

Il rumore nell'ambiente esterno

2.1 Sorgenti di rumore esterno

2.1.1 Traffico stradale

Il rumore prodotto dal traffico stradale è fortemente influenzato dal tipo, dal numero e dalla velocità dei veicoli.

Per quanto riguarda il tipo di veicoli, le figure 15 e 16 riportano gli spettri sonori tipici di veicoli rispettivamente leggeri (autoveicoli, furgoni) e pesanti (autocarri, autoarticolati): questi ultimi emettono più potenza alle basse frequenze e danno un livello sonoro complessivo ponderato A superiore. Altri tipi di veicoli possono essere caratterizzati da spettri di emissione leggermente diversi (per esempio motocicli), ma il valore complessivo del livello sonoro ponderato A rimane prossimo a quello dei veicoli leggeri.

L'effetto del numero di veicoli che percorrono la strada si esplica con la somma energetica delle potenze emesse dai singoli veicoli: pertanto il raddoppio del numero di veicoli che transitano in un'ora produce un aumento del livello equivalente di 3 dB(A).

La velocità dei veicoli fa variare la potenza complessiva emessa, mentre lo spettro viene solo minimamente alterato nella sua forma. Nonostante il notevole incremento di rumorosità massima al crescere della velocità, il livello equivalente risente notevolmente meno di questo effetto, poiché viene ridotto il tempo di passaggio del veicolo.

Per quanto riguarda la caratteristica di localizzazione e direttività delle sorgenti, si può considerare che esse siano omnidirezionali e situate a un'altezza di circa 0,5 m dal piano stradale.

Esistono numerosi metodi per la valutazione diretta, mediante formule, del livello sonoro prodotto dal traffico stradale in prossimità della carreggiata (vedi punto 2.4). I più sofisticati tengono conto della composizione media del traffico in vari tipi di veicoli, della loro velocità, del numero di veicoli che transitano in un'ora, del tipo di superficie stradale (asfalto, cemento ecc.), della condizione di traffico (velocità costante, accelerazione/decelerazione, curva, semaforo ecc.). Nella figura 17 si riporta un nomogramma che consente la valutazione diretta del livello statistico L_{10} ponderato A tenendo conto della percentuale di veicoli pesanti, della velocità media, del numero di veicoli all'ora, della distanza del ricevitore dalla corsia considerata.

In genere queste relazioni, ottenute per estrapolazione da misure sperimentali, danno risultati precisi se vengono applicate in situazioni simili a quelle

sperimentate, mentre possono dare luogo a errori nel caso di situazioni non omogenee.

2.1.2 Traffico ferroviario

Il rumore prodotto dai convogli ferroviari ha due principali origini: interazione ruota-rotai e rumore della motrice. Quest'ultima fonte è rilevante solo nel caso di locomotori diesel ed è assimilabile come spettro sonoro e direttività al rumore prodotto dai veicoli stradali pesanti.

Considerando treni elettrici a velocità normali, il rumore predominante è costituito dal rumore di rotolamento. Esso è originato dal movimento del cerchione in direzione normale all'asse della linea ferroviaria, per cui ogni singola ruota agisce come una sorgente dipolare con asse coincidente con l'assale delle ruote. Ne risulta una emissione non omnidirezionale, con una direzione di emissione privilegiata lungo una linea inclinata di circa 45° rispetto all'orizzontale, come si può vedere dalla figura 18 che riporta i profili isofonici in prossimità del convoglio ferroviario.

Sebbene il livello equivalente ponderato A sia oramai considerato come l'unico descrittore per la valutazione degli effetti del rumore sull'uomo, nel caso del rumore ferroviario ha interesse anche la conoscenza del livello sonoro massimo prodotto dal passaggio di un convoglio. A questo fine esistono in letteratura dei modelli matematici che consentono di prevedere l'intero profilo temporale prodotto da un singolo passaggio.

2.1.3 Traffico aereo

La rumorosità prodotta dagli aeromobili ha caratteristiche peculiari, sia in termini di intensità che direzionalità, estremamente variabili in funzione del tipo di aereo e delle caratteristiche della manovra (atterraggio o decollo) eseguita.

Al contrario di quanto accade per il rumore da traffico stradale o ferroviario, non è possibile in questo caso descrivere su basi statistiche semplici la rumorosità degli aeromobili: è necessario pertanto disporre di estese basi di dati, che contemplino le caratteristiche di emissione sonora di ogni diverso aereo nelle possibili manovre tipiche previste dal costruttore. Queste raccolte di dati vengono effettuate a cura della FAA (*Federal Aviation Administration*, USA), che si avvale della consulenza di studi acustici di grande affidabilità. Lo stesso ente dispone poi di un modello di calcolo numerico, che utilizza la base dati per prevedere il livello equivalente o altri de-

scrittori fisici (quali per esempio l'EPNL *Effectively Perceived Noise Level*) in seguito a un ipotizzato volume di traffico aereo.

Il modello della FAA, chiamato INM (*Integrated Noise Model*), può essere fatto funzionare su personal computer e consente il tracciamento diretto di mappe delle linee isolivello al suolo nell'intorno della pista aeroportuale, quale per esempio quello riportato nella figura 20.

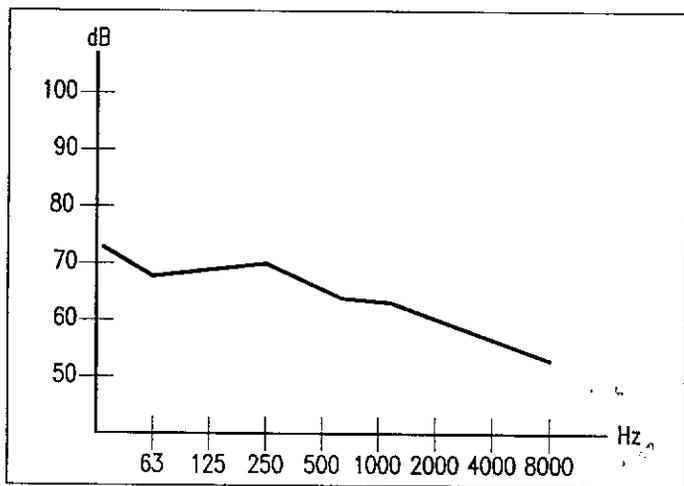
2.1.4 Inseguimenti industriali

La potenza sonora emessa da insediamenti industriali può essere determinata solo conoscendo dettagliatamente i processi produttivi che vi hanno luogo, in particolare la potenza sonora delle singole apparecchiature utilizzate.

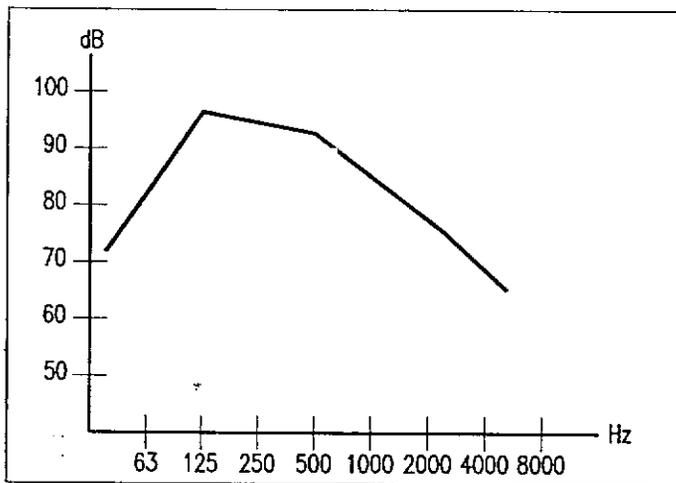
Dati sulla potenza sonora emessa da molte macchine potenzialmente rumorose (macchine utensili, presse, incastolatrici, nastri trasportatori, ventilatori, gruppi frigoriferi ecc.) si possono ottenere dai costruttori in quanto la qualificazione acustica di queste macchine viene sempre più sovente curata onde facilitarne la commercializzazione. In altri casi è invece molto più difficile giungere a una quantificazione della potenza sonora emessa da lavorazioni rumorose, quali la semplice movimentazione di parti metalliche, il taglio con lame abrasive o l'urto di recipienti di vetro. Può essere pertanto utile soltanto l'estrapolazione di dati ottenuti in situazioni analoghe. Nella figura 19 sono riportati i livelli sonori medi in dB(A) connessi ad alcune lavorazioni tipiche.

Una volta determinato l'input complessivo di potenza, occorre tenere conto dell'ambiente nel quale questa potenza viene introdotta. Nel caso di edifici chiusi, si può pensare che si ottenga un livello medio di pressione sonora all'interno e che esso venga attenuato dall'isolamento perimetrale dell'edificio, cosicché la potenza sonora emessa viene ridotta. L'attenuazione prodotta dall'isolamento dell'edificio non è direttamente riconducibile a un singolo valore in dB(A), poiché varia fortemente con la frequenza; essa può pertanto essere calcolata correttamente solo conoscendo lo spettro del rumore interno e la curva del potere fonoisolante in funzione della frequenza. Ancora una volta si deve spesso ricorrere all'estrapolazione di dati ottenuti in situazioni analoghe.

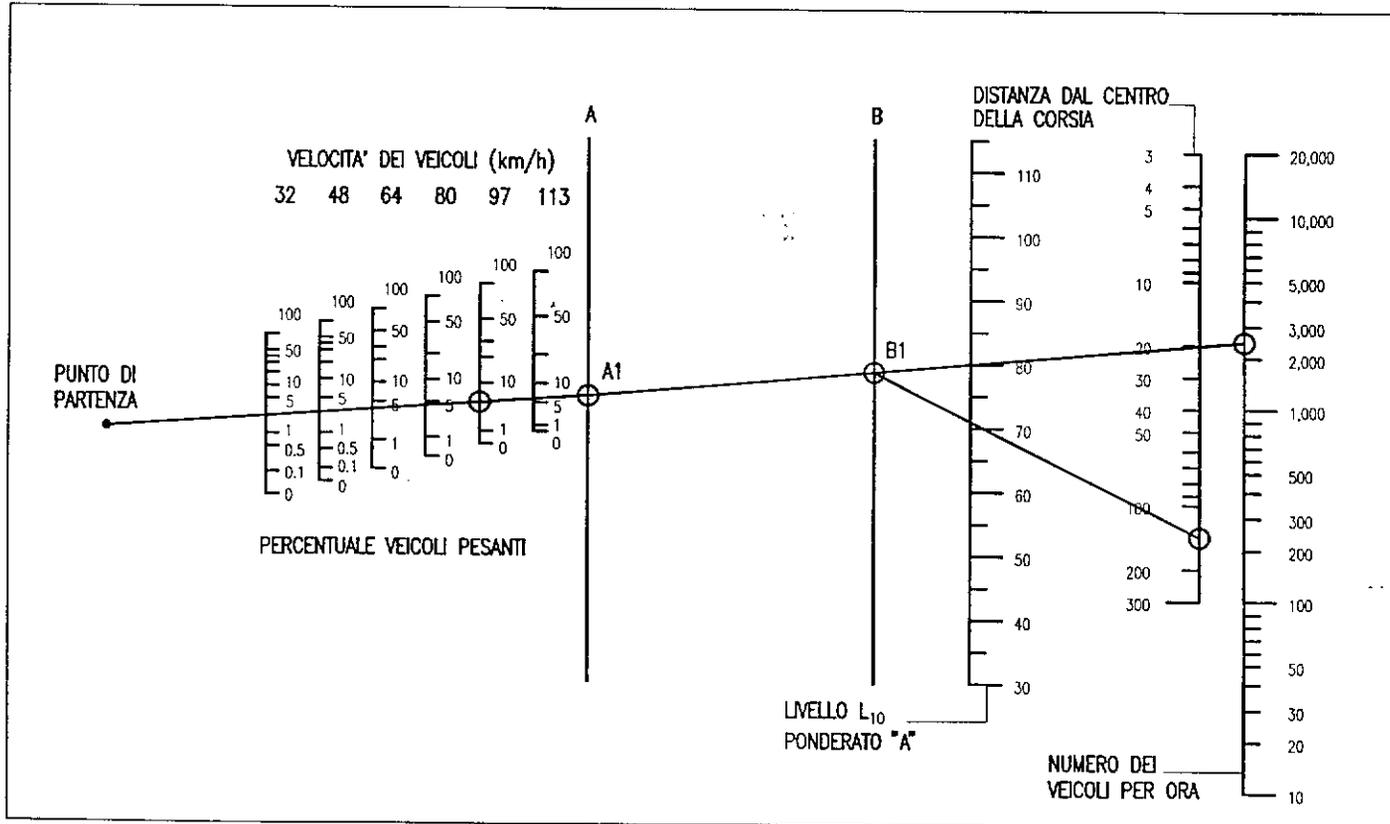
- Fig. 15 Spettro sonoro dei veicoli leggeri.
- Fig. 16 Spettro sonoro dei veicoli pesanti.
- Fig. 17 Nomogramma per il calcolo della rumorosità del traffico.
- Fig. 18 Profili isofonici prodotti da un treno.
- Fig. 19 Classificazione delle principali attività industriali rumorose.
- Fig. 20 Mappa di rumorosità prevista intorno alla pista di un aeroporto.



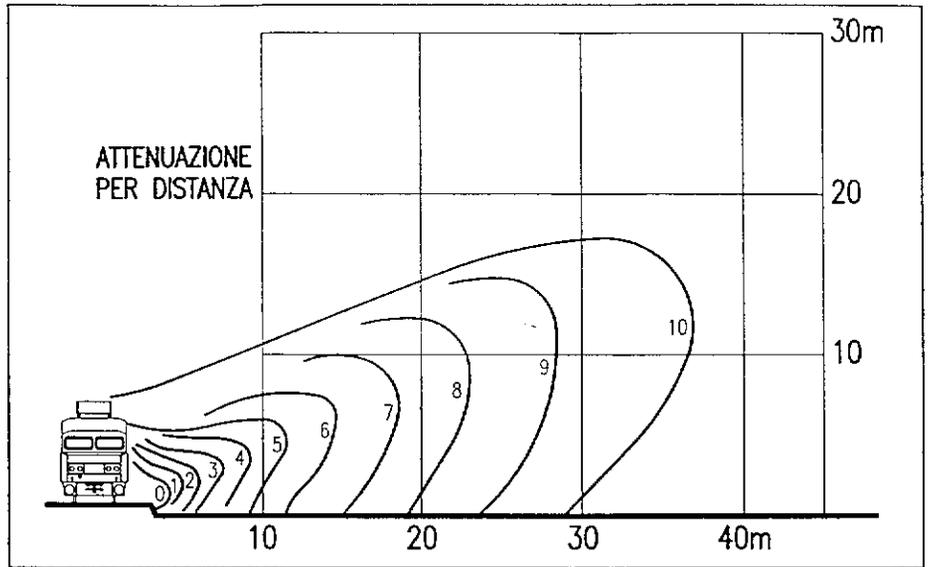
15



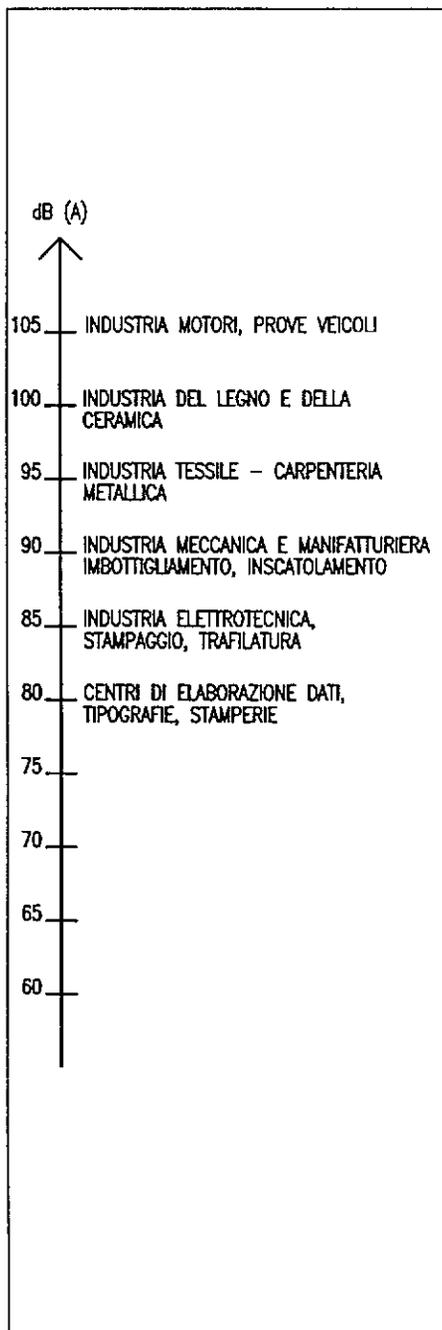
16



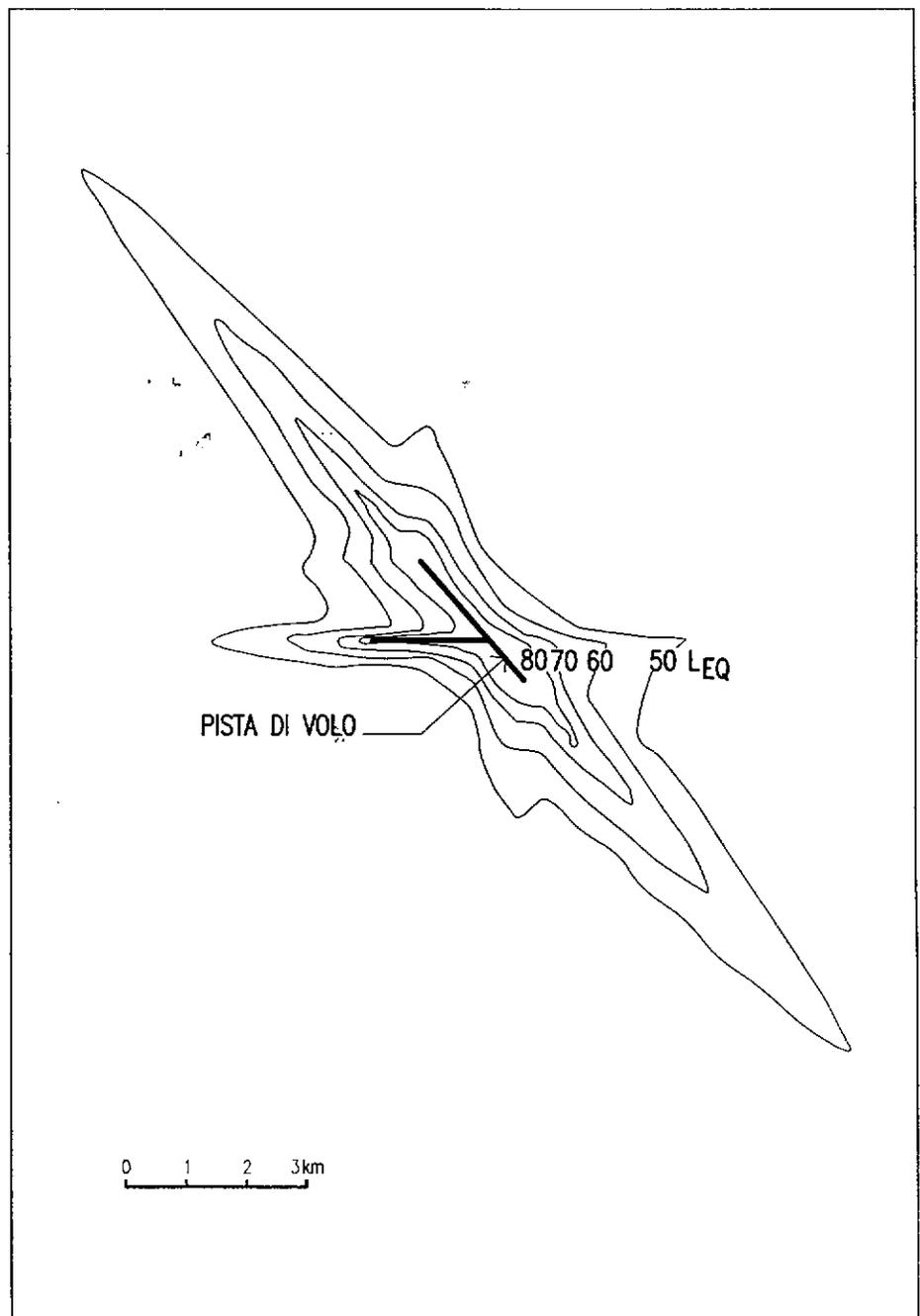
17



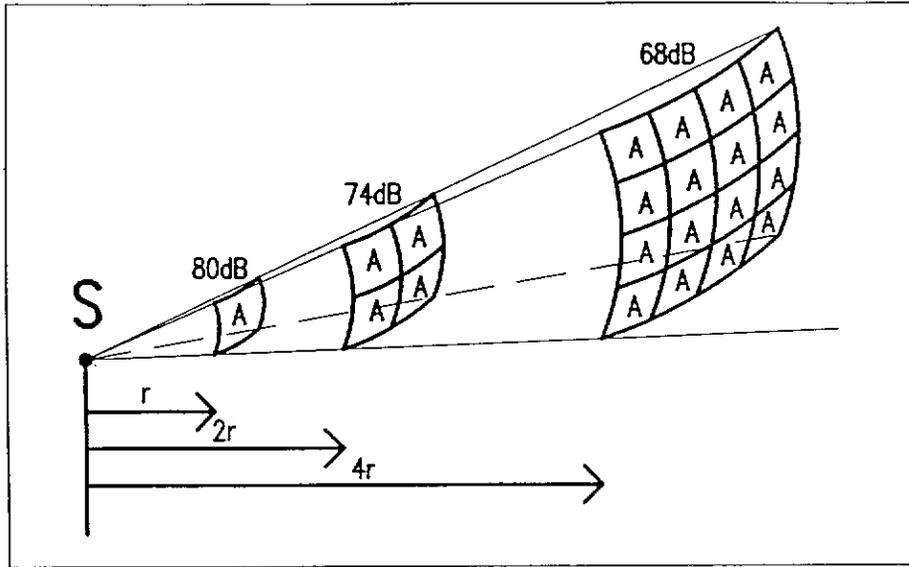
18



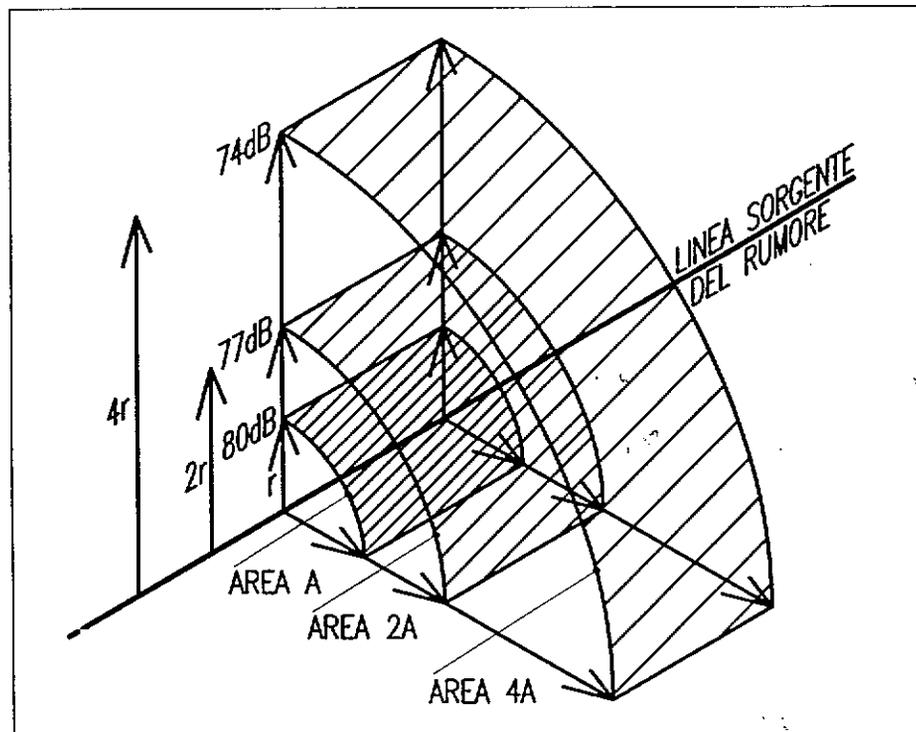
19



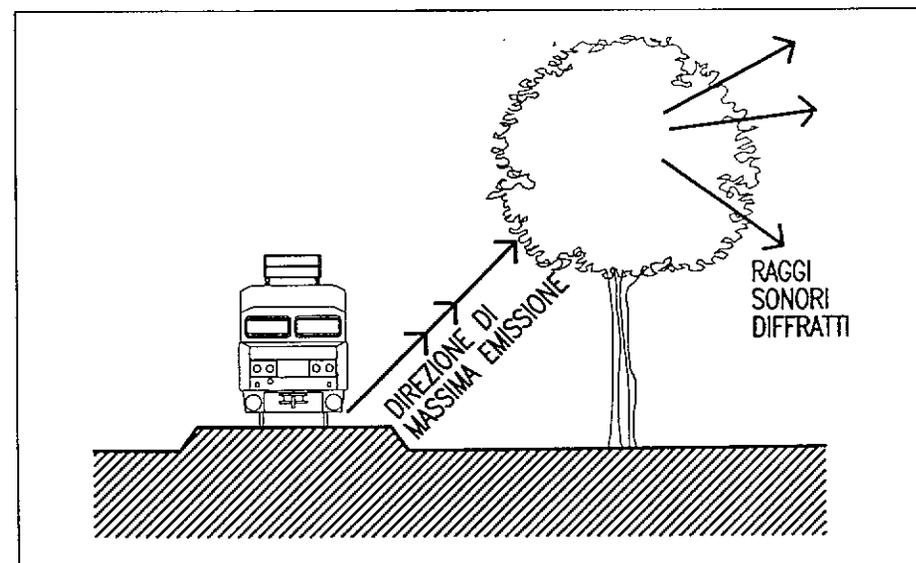
20



21



22



23

Fig. 21 Propagazione sonora in campo sferico.

Fig. 22 Propagazione sonora in campo cilindrico.

Fig. 23 Effetto dei filari d'alberi sul rumore ferroviario.

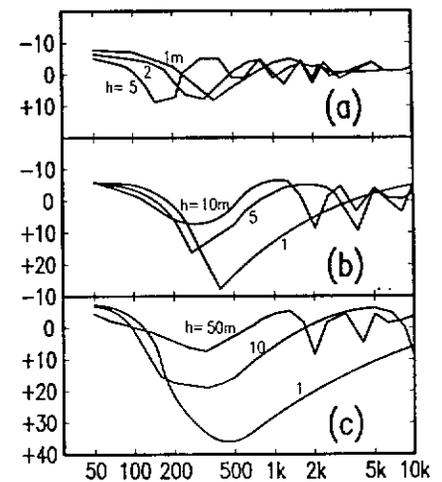
Fig. 24 Attenuazione in eccesso dovuta al terreno.

Tab. 3 Attenuazione dell'aria in dB/100 m

Umidità relativa (%)	Temperatura (°C)
30	15
	20
	25
	30
50	15
	20
	25
	30
70	15
	20
	25
	30

ATTENUAZIONE DOVUTA AL TERRENO IN FUNZIONE DELL'ALTEZZA h

A= DISTANZA 20m
 B= DISTANZA 200m
 C= DISTANZA 1000m



24

2.2 Propagazione del rumore esterno

2.2.1 Propagazione in campo sferico

La propagazione in campo sferico si verifica ogniqualvolta la sorgente sonora ha tutte le sue dimensioni nettamente inferiori alla distanza fra la sorgente e l'ascoltatore (fig. 21). In queste condizioni si può ritenere approssimativamente valida la legge di diminuzione del livello sonoro di 6 dB a ogni raddoppio della distanza.

Usualmente la legge di propagazione sferica è applicabile al rumore prodotto dagli insediamenti industriali e da aree di intensa rumorosità localizzata (aeroporti, cantieri ecc.). Spesso la sorgente sonora non è omnidirezionale, per cui a parità di distanza dalla sorgente si trovano livelli molto diversi, in direzioni diverse; tuttavia, in ciascuna direzione si verifica con buona approssimazione il rispetto della diminuzione di 6 dB a ogni raddoppio della distanza, purché non siano presenti ostacoli riflettenti nei dintorni.

2.2.2 Propagazione in campo cilindrico

La propagazione in campo cilindrico si verifica tipicamente per effetto di sorgenti sonore lineari, quali per esempio una strada o una ferrovia (fig. 22). Mentre per la strada, percorsa da un traffico più o meno continuo, l'astrazione di una sorgente lineare è ben accettabile, per le ferrovie soggette a passaggi saltuari di brevi convogli l'ipotesi di campo cilindrico è accettabile per la valutazione del livello sonoro equivalente, ma non per quella del livello istantaneo. In un campo di propagazione per onde cilindriche si verifica una diminuzione di soli 3 dB a ogni raddoppio della distanza fra sorgente e ascoltatore.

Il rumore generato dal traffico stradale ha buone caratteristiche di omnidirezionalità (punto 2.1.1), per cui tutti i punti a una certa distanza dall'asse stradale ricevono circa lo stesso rumore, indipendentemente dalla quota considerata. Viceversa il rumore prodotto dai treni ha una certa caratteristica direzionale, per cui a parità di distanza dal binario il livello varia con la quota, ed è massimo per i punti situati lungo una linea inclinata di 45° rispetto all'orizzontale (punto 2.1.2). Questo spiega perché a volte un filare di alti alberi che fiancheggia una linea ferroviaria produce un incremento di rumorosità al suolo: le cime degli alberi, che agiscono da superfici diffondenti, rinviano in tutte le direzioni il rumore proiettato verso l'alto, come mostrato dalla figura 23.

2.2.3 Attenuazione prodotta dall'aria e dal suolo

Il suono si propaga nell'aria per mezzo di onde elastiche. L'aria tuttavia non è perfettamente elastica, per cui la propagazione è accompagnata da una piccola dissipazione di energia in calore, che è direttamente proporzionale al quadrato della frequenza e cala con il contenuto di umidità dell'aria. Nella tabella 3 vengono riportati i valori medi di assorbimento dell'aria, in dB/100 m, al variare della frequenza e delle caratteristiche termoisometriche dell'aria.

Un'ulteriore attenuazione è dovuta all'incidenza radente sul suolo del campo sonoro, quando il suolo stesso presenta caratteristiche di fonosorbentza. Il fenomeno di interazione fra campo acustico e superficie è piuttosto complesso e può venire descritto correttamente solo conoscendo l'impedenza acustica del suolo. Normalmente non è noto il valore di questa grandezza complessa, per cui si valuta molto empiricamente l'attenuazione prodotta dal suolo o mediante semplici formule empiriche, o mediante grafici ottenuti da misure sperimentali quale quello riportato nella figura 24.

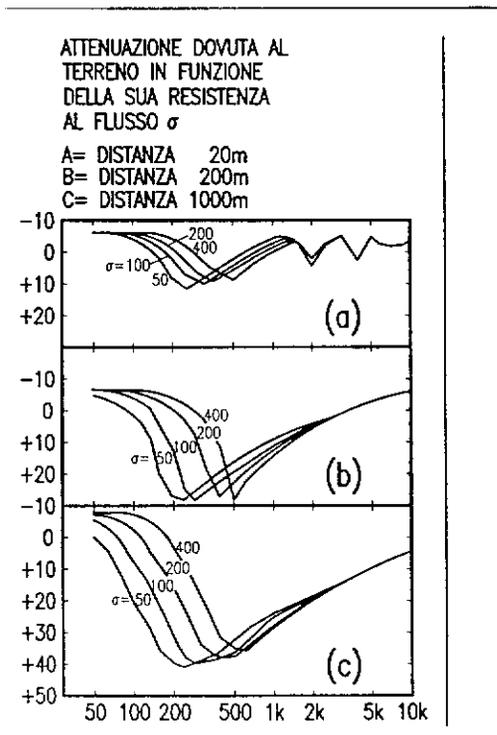
2.2.4 Effetto del vento, dei gradienti termici, effetto Doppler

I gradienti di velocità del vento e di temperatura producono deformazioni sul cammino di propagazione del suono: considerando per semplicità il concetto di propagazione per raggi sonori, si vede come l'effetto sia quello di curvare i raggi stessi, che altrimenti si propagherebbero sempre in linea retta.

Il vento produce una curvatura dei raggi verso il suolo sottovento rispetto alla sorgente sonora, mentre i raggi vengono curvati verso l'alto sopravvento. Pertanto, se ci si trova sottovento rispetto a una sorgente, si avverte un considerevole incremento del livello sonoro, mentre - viceversa - sopravvento il suono perviene molto attenuato. Nella figura 25 viene illustrato questo effetto, che viene invece usualmente spiegato dalla gente con il concetto del "vento che porta il suono". Il meccanismo di trasporto è effettivamente presente, nel senso che la distanza percorsa dal suono è ridotta perché il mezzo è in movimento, ma se si considera la velocità di propagazione del suono e quella del vento ci si rende conto che questo effetto è di modesta entità e non può spiegare da solo il considerevole incremento di livello, dovuto viceversa alla deformazione del cammino di propagazione dei raggi sonori.

I gradienti termici producono anch'essi l'incurvatura dei raggi sonori: in particolare questi vengono sempre in

		Frequenza (Hz)			
		2000	4000	6300	8000
1,55	5,28	11,48			
1,29	4,12	9,13			14,78
1,24	3,40	7,45			
1,21	3,05	6,13			
<hr/>					
1,08	3,11	6,80			
1,04	2,65	5,47			9,35
1,03	2,55	4,83			
1,00	2,53	4,63			
<hr/>					
0,96	2,42	4,93			
0,92	2,32	4,34			6,52
0,91	2,29	4,22			
0,89	2,25	4,16			



curvati verso gli strati d'aria più fredda. Pertanto, essendo usualmente la temperatura vicina al suolo più alta rispetto a quella dell'aria in quota, si verifica una incurvatura dei raggi verso l'alto, con conseguente riduzione della rumorosità al suolo. È questa una delle cause, assieme agli assorbimenti prodotti dal suolo e dall'aria, che producono attenuazioni con la distanza dalla sorgente sonora maggiori di quelle previste dalla teoria dei campi sonori sferici o cilindrici; questa ulteriore riduzione si chiama globalmente "attenuazione in eccesso".

Accade però che in certe situazioni climatiche ("inversione termica") la temperatura al suolo sia più bassa di quella dell'aria in quota, e pertanto i raggi sonori vengono curvati verso il basso (fig. 26). In questa situazione capita di sentire i suoni anche a distanze molto elevate dalla sorgente, e anche se sono frapposti ostacoli normalmente insuperabili.

L'effetto Doppler è causato dalla differenza di velocità fra la sorgente sonora e l'ascoltatore (lungo la loro congiungente) e produce la variazione della frequenza del suono percepito. In particolare, si avverte un aumento di frequenza se sorgente e ascoltatore sono in avvicinamento, e una riduzione di frequenza se essi sono in allontanamento. Non ha alcuna importanza quale dei due sia realmente in movimento o se vi sia presenza di vento (esso fa variare il livello sonoro, non la frequenza del suono). Poiché comunque il rumore prodotto dalle principali sorgenti di rumore esterno ha le caratteristiche di un'ampia composizione spettrale, e la sua intensità soggettiva viene quantificata semplicemente mediante la scala di ponderazione A, in pratica l'effetto Doppler non modifica significativamente la propagazione del suono.

2.2.5 Riflessioni su ostacoli

I fenomeni di riflessione hanno luogo quando un'onda sonora colpisce un ostacolo avente dimensioni molto maggiori della sua lunghezza d'onda e avente, viceversa, una superficie piuttosto liscia, con asperità molto minori della lunghezza d'onda.

In questa ipotesi ha luogo una riflessione detta *speculare*, ovvero simile a quella di un raggio luminoso su uno specchio, pertanto l'onda riflessa abbandonerà la superficie riflettente con un angolo uguale a quello formato dall'onda incidente, ma di segno opposto: la figura 27 illustra schematicamente il fenomeno.

È possibile ricostruire l'effetto delle riflessioni speculari sulla propagazione sonora mediante la tecnica delle *sorgenti virtuali*: si tratta di generare l'im-

agine speculare delle sorgenti sonore reali rispetto a tutte le superfici riflettenti, servendosi dell'analogia ottica, e sommare poi i contributi di tutte le sorgenti (reali e virtuali) "viste" in ciascun punto d'ascolto. Si può tenere conto in tal modo anche di riflessioni di ordine superiore, generando le immagini speculari delle sorgenti virtuali di ordine inferiore. Inizialmente la tecnica delle sorgenti virtuali è stata impiegata solo per lo studio del campo acustico in ambienti chiusi, ma oggi sono disponibili codici di calcolo generalizzati, utilizzabili anche per la propagazione nell'ambiente esterno.

Qualora la superficie riflettente non sia liscia, ma presenti asperità confrontabili con la lunghezza d'onda del suono, si verifica il fenomeno della *riflessione diffusa*: in questo caso non è facile prevedere la distribuzione spaziale dell'energia sonora riflessa, che in generale andrà un po' in tutte le direzioni. Nel caso le asperità formino un profilo regolare (per esempio ondulazioni o griglie) si verificano sovente emissioni di energia riflessa molto disuniformi, con lobi di emissione preferenziale in alcune direzioni (fig. 28).

Usualmente è possibile tenere conto di superfici diffondenti per il calcolo della propagazione acustica solo facendo l'ipotesi di *diffusione uniforme*, con potere emissivo angolare uguale in tutte le direzioni, o di *diffusione secondo Lambert*, con uguale intensità in tutte le direzioni.

2.2.6 Diffrazione da parte di ostacoli

La presenza di ostacoli può venire assimilata a quella di schermi sottili, costruendo la linea di diffrazione come illustrato nella figura 29. Se l'ostacolo è tale da dare luogo anche a diffrazioni sui fianchi, oltre che sul bordo superiore, si possono sommare energeticamente i contributi ricevuti dalle diverse linee diffrangenti.

2.3 Tecniche di controllo della rumorosità esterna

2.3.1 Pianificazione urbanistica

Una corretta pianificazione urbanistica consente di ridurre in modo consistente la propagazione del rumore aereo all'interno delle aree edificate. I concetti base di una corretta pianificazione acustica possono essere così riassunti:

- allontanamento delle linee di traffico dalle zone residenziali;
- strade di penetrazione nei quartieri con tracciati e caratteristiche tali da imporre bassa velocità ai veicoli;
- zone di parcheggio protette da alberi o altri ostacoli;
- inserimento di edifici assoggettabili a

rumore più elevato fra le sorgenti di rumore e le aree da proteggere;

- movimentazione altimetrica, con le aree da proteggere ribassate;
- separazione delle aree in funzione dell'utilizzo;
- utilizzo di tipologie edilizie adeguate.

Nelle figure 30-34 vengono presentati alcuni esempi di corretta applicazione dei concetti sopra esposti.

2.3.2 Tipologie edilizie

Una corretta pianificazione urbanistica consente di ridurre grandemente il problema del rumore ambientale in sede di progettazione di un nuovo quartiere; tuttavia occorre sovente fronteggiare scelte urbanistiche errate durante la progettazione del singolo edificio, che viene a collocarsi troppo vicino alla sorgente di rumore o in posizione non sufficientemente schermata.

Se la problematica acustica è tenuta in considerazione dal progettista, è possibile realizzare con costi irrisori accorgimenti molto efficienti per la protezione degli spazi destinati alle attività umane. Alcune regole guida sono così enunciabili:

- le facciate rivolte verso la sorgente di rumore dovrebbero essere massicce, prive di aperture e di balconi;
- è opportuno che gli edifici in prossimità di una strada formino uno schermo continuo, in grado di proteggere l'area cortilizia interna;
- se è inevitabile collocare finestre rivolte verso la sorgente di rumore, bisogna dotarle di serramenti a elevato isolamento, garantendo altresì corretta ventilazione ed eventualmente condizionamento, in modo che non sia necessario aprirle per cambiare l'aria o raffrescare l'ambiente;
- le tipologie a corte o a schiera sono più adatte delle casette isolate per realizzare giardini protetti dal rumore della strada;
- le recinzioni murarie sono molto più efficienti delle cancellate, anche se ovviamente danno risultati architettonici diversi;
- la disposizione tipologica degli appartamenti deve tenere conto delle esigenze di silenzio richieste a camere da letto e soggiorni: evitare di disporle direttamente sulla facciata più esposta al rumore;
- i balconi riflettono il suono dentro l'edificio, pertanto è bene collocarli solo sulle facciate non esposte al rumore; in ogni caso, il parapetto in muratura piena è da preferire ai parapetti metallici aperti;
- occorre prevedere dispositivi atti al contenimento delle vibrazioni trasmesse alle fondazioni dell'edificio da strade percorse da traffico pesante;

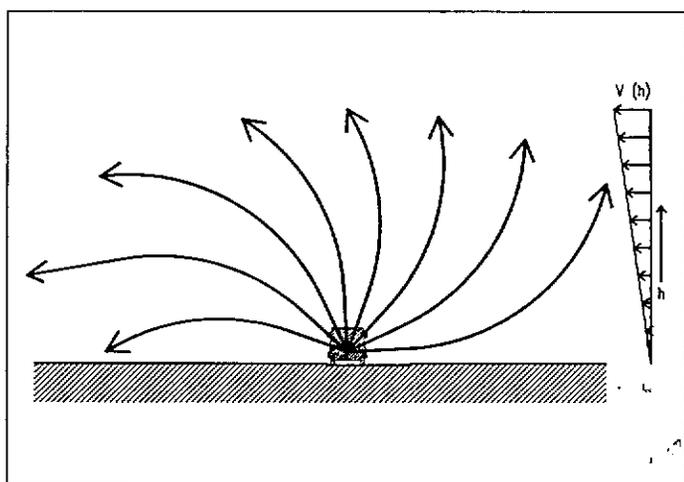
Fig. 25 Effetto del gradiente del vento vicino al suolo sulla curvatura dei raggi sonori.

Fig. 26 Effetto di gradienti termici negativi e positivi sulla curvatura dei raggi sonori.

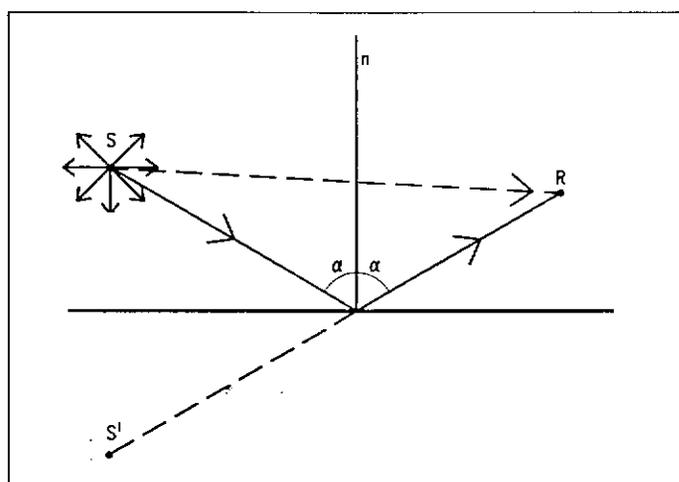
Fig. 27 Riflessione speculare del suono su una superficie piana (comparsa della "sorgente virtuale" S').

Fig. 28 Riflessione più o meno diffusa del suono su una superficie corrugata.

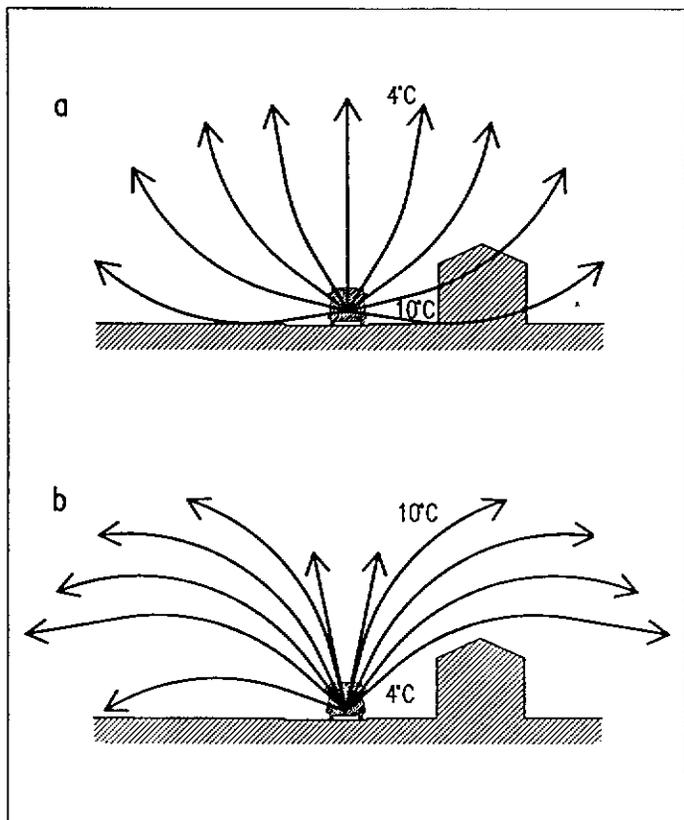
Fig. 29 Calcolo della differenza di cammino fittizia prodotta da un edificio impiegato come barriera antirumore.



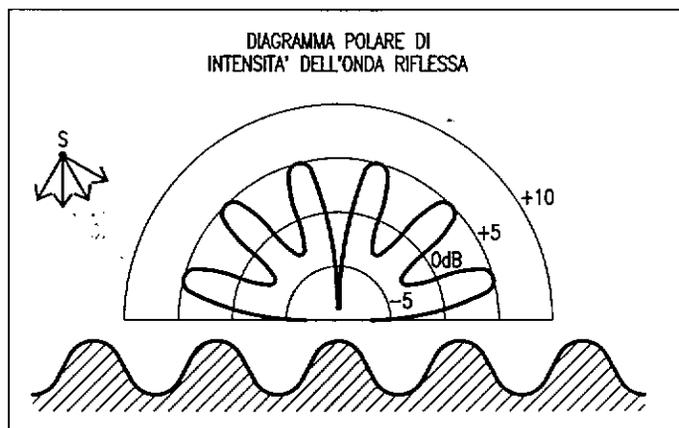
25



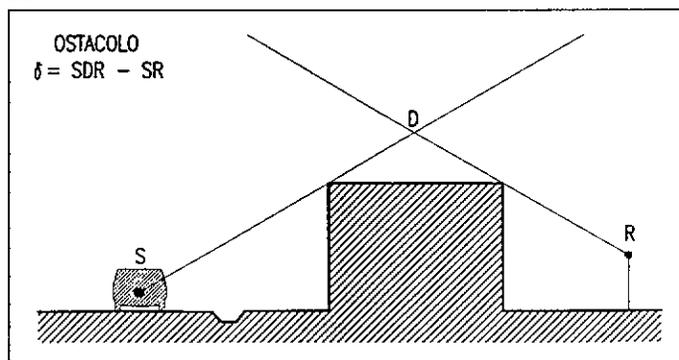
27



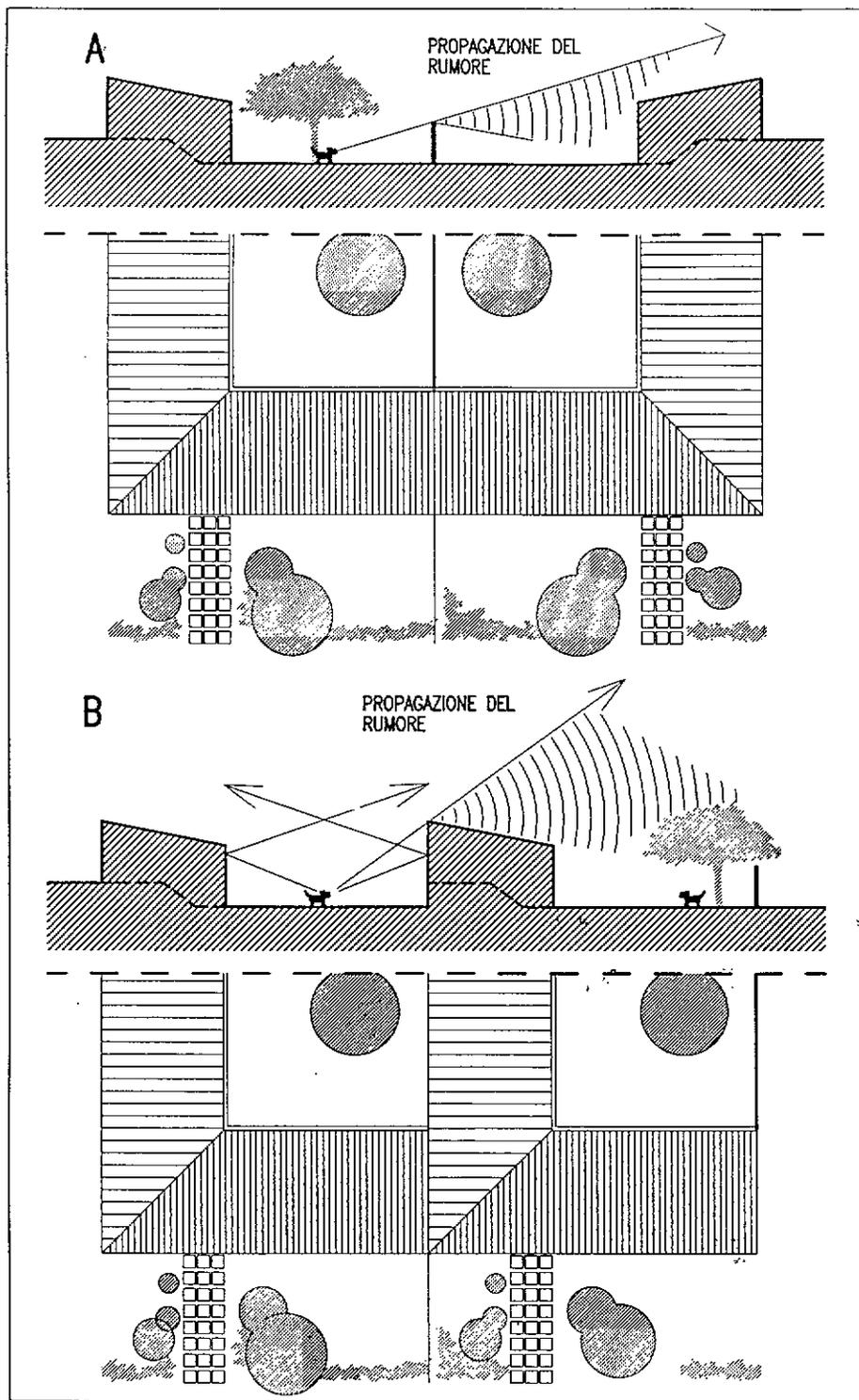
26



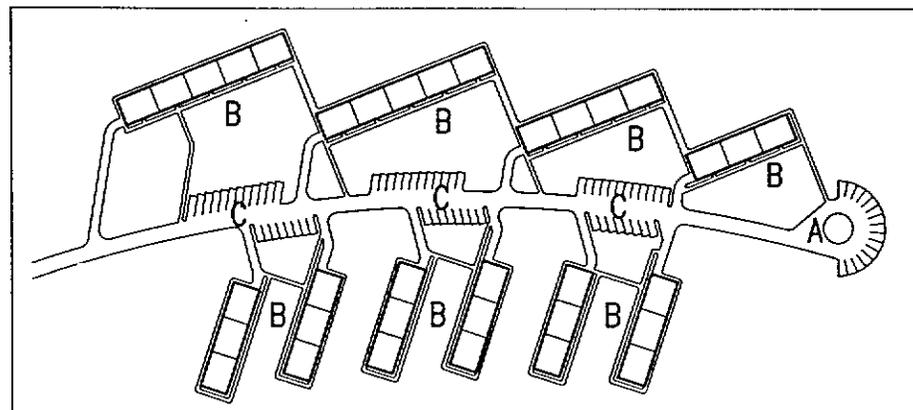
28



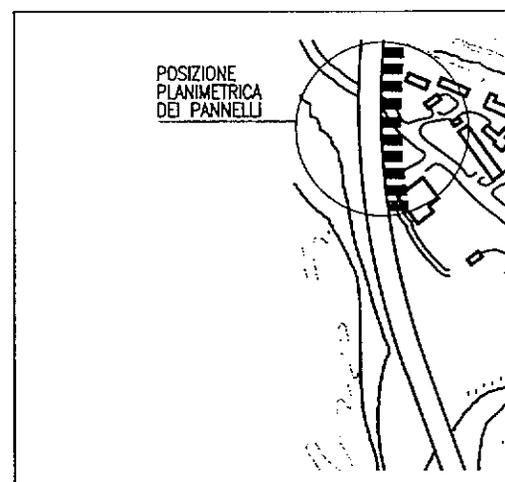
29



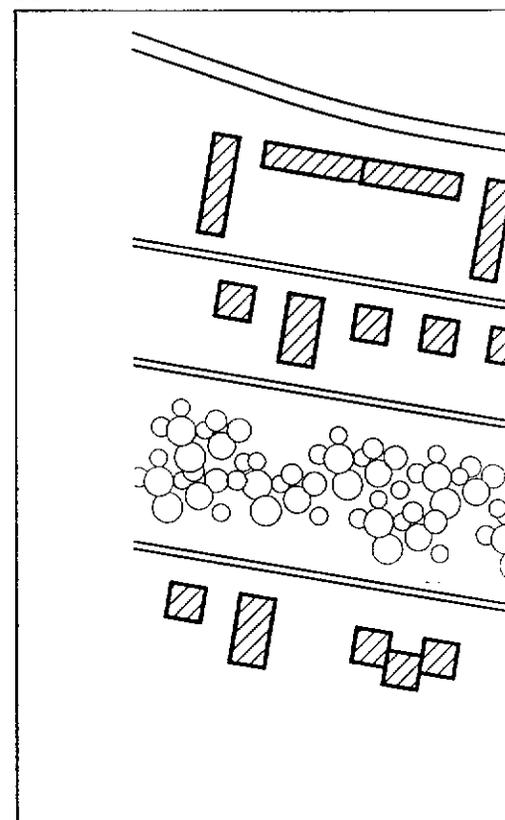
30



31



32



33

Fig. 30 *Differenti orientazioni di una tipologia edilizia possono dare risultati acustici molto diversi.*

Fig. 31 *Planimetria di un quartiere residenziale ottimamente protetto dal rumore.*

Fig. 32 *Individuazione planimetrica del tratto autostradale disturbante, sul quale vengono installati pannelli antirumore.*

Fig. 33 *Zonizzazione urbanistica mirata alla protezione dei quartieri residenziali.*

Fig. 34 *Impiego di una fila di case per schermare dal rumore un quartiere residenziale.*

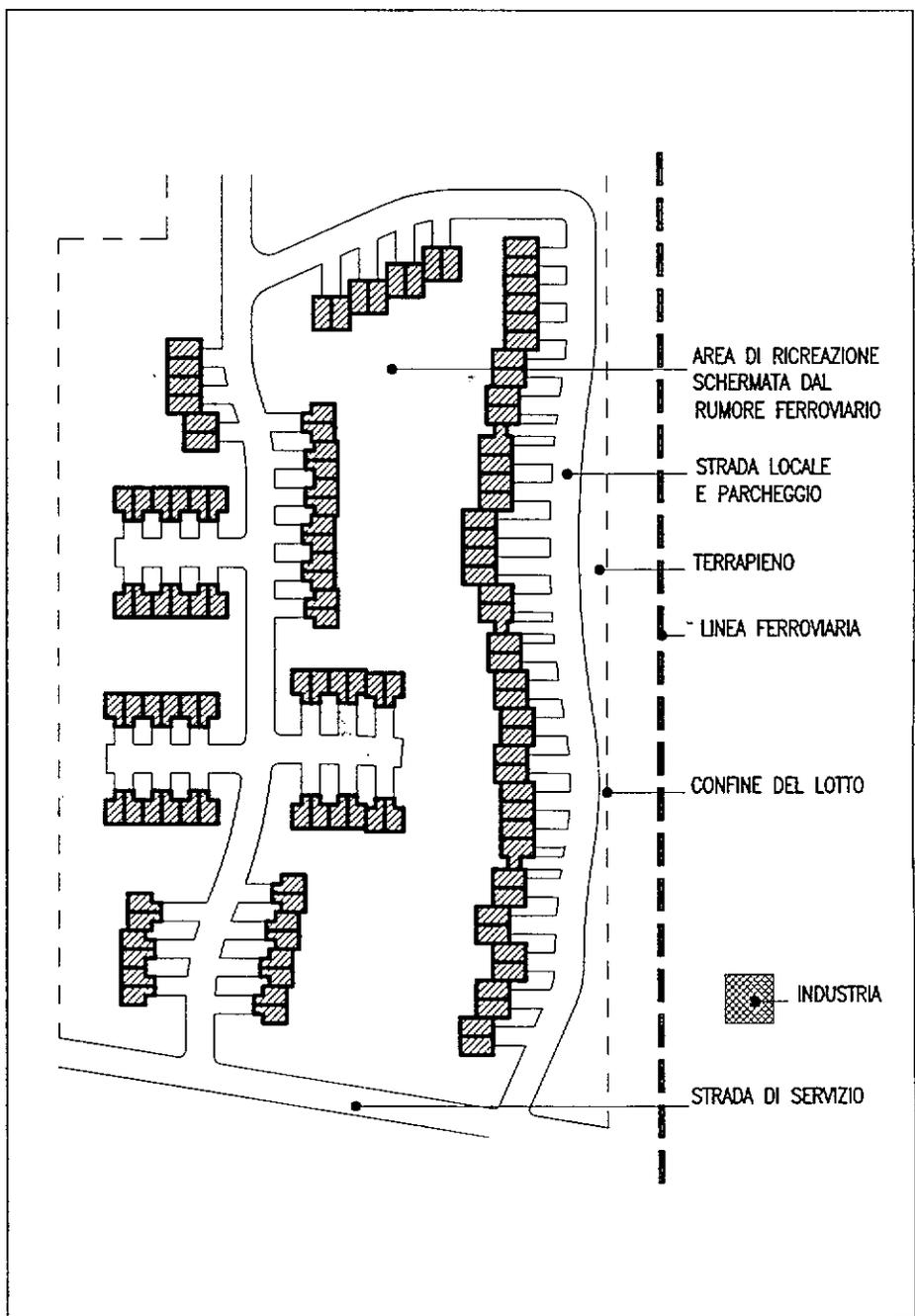
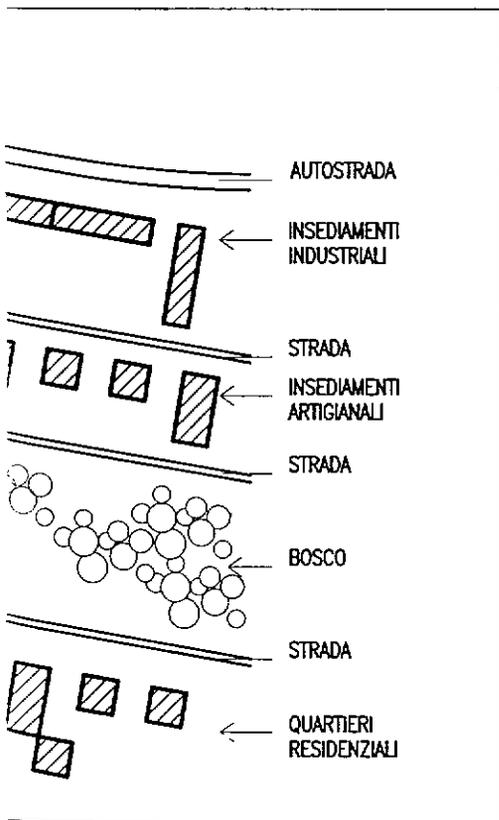
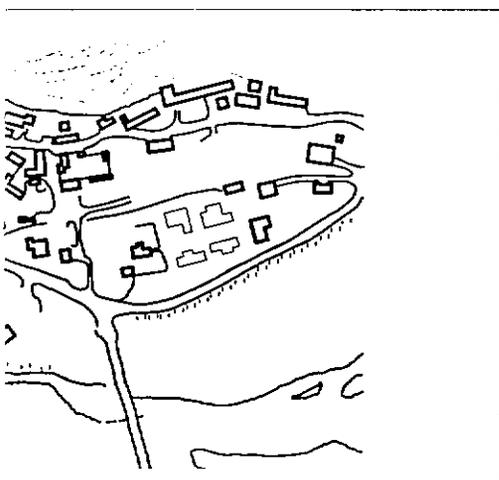


Fig. 35 La superficie inferiore dei balconi può riflettere il suono dentro gli edifici.

Fig. 36 Confronto fra tipologie edilizie autoprotette dal rumore e tipologie esposte al rumore.

Fig. 37 Dislocazione degli ambienti di un appartamento atta a ridurre l'impatto del rumore.

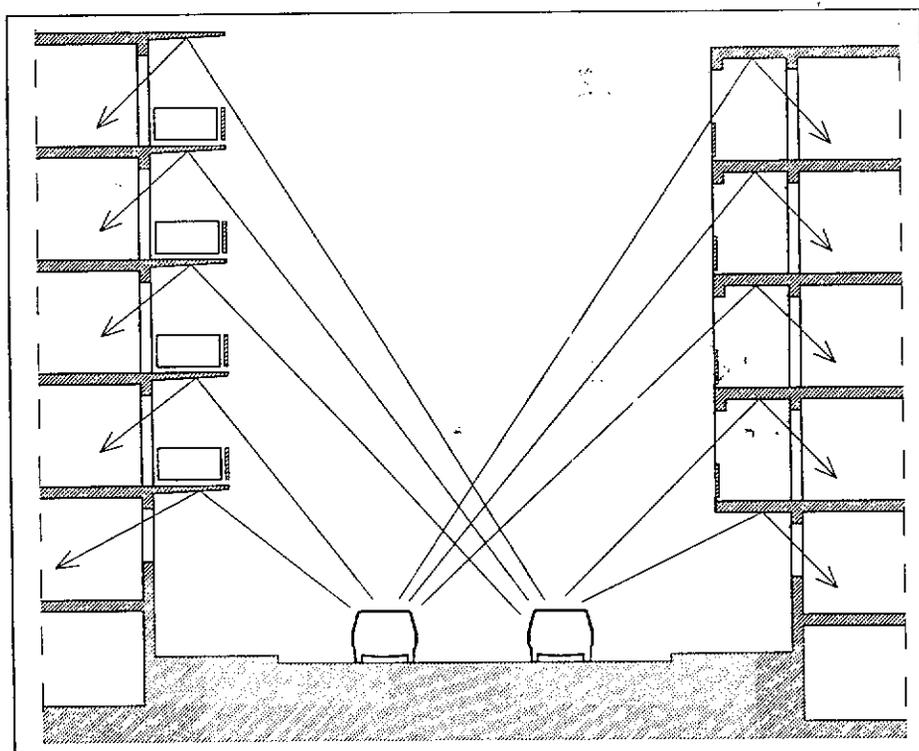
Fig. 38 Tipologia edilizia autoprotetta sul fronte di una strada.

Fig. 39 Scelte tipologiche nel Piano regolatore finalizzate alla protezione dal rumore di un edificio.

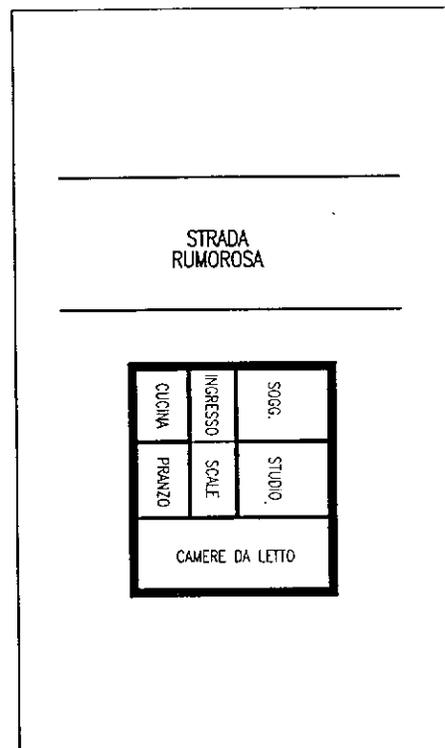
Fig. 40 Tipologia edilizia per la difesa dal rumore.

Fig. 41 Tipologia edilizia adattata alla situazione urbanistica, onde limitare l'impatto del rumore sugli abitanti.

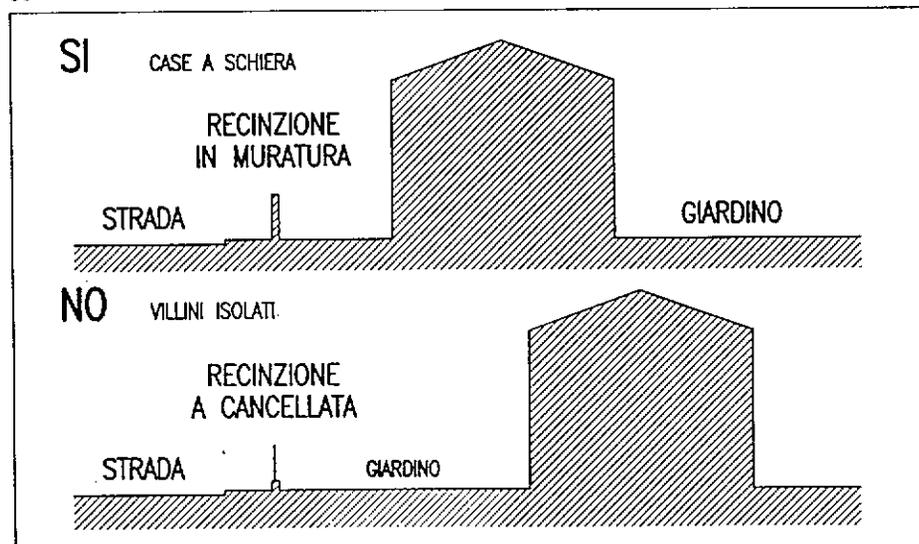
Fig. 42 Una differente impostazione urbanistica obbliga il progettista a modificare gli interventi antirumore.



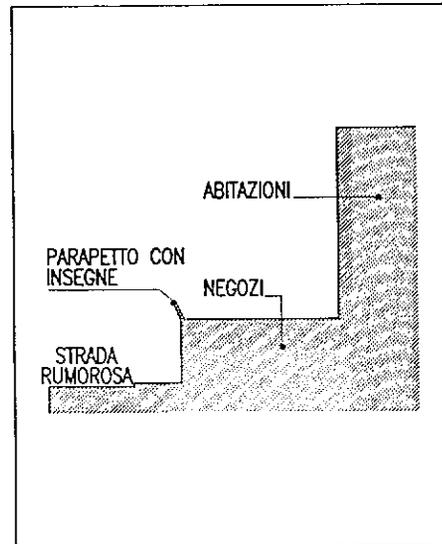
35



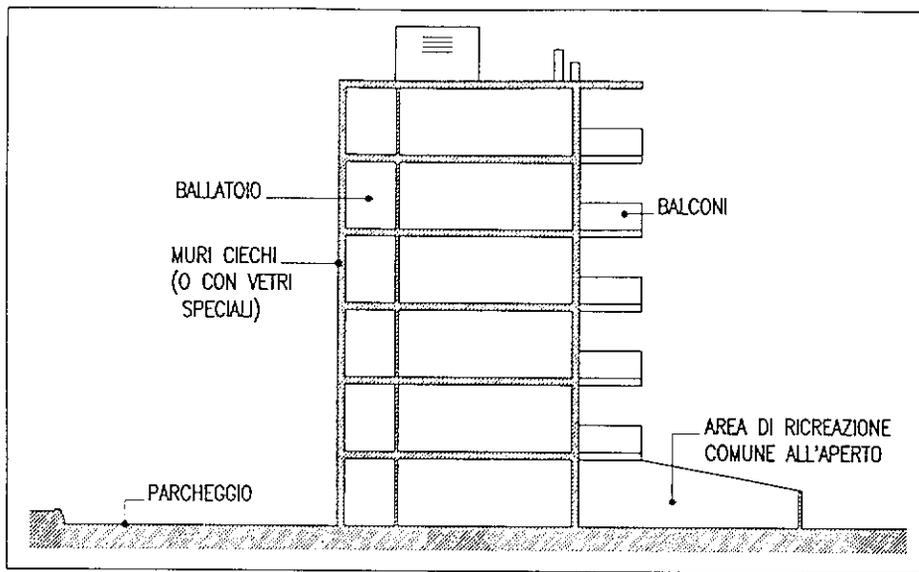
37



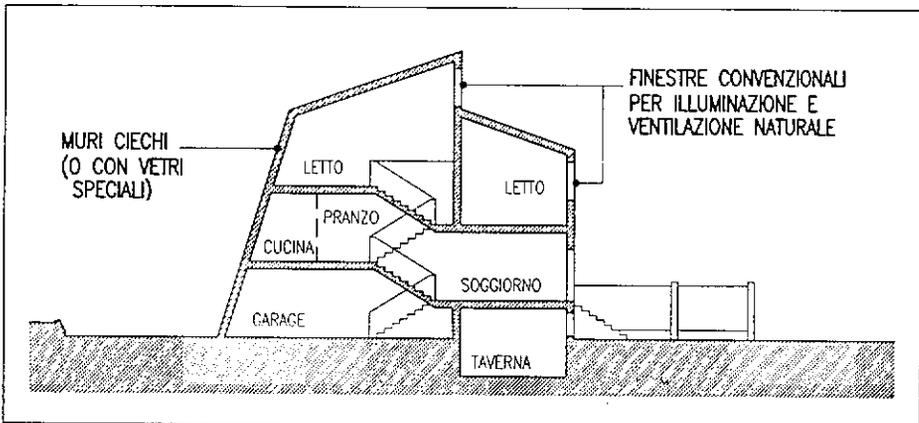
36



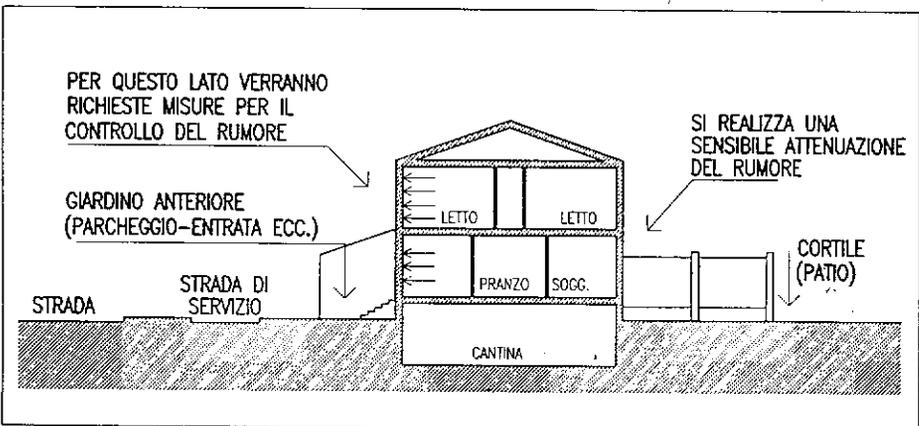
38



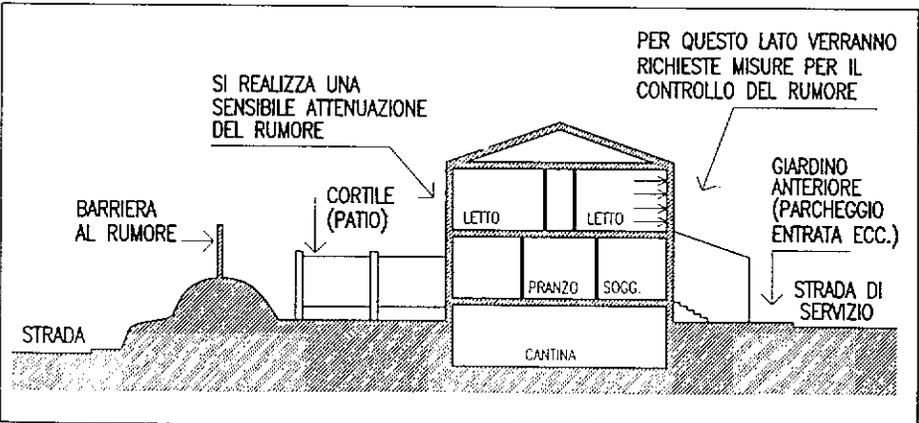
39



40



41



42

– l'accesso ai garage deve avvenire sullo stesso lato dell'edificio soggetto al rumore da traffico ed è opportuno separare l'accesso pedonale dall'accesso veicolare utilizzando due cancelli diversi.

Nelle figure 35-42 vengono illustrati in vario modo i concetti su espressi; per quanto riguarda i particolari tecnici e gli accorgimenti relativi alle pareti e ai solai ad alto isolamento, nonché le relative prestazioni acustiche, si rimanda al successivo par. 3.

Per quanto riguarda le tecnologie edilizie, dal punto di vista del rumore ambientale sono indubbiamente da preferire le murature portanti di elevato spessore, le pareti doppie con intercapedine coibentata, le pareti piene in CLS. Sono viceversa meno indicate le pareti prefabbricate, i tamponamenti leggeri di edifici a telaio, le pareti in legno. Le facciate completamente vetrate offrono un buon isolamento ai rumori esterni solo se realizzate con lastre doppie di elevato spessore, in vetro stratificato, adeguatamente distanziate e con serramenti a tenuta d'aria.

Tra i sistemi di oscuramento delle finestre sono da preferire le controfinestre in legno pieno o gli avvolgibili alle tradizionali persiane a griglia inclinata. Nel caso di avvolgibili occorre tenere in considerazione la possibilità di utilizzare tapparelle metalliche (antifurto), che in virtù della massa elevata offrono anche un elevato isolamento acustico.

2.3.3 Barriere antirumore

Quando non è possibile intervenire né sulla sorgente del rumore, né sugli edifici o sulle aree che da esso vengono investiti, non rimane che inserire uno schermo, quale difesa passiva dalla propagazione del rumore. Le barriere antirumore sono oggi installate con sempre maggior frequenza in prossimità di strade, ferrovie o insediamenti industriali, a protezione di aree residenziali o ricreative.

L'efficacia di uno schermo dipende solo in piccola parte dal suo potere fonoisolante, poiché esso viene superato dall'energia sonora diffratta dai suoi bordi; pertanto usualmente si trascura la frazione di energia che attraversa effettivamente lo schermo stesso. Per essere efficace, uno schermo antirumore deve essere:

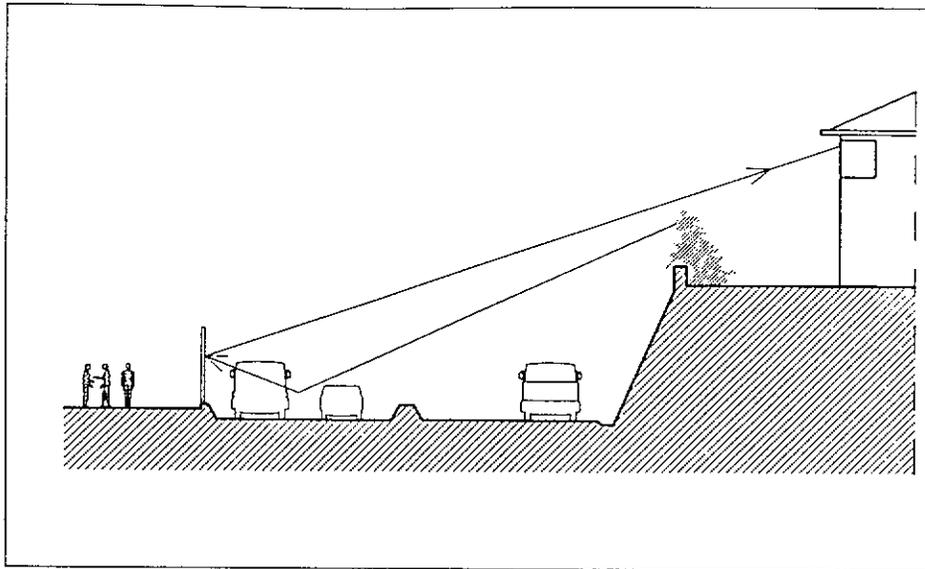
- alto a sufficienza;
- esteso in modo tale da schermare alla vista la sorgente di rumore;
- sufficientemente massiccio da non essere attraversato dal rumore;
- nel caso si collochino due schermi contrapposti, le superfici affacciate debbono essere fonassorbenti e diffondenti al fine di evitare onde stazionarie fra i due schermi (fig. 43).

Esistono grafici che forniscono direttamente l'attenuazione ottenibile da uno schermo in funzione della sua altezza, o meglio della differenza di cammino fra il suono diretto in assenza di schermo e il suono diffratto dal bordo dello schermo (fig. 44). Nelle figure 45-49 vengono mostrate alcune tipiche installazioni di barriere antirumore, costituite solitamente da pannelli prefabbricati in CLS o in lamiera coibentata. Nel caso la propagazione avvenga su suolo riflettente e in prossimità delle facciate di edifici, l'attenuazione ottenibile non è così elevata come previsto dal diagramma riportato nella figura 44 e occorre utilizzare modelli di previsione più sofisticati.

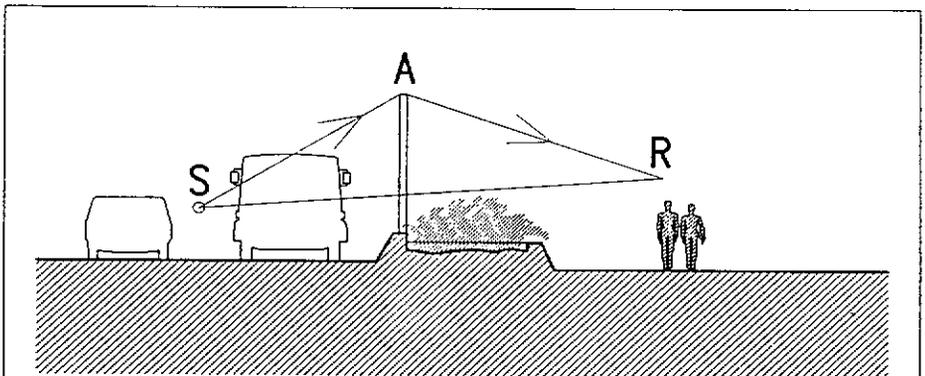
Spesso gli schermi comportano un notevole problema di inserimento architettonico e paesaggistico, nonché un forte impedimento alla libertà di movimento e di attraversamento. Il primo problema può essere risolto con schermi trasparenti (in vetro o materie plastiche), con risultati estetici anche molto gradevoli, ma con problemi di costo, durata, manutenzione (pulizia) e, da ultimo, di pericolosità per i volatili, che tendono a schiantarsi contro i pannelli trasparenti. I problemi di transitabilità si risolvono interrompendo periodicamente la schermatura, con passaggi che possono o meno venire ulteriormente schermati (fig. 50).

Sono utilizzabili anche altri sistemi per ottenere l'effetto schermante sul rumore aereo: nelle figure 51-55 sono mostrati esempi di utilizzo di terrapieni, di strade o ferrovie in trincea, di viadotti con parapetto. Sono inoltre da tenere in considerazione le barriere vegetali, che purtroppo forniscono riduzioni di rumorosità contenute in pochi dB, ma che viceversa presentano ottimi aspetti paesaggistici e architettonici. Nella figura 56 sono riportate le attenuazioni ottenibili dall'utilizzo di barriere vegetali di elevato spessore (100 m), in funzione della specie vegetale. Spesso l'effetto di una barriera vegetale può essere utilmente sommato a quello di barriere artificiali o terrapieni (figg. 57 e 58).

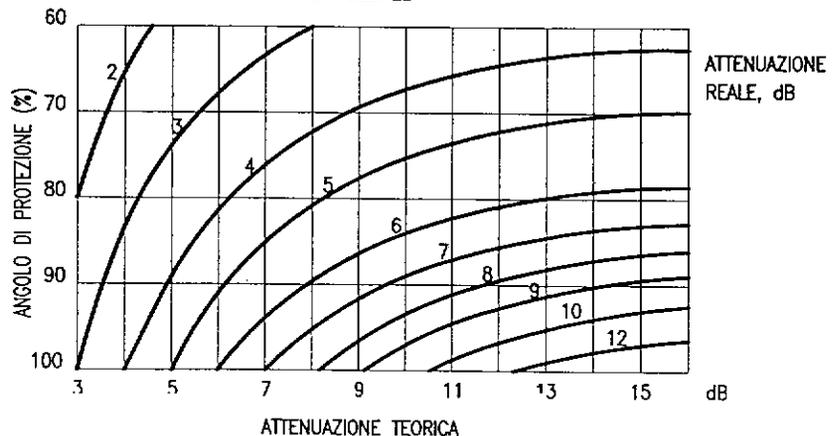
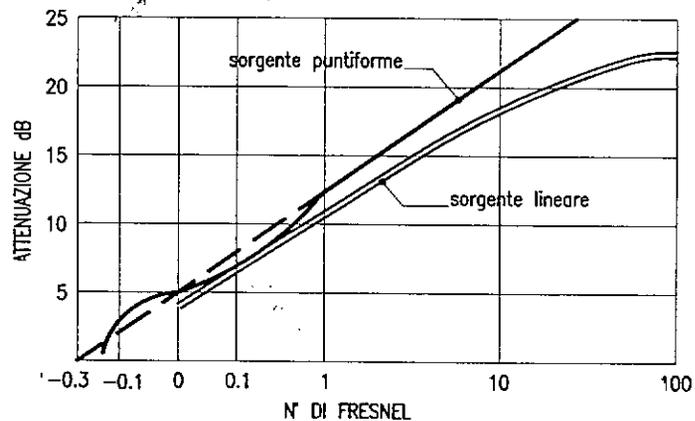
Per barriere vegetali si intendono anche particolari terrapieni, estremamente stretti in rapporto all'altezza, ottenuti mediante supporti metallici e teli di contenimento della terra in tessuti organici. Questi schermi vengono seminati con piante rampicanti che, rivestendone le superfici pressoché verticali, vengono a creare uno strato fonoassorbente di foglie e fiori. Nelle figure 59, 60 e 61 sono illustrati esempi di applicazione di questo tipo di barriere.



43



$$N \text{ Fr} = \pm 2(SA+AR-SR)/\lambda$$



44

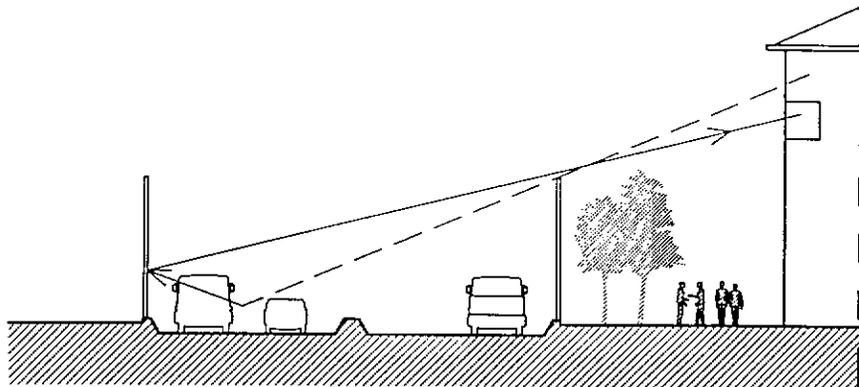
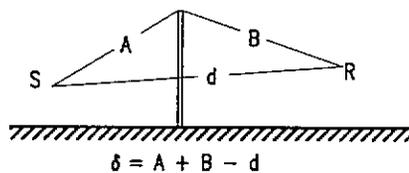
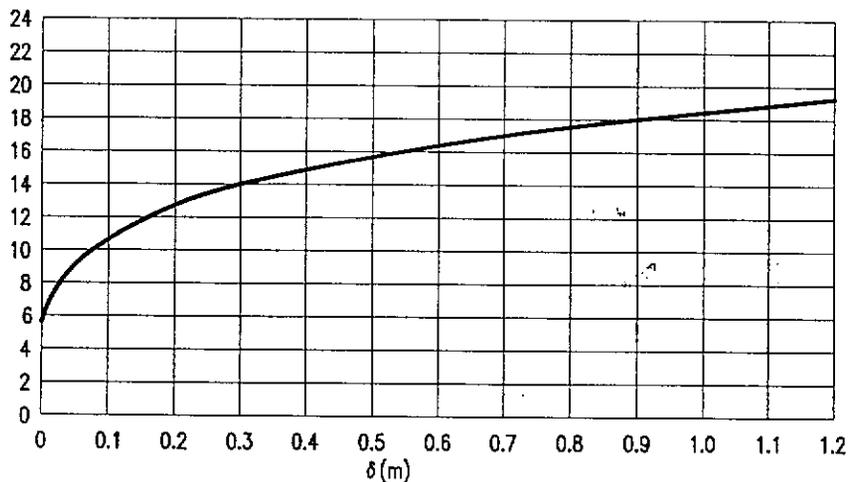


Fig. 43 Effetto controproducente in alcuni casi di installazione di barriere fonoriflettenti.

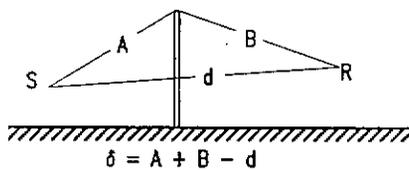
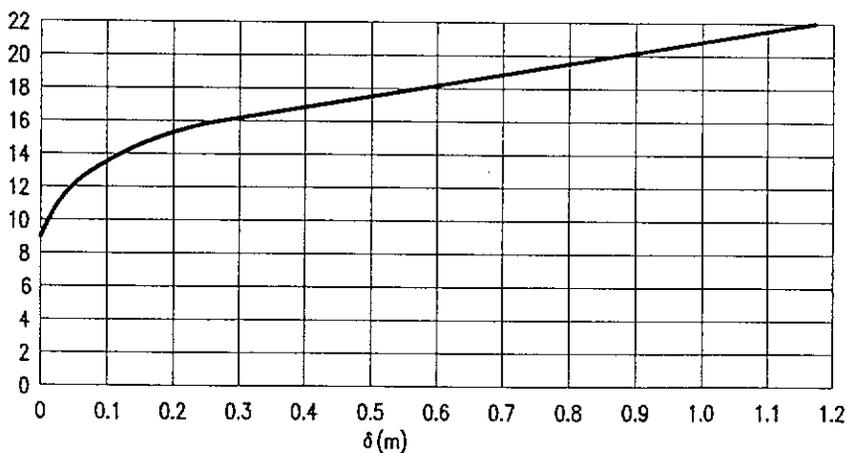
Fig. 44 Diagrammi per il calcolo dell'attenuazione effettiva in dB(A) di una barriera stradale.

Fig. 45 Attenuazione del rumore da traffico in dB(A): diagramma A per posizioni elevate (finestre degli edifici), diagramma B per punti al suolo.

A



B



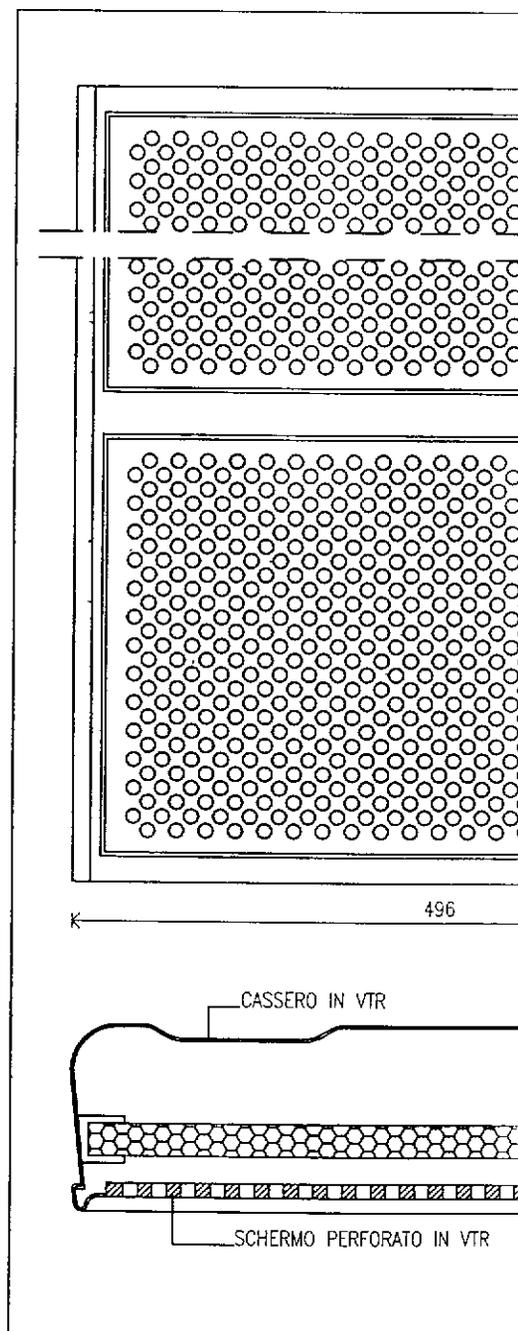
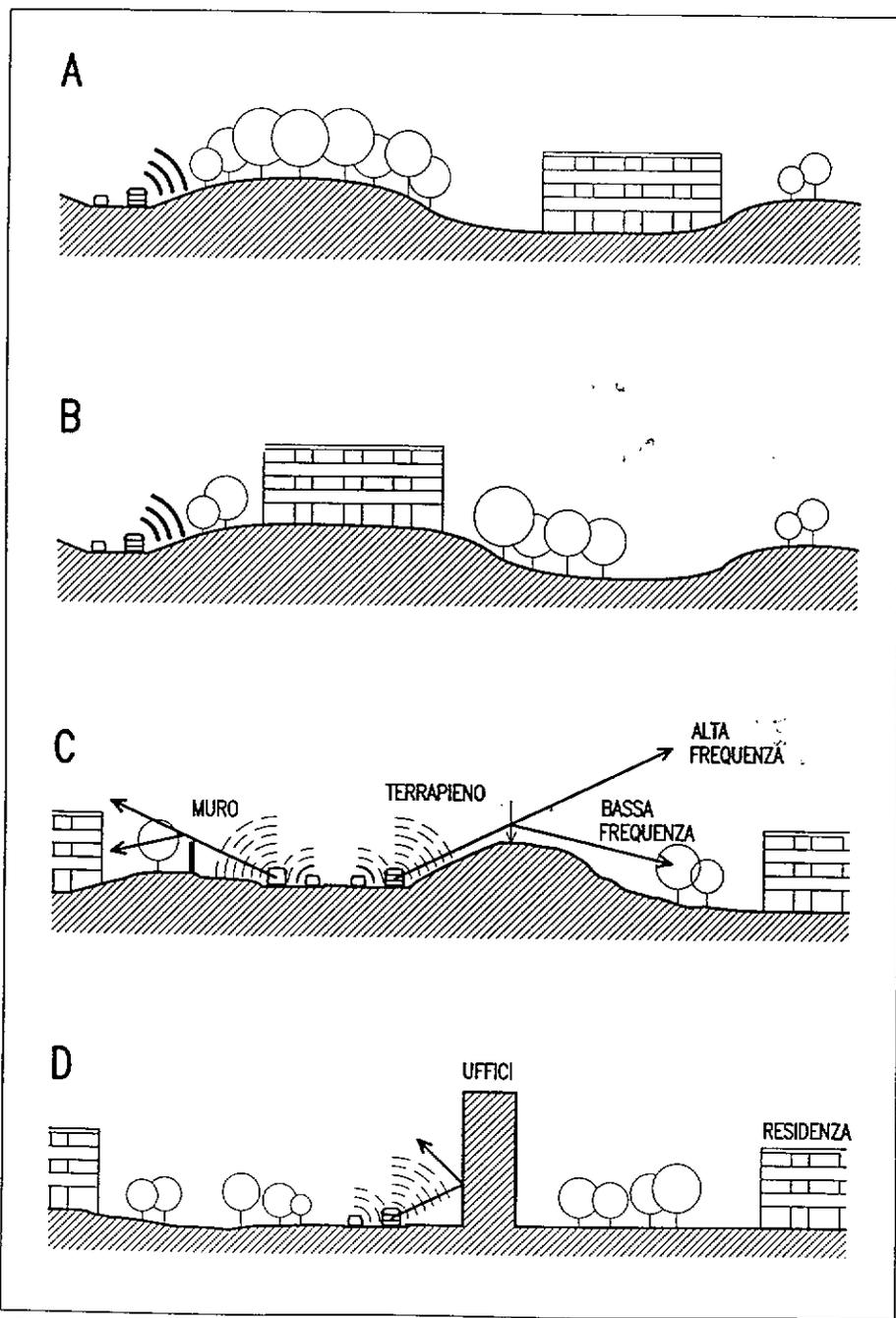
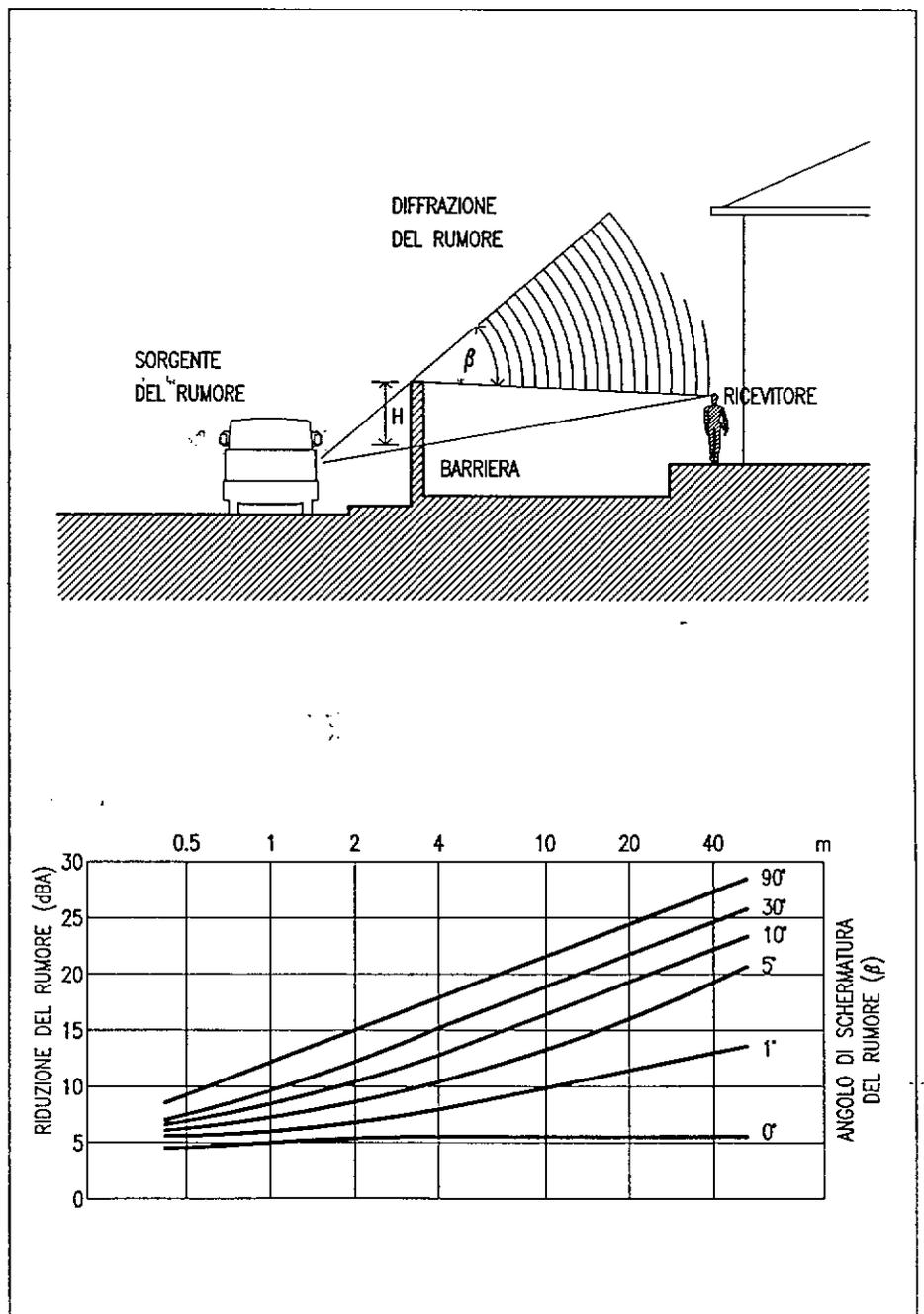
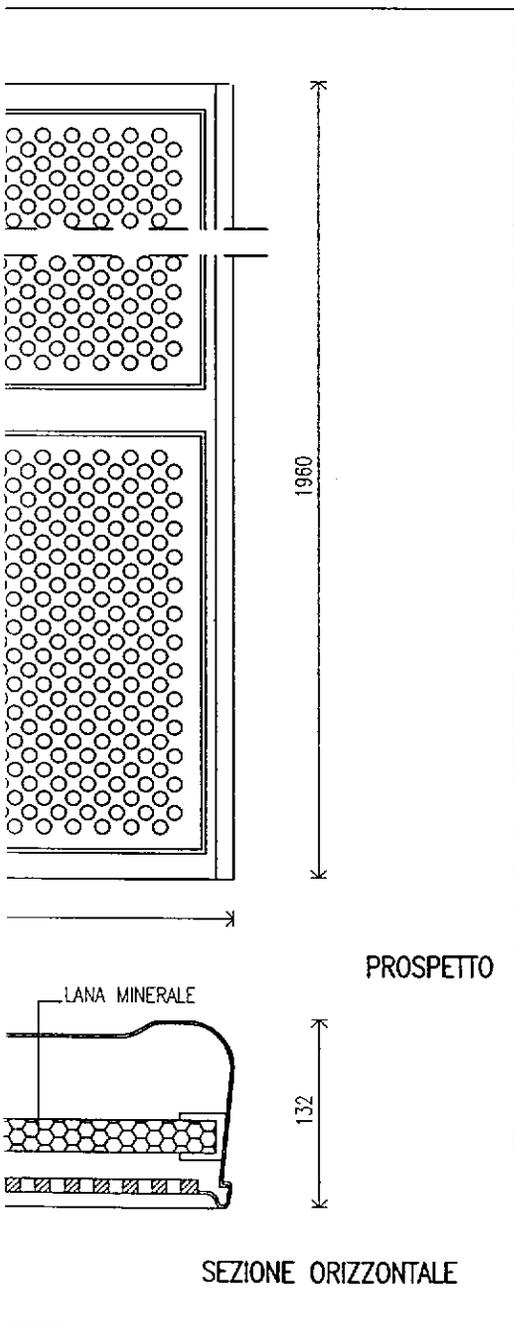
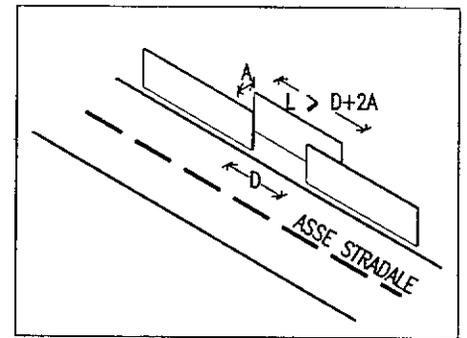
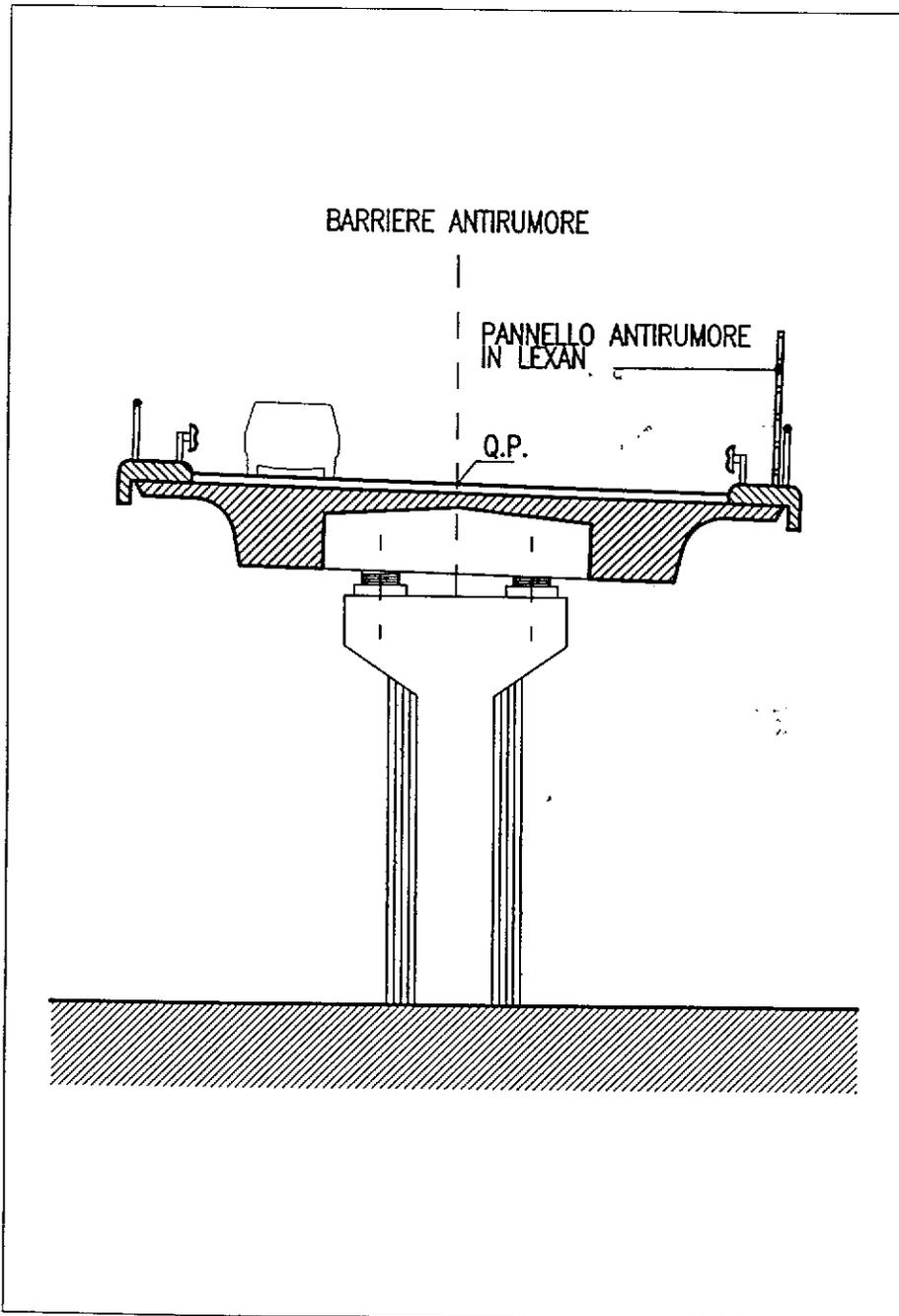


Fig. 46 Esempi di riduzione del rumore da traffico tramite opportuni accorgimenti urbanistici.

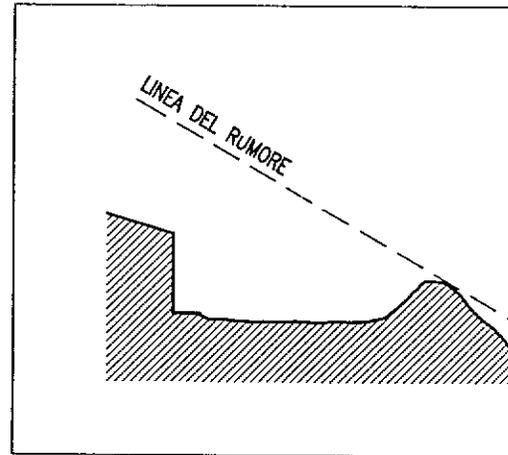
Fig. 47 Vista e sezione di schermi fonoassorbenti in vetroresina.

Fig. 48 Attenuazione ottenibile da una barriera antirumore in funzione dell'angolo di schermatura.

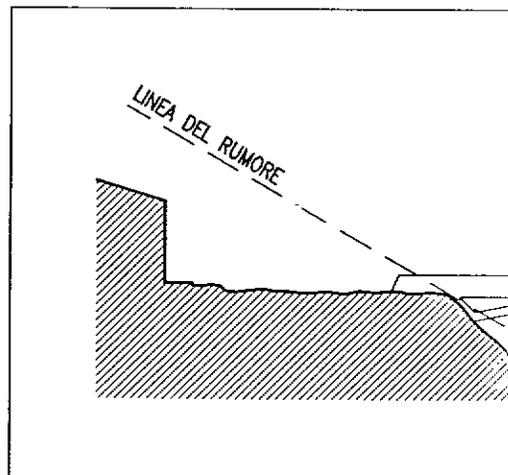




50



51



52

Fig. 49 Pannelli antirumore trasparenti sui parapetti di un viadotto.

Fig. 50 Corretta disposizione delle barriere antirumore lungo un'autostrada per garantire una via di uscita dalla sede viaria.

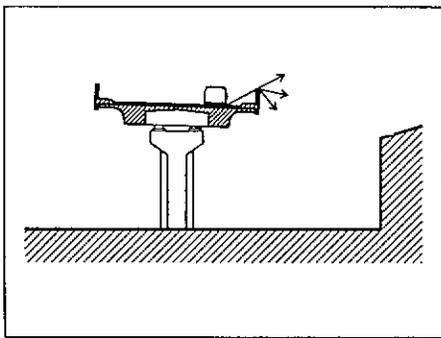
Fig. 51 Impiego di terrapieni a pendenza naturale per schermare gli edifici.

Fig. 52 Impiego di tracciati viari in trincea per schermare gli edifici.

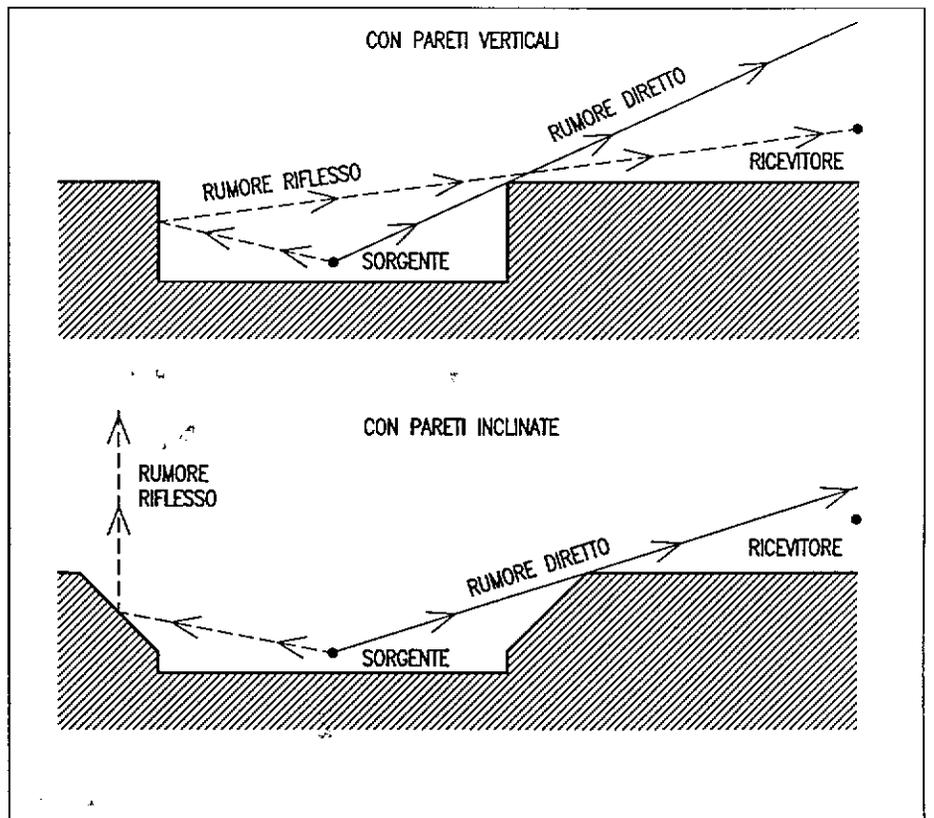
Fig. 53 Impiego di parapetti ciechi come schermi antirumore sui viadotti.

Fig. 54 Impiego di trincee con pareti inclinate per evitare le riflessioni verso il lato opposto.

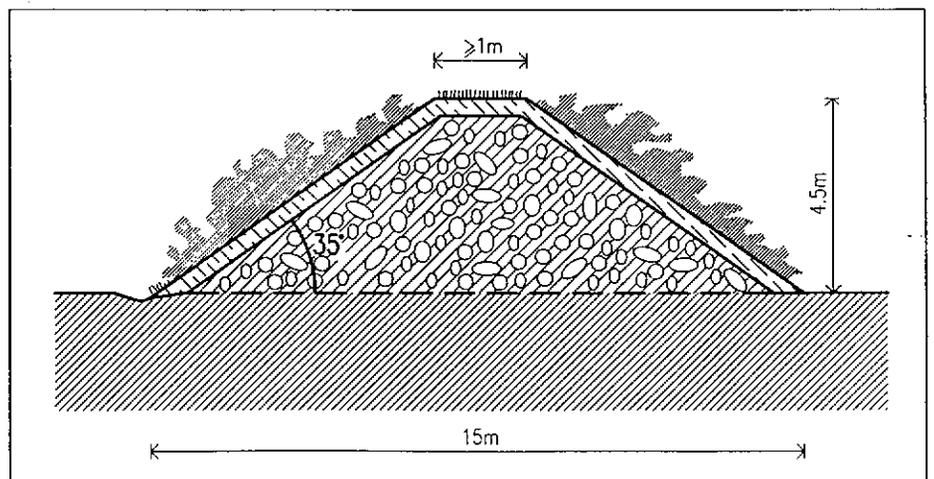
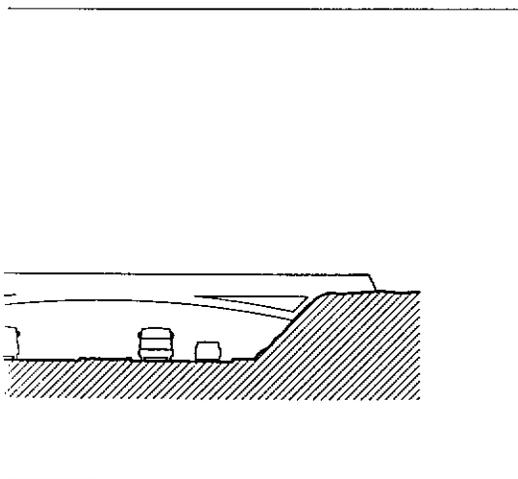
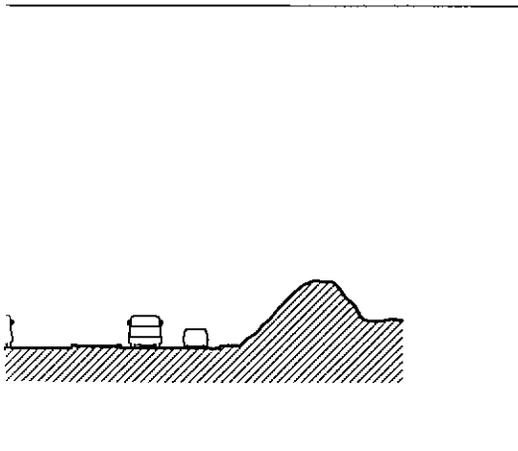
Fig. 55 Sezione di un terrapieno a pendenza naturale.



53



54



55

Fig. 56 Attenuazione ottenibile da uno spessore di 100 m di vegetazione, relativamente al caso illustrato in alto; nel caso rappresentato più sotto, la presenza degli alberi può far crescere il rumore.

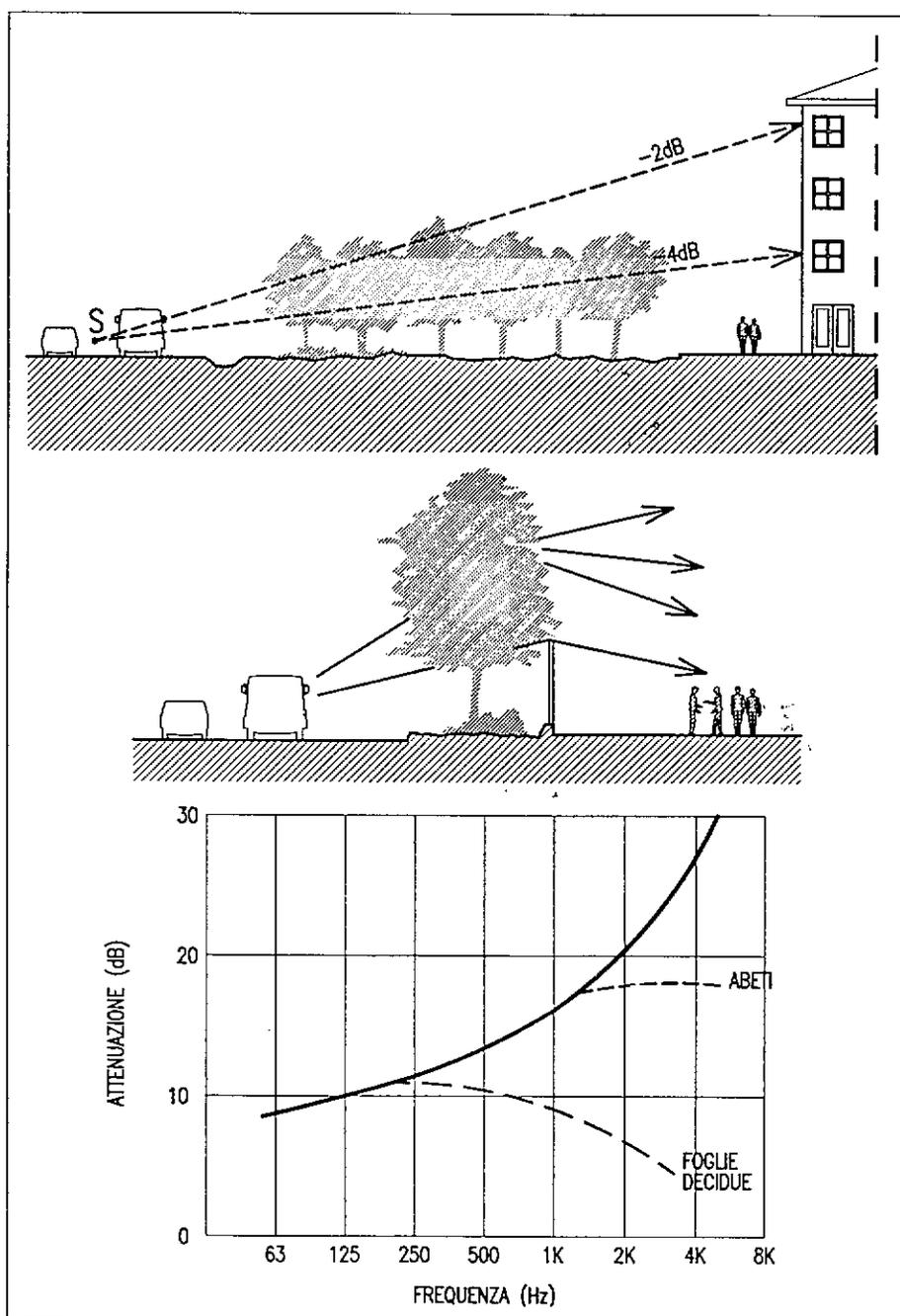
Fig. 57 Argine di un fiume impiegato come barriera antirumore.

Fig. 58 Sezione di un terrapieno artificiale con teli di sostegno.

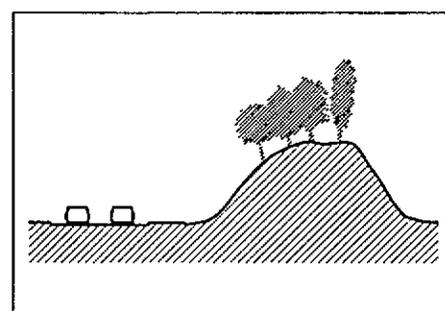
Fig. 59 "Muro verde", costituito da un contenitore in calcestruzzo riempito di terra.

Fig. 60 Barriera di tipo misto, costituita da uno schermo in calcestruzzo con "fioriere" fra loro comunicanti.

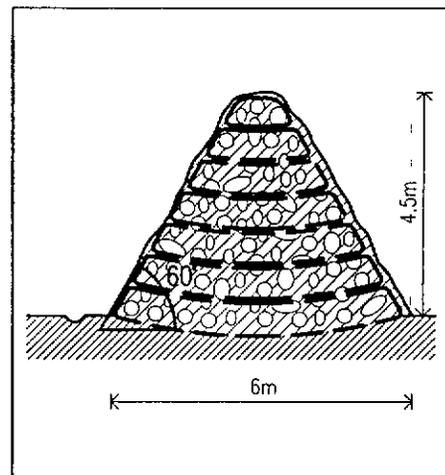
Fig. 61 "Muro verde", costituito da un traliccio metallico riempito di fibre e terra.



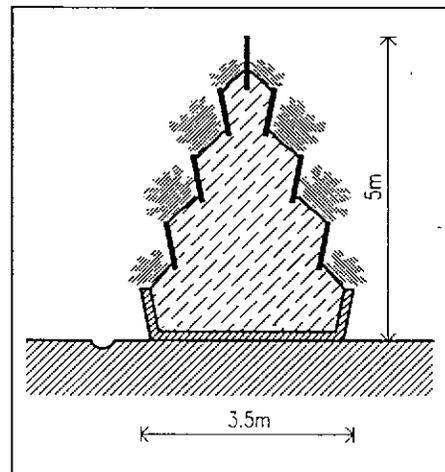
56



57



58



59

2.3.4 Interventi alla sorgente

Gli interventi alla sorgente competono sovente allo Stato o agli enti statali che regolano, mediante leggi, disposizioni e interventi, le caratteristiche di rumorosità dei veicoli e degli insediamenti industriali. Distinguendo i vari casi, si può dire che la riduzione all'origine del rumore prodotto dal traffico stradale è senz'altro possibile perseguendo tre distinte strategie: *interventi sui veicoli*, *interventi sulla sede viaria* e *interventi sulla circolazione*.

I primi sono attuabili riducendo i limiti di rumorosità consentiti ai vari tipi di veicoli e costringendo così le case costruttrici ad adeguarsi alla normativa.

I secondi si basano sull'impiego di asfalti fonoassorbenti, che con la loro porosità consentono una drastica riduzione del rumore dovuto al rotolamento dei pneumatici (rilevante soprattutto ad alta velocità, cioè in autostrada) e una modesta riduzione del rumore proveniente dal motore dei veicoli; se installati correttamente, consentono una riduzione di 3-4 dB(A) del rumore complessivo da traffico su tratti autostradali pianeggianti. È opportuno segnalare che la porosità di questi asfalti risulta estremamente utile in caso di pioggia per il suo effetto drenante, con un considerevole miglioramento della visibilità e dell'aderenza dei pneumatici.

I terzi consistono infine in una serie di interventi tali da fluidificare lo scorrimento veicolare, riducendo le zone di frenata e accelerazione, e convogliando il traffico su arterie periferiche, ove il problema del rumore è meno pressante. Interventi atti a ridurre la velocità non paiono molto efficaci, poiché a velocità ridotta aumenta la densità spaziale dei veicoli, e dunque la concentrazione delle sorgenti sonore. Inoltre va tenuta presente la difficoltà a far rispettare il divieto di segnalazione acustica nei centri abitati, per cui quando il flusso veicolare rallenta si assiste sovente a una inutile produzione sonora tramite gli avvisatori acustici. Sicuramente l'intervento più efficace è la pedonalizzazione dei centri storici, che risulta oltremodo efficiente se anche i mezzi pubblici, cui usualmente si continua a consentire la circolazione, vengono adeguatamente insonorizzati.

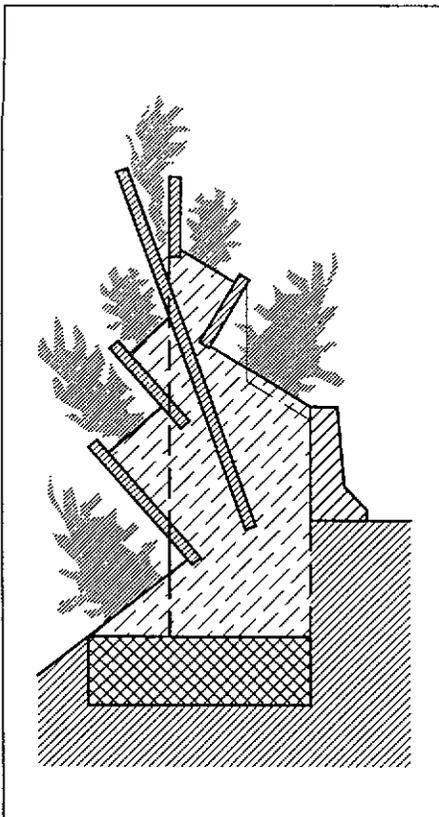
La rumorosità prodotta dai convogli ferroviari è influenzata dal grado di manutenzione del materiale rotabile e della linea ferroviaria stessa, poiché giochi e sferragliamenti producono notevoli picchi di rumore. Anche l'adozione di materiale di costruzione moderna, di treni più leggeri, di locomotori elettrici, anziché diesel, consente di ridurre il rumore prodotto. Infine si può considerare il miglioramento ottenibile dalla riduzione di

velocità, rilevante per il livello sonoro massimo ma meno influente per il livello equivalente.

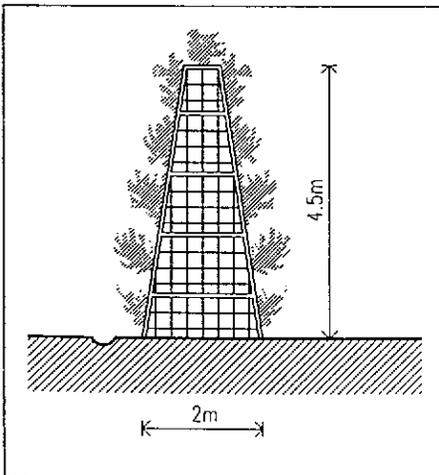
La riduzione del rumore ambientale generato dagli insediamenti industriali o artigianali è imposta dal DPCM dell'1.3.1991; essa è poi strettamente correlata alle misure di riduzione della rumorosità *all'interno* degli stabilimenti stessi, riduzione legata al rispetto della Direttiva del Consiglio CEE n. 188 del 12.5.1986 e corrispondente recepimento tramite DLL n. 277 del 15.8.1991. È ovvio che, riducendo il livello sonoro cui sono esposti i lavoratori, si riduce nella maggior parte dei casi anche la potenza sonora emessa verso l'ambiente circostante. Va tuttavia tenuta presente la possibilità di migliorare l'isolamento acustico degli edifici industriali, misura definibile come intervento alla fonte in quanto di competenza della proprietà dell'industria.

2.4 Bibliografia

- Calculation of Road Traffic Noise*, Dep. of the Environment and Welsh Office, joint publication, HMSO, Londra 1975
- CATO D.H., "Prediction of Environmental Noise from Fast Electric Trains", *Journal of Sound and Vibration*, n. 46, 1976
- CETUR, *Guide du bruit des transports terrestres - Prevision des niveaux sonores*, novembre 1980
- Commission of the European Communities, *Guide-line for the calculation of traffic noise*, prepared by H. Myncke, A. Cops, P. De Belder, Laboratorium voor Akoestiek en Warmtegeleiding, K.U. Leuven, Belgium, Final Report 1980
- CONNOR T., HINCKLEY R. et al., *INM, Integrated Noise Model - Version 2 User's Guide*, FAA, EE-79-09
- GABILLET Y., *La prevision numerique de bruit urbain - synthese des travaux effectues au CSTB*, Atti del Convegno "Il Rumore Urbano e il Governo del Territorio", Modena 1988
- MAEKAWA Z., "Noise reduction by screens", *Applied Acoustics*, n. 1, 1968
- MAGRAB E.B., *Environmental Noise Control*, John Wiley & Sons, New York 1975
- "Richtlinien for der Larmschutz an Strasse", Ausgabe 1981 - RLS81 - *Allgemeines Rundschreiben Strassenbau* n. 5, 1981
- SCHROEDER M.R., "Toward better acoustics for concert halls", *Physics Today*, ottobre 1980



60



61