più rumoroso è il suono. In genere, un aumento di 2 dB è appena percepibile, di 5 dB è chiaramente percepibile e di 10 dB è percepito come un raddoppio del rumore. (1)

DECIBEL dB(A) - Si specifica dB(A) quando i valori sono espressi tenendo conto delle caratteristiche uditive dell'orecchio umano e quindi secondo una determinata curva di ponderazione. (2)

DIFFRAZIONE - E' una caratteristica che si manifesta ogni volta che un'onda sonora incontra un ostacolo. Il fronte d'onda viene alterato (in fase e/o in ampiezza) e la propagazione non è più rettilinea. Al di là dell'ostacolo i fronti d'onda interferiscono e si produce una distribuzione di intensità (diffrazione).

F

FENOMENI ACUSTICI - Fenomeni oscillatori che si propagano in un mezzo elastico. (2)

FONOASSORBENTE - Si dice di un materiale in grado di diminuire la riflessione del suono sulla propria superficie. Le proprietà assorbenti dei materiali vengono quantificate attraverso il coefficiente di assorbimento acustico, definito come il rapporto tra l'energia sonora assorbita e l'energia incidente. (2)

FREQUENZA - Si riferisce a un fenomeno periodico o ciclico, ad es. le onde sonore. La frequenza è l'inverso del periodo di un'onda e rappresenta il numero di oscillazioni (cicli) che l'onda compie nell'unità di tempo. L'unità di misura della frequenza è l'Hertz (Hz) che corrisponde a 1 ciclo al secondo. (1)

FREQUENZA FONDAMENTALE - Frequenza con cui una funzione periodica riassume gli stessi valori. (3)

G

GRADO DI RIDUZIONE DEL RUMORE (NRR) - Metodo dell'agenzia americana EPA di combinare i dati di attenuazione e deviazione standard degli otoprotettori a frequenze diverse in modo da ottenere un unico numero (indice) che misura la riduzione del rumore offerta dalla protezione acustica. Il valore NRR si sottrae dal livello acustico ponderato C ad ottenere il valore di esposizione in dB(A). (1)

H

HERTZ - Vedere FREQUENZA (1)

I

INTENSITÀ - L'intensità di un'onda è definita come l'energia media trasmessa attraverso una superficie unitaria perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda, per l'unità di tempo. (3)

K

K - Prefisso che indica un multiplo di 1.000 (ad es. 1 kHz corrisponde a 1.000 Hz). (1)

L

LEQ - È il Livello EQuivalente o pressione acustica equivalente, espresso in decibel, di un suono che ha la stessa energia dei suoni misurati in un determinato intervallo di tempo. Si dice LAEQ quando il livello equivalente è riferito ad un rumore secondo la ponderazione A. (2)

LIVELLO DI POTENZA SONORA - Valore uguale a 10 volte il logaritmo decimale del rapporto fra la potenza sonora totale irradiata da una sorgente e la potenza sonora di riferimento, di norma considerata uguale a 10-12 W. (3)

LIVELLO DI PRESSIONE SONORA - Valore uguale a 20 volte il logaritmo decimale del rapporto fra il valore efficace della pressione sonora di un suono e la pressione sonora di riferimento che di norma è considerata uguale a 20 μ Pa (2×10^{-5} N/m²). (3)

LIVELLO SONORO DI FONDO - Livello sonoro generalmente presente in una determinata area. (3)

LVA - È l'indice di valutazione del rumore aeroportuale. Si ricava da equazioni che si basano sul Livello del Singolo Evento (SEL), descrittore idoneo a qualificare un evento sonoro quale un transito aereo. (2)

M

MASCHERAMENTO - Innalzamento della soglia uditiva nella percezione di un suono puro in presenza di un altro suono. (3)

O

OMBRA SONORA - Analogia acustica del concetto di ombra in ottica; nella zona d'ombra sonora è solitamente presente una parte di energia sonora risultante da fenomeni di diffrazione. (3)

ONDE PIANE - Onde i cui fronti si mantengono paralleli fra loro e perpendicolari alla direzione di propagazione. (3)

OTTAVA - Intervallo tra due toni qualsiasi, uno dei quali ha frequenza fondamentale doppia dell'altro. (3)

P

PERDITA Uditiva - Innalzamento della soglia uditiva a determinate frequenze, dovuto ad invecchiamento, malattia o lesione degli organi uditivi per eccessiva esposizione rumore elevato. (3)

PHON - Misura del livello di sensazione sonora (in scala logaritmica) che confronta la sensazione sonora prodotta da un suono con quella prodotta da un suono puro a 1000 Hz, di livello di pressione sonora noto. (3)

PONDERAZIONE A - La misurazione di un rumore ponderata per riflettere la percezione uditiva dell'uomo. Le misurazioni ponderate A indicano meglio il potenziale effetto acustico provocato da un rumore. (1)

PONDERAZIONE C - Caratteristica del filtro che distingue tra suoni con frequenza molto bassa e molto alta. I livelli acustici misurati con questo filtro sono definiti dB(C). (1)

POTERE FONOISOLANTE (Sound reduction Index) - Valore uguale a 10 volte il logaritmo del rapporto tra l'energia sonora incidente su un pannello e l'energia sonora irradiata dalla superficie opposta del pannello. (3)

R

RISCHIO DI DANNO Uditivo (CRITERIO DI) - Livello di rumore, valutato in funzione della frequenza e di fattori quali la forma d'onda e l'intermittenza, al di sopra del quale vi è il rischio che una persona esposta subisca una perdita d'udito superiore ad un valore specificato. (3)

RIVERBERAZIONE - Persistenza di un suono all'interno di uno spazio chiuso, dopo l'interruzione della sorgente, dovuta alle riflessioni multiple sulle superfici che racchiudono lo spazio. (3)

RIVERBERAZIONE (TEMPO DI) - Tempo necessario affinché il livello di pressione sonora del suono riverberato, ad una data frequenza, sia ridotto di 60 dB rispetto a quello che si ha all'istante d'interruzione della sorgente. (3)

RUMORE - Generalmente definito come suono indesiderato. (1)

S

SABINE - Unità di misura dell'assorbimento acustico di una superficie. 1 Sabine equivale a 0,093 m² (1 ft²) di una superficie perfettamente assorbente. (3)

SENSAZIONE SONORA - Valutazione soggettiva dell'intensità di un suono. (3)

SIMBOLOGIA

R' W = indice del potere fonoisolante apparente di partizioni (sia verticali sia orizzontali) fra ambienti; questo indice deve essere valutato per gli elementi di separazione di due distinte unità abitative (appartamenti nel caso di civili abitazioni, camere nel caso di ospedali o alberghi, aule nel caso di scuole, uffici o reparti nel caso di ambienti di lavoro, ecc.).

D 2m,nT,W = indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata; questo indice deve essere valutato per la superficie perimetrale esterna delimitante l'ambiente (compresa la copertura) e tiene conto oltre che delle prestazioni delle murature, anche quella degli infissi e dei piccoli elementi quali cassonetti, bocchette di aerazione, ecc.

L' nW = indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato.

L AS,max = Livello massimo di pressione sonora ponderato A, costante di tempo slow, emerso dagli impianti a funzionamento discontinuo quali ascensori, scarichi idraulici, servizi igienici e rubinetteria.

SMORZAMENTO - Dissipazione d'energia cinetica in un mezzo oscillante mediante conversione in calore per effetto d'attrito o viscosità. (3)

SOGLIA DI DOLORE O DI PANICO - Livello minimo di pressione sonora di un suono, ad una data frequenza, per il quale una persona prova una sensazione di panico o dolore all'orecchio. (3)

SOGLIA DI UDIBILITÀ - Livello minimo di pressione sonora a cui una persona è in grado di percepire un suono ad una data frequenza. (3)

SORGENTE SONORA - Corpo vibrante che trasmette al mezzo elastico delle sollecitazioni di pressione variabili nel tempo con legge assegnata. La sorgente sonora dà luogo ad una successione di compressioni e rarefazioni degli strati di aria adiacenti ad essa e quindi genera delle oscillazioni di pressione che si propagano come onde progressive. La trasmissione della vibrazione meccanica dalla sorgente sonora al mezzo genera un trasferimento di energia dalla sorgente al mezzo stesso attraverso le onde progressive. (2)

SUONO - Fenomeni oscillatori caratterizzati da una variazione di pressione in un mezzo elastico come l'aria, in grado di stimolare l'udito. Tali fenomeni hanno una frequenza compresa tra 20 Hz e 20 kHz (frequenze acustiche). La sensazione soggettiva è causata da fluttuazioni della pressione dell'aria ambiente intorno alla pressione atmosferica. (1)

SUONO PER VIA AEREA - Energia sonora il cui mezzo di propagazione è l'aria. (3)

SUONO PER VIA SOLIDA - Energia sonora il cui mezzo di propagazione è un solido (ad esempio la struttura di un edificio). (3)

T

TONO PURO - Onda sonora composta di energia a una singola frequenza. (1)

V

VIBRAZIONI (ISOLAMENTO DALLE) - Qualsiasi mezzo atto a prevenire o ridurre la trasmissione di energia di vibrazione da parte di un corpo solido alla struttura sulla quale o nella quale è installato. (3)

Fonte : rielaborazione da 1) www.e-a-r.info, 2) www.provincia.milano.it, 3) www.materialiacustica.it

Comune di Venezia

Assessorato all'Ambiente

Ca' Farsetti, S. Marco 4137
30124 Venezia
Tel. +39 041 274 8917
urp@comune.venezia.it
www.comune.venezia.it

**Direzione Ambiente e
Sicurezza del Territorio
Servizio Aria e Energia**

via Verdi, 66
30171 Mestre - Venezia
Tel. +39 041 2749792
Fax. +39 041 2749752
ambiente.mestre@comune.venezia.it
www.ambiente.venezia.it