

**METODOLOGIE
E INTERVENTI TECNICI
PER LA
RIDUZIONE DEL RUMORE
NEGLI
AMBIENTI DI LAVORO**

Manuale operativo

PRESENTAZIONE

Le malattie professionali e in particolare le ipoacusie, che costituiscono in Italia ancora una delle prime tecnopatie, sono un problema rilevante non solo dal punto di vista umano, ma anche sotto il profilo sanitario, sociale ed economico.

L'attenzione alle problematiche relative alla salute nei luoghi di lavoro si è progressivamente perfezionata negli ultimi anni. Si va infatti imponendo la consapevolezza dell'importanza e della necessità di ridurre il rumore non solo per prevenire i danni uditivi nei settori industriali tradizionali, ma più in generale per realizzare ambienti di lavoro ergonomici dato che il rumore è certamente uno dei parametri che maggiormente contribuiscono a caratterizzare negativamente la fruibilità dei luoghi di lavoro, soprattutto nelle tipologie di ambienti (uffici, scuole, ...) dove si svolgono attività che richiedono concentrazione, intelligibilità delle conversazioni ed al contempo riservatezza e non interferenza delle comunicazioni stesse.

Il rinnovato impegno sui temi del controllo del rumore nei luoghi di lavoro trae forza anche dallo sviluppo della normativa in materia: dalla tutela contro i rischi per l'udito prevista dal D.Lgs. 277/91 che ha recepito la prima direttiva europea sul rumore 188/86/CEE, al principio del miglioramento continuo delle condizioni di lavoro introdotto dal D.Lgs.626/94 e sviluppato dal D.Lgs. 81/2008 con l'implementazione della nuova direttiva europea sul rumore 2003/10/CE che, secondo una prassi consolidata di progressivo innalzamento degli standard di sicurezza e salute dei lavoratori, prevede una serie di significative novità.

Per dare piena attuazione alla legislazione in materia e fornire risposte concrete alle aspettative del mondo del lavoro occorre anche mettere in campo interventi tesi a far crescere la cultura della prevenzione e della sicurezza, sia nel mondo del lavoro che fra le giovani generazioni in quanto futuri lavoratori e futuri imprenditori. Le attività di informazione, di formazione, di documentazione e di assistenza nei confronti di tutti i soggetti coinvolti nei processi e nelle problematiche di igiene e sicurezza negli ambienti di lavoro, associate con la messa a disposizione di buone prassi che contribuiscano in modo efficace ed innovativo alla riduzione dei rischi specifici, assumono quindi un ruolo fondamentale per il raggiungimento di questi obiettivi.

Il Manuale operativo "Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro" qui presentato, si pone in naturale continuità con le Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro pubblicate nel 2000, fornendo lo stato dell'arte sugli aspetti tecnici della prevenzione dei rischi da esposizione a rumore, con particolare attenzione al tema della bonifica, ed a due temi ad essa direttamente correlati e spesso trascurati: la progettazione acustica ex novo degli insediamenti produttivi ed i collaudi acustici degli interventi di bonifica.

Il Manuale si propone di mettere a disposizione della comunità nazionale informazioni, metodologie e interventi realizzati sul campo, normalmente reperibili solo in un ristretto ambito di addetti ai lavori e di esperti di acustica, utili per

garantire il pieno controllo del rischio rumore in tutti i principali comparti produttivi.

Esso rappresenta lo schema di riferimento già proposto dall'ex ISPESL e dal Coordinamento Tecnico Interregionale della Prevenzione nei Luoghi di Lavoro, e approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome il 16.12.2004, nell'adempimento dei rispettivi compiti istituzionali, per orientare le aziende, i loro consulenti ed anche gli organi di vigilanza verso una corretta risposta agli adempimenti fissati dall'attuale normativa, tenendo conto dell'evoluzione tecnica, scientifica, legislativa e normativa degli ultimi anni e con indicazioni univoche su tutto il territorio nazionale.

È da rilevare che anche in questa edizione aggiornata, approvata dalla Commissione consultiva permanente ex art. 6 D.Lgs. 81/2008, si è deciso di rinominare il Manuale di buona pratica in Manuale operativo ma di lasciare il titolo originale ("Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro"), nella convinzione di fornire un supporto operativo alle azioni di controllo e riduzione del rischio rumore richieste dal D.Lgs.81/2008

Il testo presentato a seguito è organizzato, per facilità di comprensione e di accesso alle informazioni, in due livelli.

Il Primo Livello contiene l'articolato essenziale del Manuale operativo ed è ispirato alla massima semplicità di lettura e chiarezza di contenuti; esso è rivolto alla generalità dei destinatari e non richiede particolari conoscenze di acustica. Dopo i primi due capitoli di carattere eminentemente introduttivo, il testo affronta in successione gli argomenti legati ai luoghi di lavoro ed alle macchine. I capitoli 3 e 4 entrano nel merito dell'applicazione delle linee guida nei luoghi di lavoro, con il capitolo 3 che introduce il lettore ai criteri acustici generali di progettazione e bonifica degli edifici industriali stabiliti dalle attuali norme tecniche e di legge, ed il capitolo 4 che affronta con specifici approfondimenti alcune particolari tipologie di destinazione d'uso (uffici, attività commerciali, ambienti scolastici, ambienti comunitari e di pubblico spettacolo e strutture sanitarie). In modo analogo i capitoli 5 e 6 analizzano le macchine, le attrezzature e gli impianti, con il primo che tratta la problematica dei criteri acustici di acquisto, mentre il secondo affronta la bonifica acustica. Il testo introduce poi il lettore al collaudo acustico in opera degli interventi di controllo del rumore e presenta la bibliografia generale. Conclude questo primo livello il glossario, per aiutare il lettore alla comprensione dei termini e dei concetti utilizzati nel testo.

Il Secondo Livello è articolato in 30 Schede destinate all'approfondimento tecnico e gestionale degli argomenti trattati nel primo livello; si citano ad esempio le Schede di acustica fisica generali utili per comprendere il fenomeno acustico in tutte le sue articolazioni (generazione, propagazione, assorbimento e isolamento), le Schede riguardanti i criteri di scelta e collaudo delle metodologie attualmente disponibili per la riduzione del rumore, la Scheda sulla scelta del consulente tecnico, la Scheda contenente le bonifiche effettuate sul territorio ed i risultati raggiunti in termini di efficacia acustica e di costo. Il Secondo Livello, per la sua natura di schede tecniche, è destinato ad arricchirsi nel tempo attraverso i successivi aggiornamenti che si renderanno necessari e verranno pertanto reso disponibile solo in formato elettronico.

Il testo di questo Manuale è disponibile sul sito internet www.lavoro.gov.it, nella sezione “sicurezza nel lavoro”, dove verrà progressivamente aggiornato secondo le novità tecniche e legislative che interverranno.

La realizzazione di questo Manuale è stata resa possibile grazie all’esperienza ed alla competenza messa a disposizione da alcuni tra i maggiori esperti pubblici e privati che operano in questo campo nell’ambito di un Gruppo di Lavoro nazionale promosso nel 2004 dall’ex ISPESL e di un Gruppo di lavoro del Coordinamento Tecnico delle Regioni e delle Province autonome con prestigiose collaborazioni che si desidera qui pubblicamente richiamare e ringraziare.

Nel sottolineare che la prima pubblicazione del Manuale è avvenuta proprio nel 2005, anno europeo dedicato al rumore, ci auguriamo che anche queste indicazioni aggiornate, approvate dalla Commissione consultiva permanente, siano favorevolmente accolte nel mondo produttivo e della prevenzione e le ricadute operative risultino apprezzabili nei prossimi mesi, vero e proprio banco di prova del nuovo quadro legislativo imperniato sui decreti legislativi 81/2008 e 106/2009.

**METODOLOGIE
E INTERVENTI TECNICI
PER LA
RIDUZIONE DEL RUMORE
NEGLI
AMBIENTI DI LAVORO**

Manuale operativo

**INDICE
GENERALE**

PRIMO LIVELLO (su www.lavoro.gov.it)		
1	OBIETTIVI E DESTINATARI DEL MANUALE	
2	DALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO ALLE STRATEGIE PER LA SUA RIDUZIONE	
2.1	VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE	
2.2	STRATEGIE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO	
3	PRESTAZIONI ACUSTICHE E CRITERI DI PROGETTAZIONE E BONIFICA DEGLI STABILIMENTI INDUSTRIALI	
3.1	RIDUZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO	
3.2	RIDUZIONE DEL RISCHIO PER I LAVORATORI	
3.2.1	Individuazione e caratterizzazione delle sorgenti di rumore	
3.2.2	Spazi e caratteristiche geometriche dello stabilimento	
3.2.3	Stima dei livelli di esposizione negli ambienti di lavoro	
3.2.4	Definizione degli obiettivi acustici da raggiungere	
3.2.5	Interventi sul <i>lay-out</i>	
3.2.6	Trattamenti fonoassorbenti ambientali	
4	PRESTAZIONI ACUSTICHE E CRITERI DI PROGETTAZIONE E BONIFICA PER SPECIFICI LUOGHI DI LAVORO	
4.1	PARAMETRI DA CONTROLLARE E VALORI DI RIFERIMENTO	
4.1.1	Uffici	
4.1.2	Attività commerciali	
4.1.3	Ambienti scolastici	
4.1.4	Strutture sanitarie	
4.2	SINTESI DEI REQUISITI E DEGLI STANDARD ACUSTICI	
5	CRITERI ACUSTICI DI ACQUISTO DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI	
5.1	REQUISITI ACUSTICI PREVISTI DALLA LEGISLAZIONE	
5.1.1	Provvedimenti legislativi di carattere generale	
5.1.2	Provvedimenti legislativi di carattere specifico	
5.2	SPECIFICHE DI ACQUISTO E DI ACCETTAZIONE	
5.3	INDICAZIONI PER LA VIGILANZA E CONTROLLO DELLE ASL	

6	BONIFICA ACUSTICA DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI	
6.1	CONTROLLO DEL RUMORE ALLA SORGENTE	
6.1.1	Elementi metodologici per la bonifica	
6.1.2	Bonifica delle sorgenti sonore primarie	
6.1.3	Bonifica delle sorgenti sonore secondarie	
6.1.4	Esame di un caso	
6.2	INTERVENTI SULLA TRASMISSIONE E SULLA PROPAGAZIONE DEL RUMORE	
6.2.1	Cabine acustiche (Coperture integrali)	
6.2.2	Cappottature acustiche (Coperture parziali)	
6.2.3	Schermi e barriere acustiche	
6.2.4	Silenziatori	
6.2.5	Interventi sulla propagazione per via solida	
6.2.6	Interventi di controllo attivo del rumore e delle vibrazioni	
6.2.7	Cabine per operatori	
6.2.8	Trattamenti fonoassorbenti ambientali	
6.3	MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ	
7	COLLAUDO ACUSTICO IN OPERA DEGLI INTERVENTI DI CONTROLLO DEL RUMORE	
8	BIBLIOGRAFIA	
8.1	BIBLIOGRAFIA GENERALE	
8.1	BIBLIOGRAFIA SPECIFICA	
9	GLOSSARIO	
Credits		

SECONDO LIVELLO
Schede di approfondimento
(su www.lavoro.gov.it)

1	Propagazione del rumore in ambienti chiusi: aspetti fisici	
2	Propagazione del rumore in ambienti industriali: modellizzazione	
3	Isolamento acustico: aspetti fisici	
4	Isolamento al calpestio e basamenti galleggianti	
5	Comprensione del messaggio verbale e dei segnali di pericolo	
6	Capitolato di acquisto di una macchina	
7	Criteri per la scelta del personale qualificato in acustica	
8	Urti e impatti: emissione sonora e criteri di bonifica	
9	Microurti: emissione sonora e criteri di bonifica	
10	Attrito e inerzia	
11	Moto di liquidi: turbolenza, cavitazione, colpo d'ariete. Emissione sonora e criteri di bonifica	
12	Risonanza meccanica	
13	Materiali e tecnologie per l'isolamento e lo smorzamento delle vibrazioni	
14	Trasmissione del rumore per via aerea e per via strutturale	
15	Radiazione acustica di superfici vibranti	
16	Controllo attivo del rumore e delle vibrazioni	
17	Coperture totali e parziali di sorgenti sonore	

18	Cabine silenziose per operatori	
19	Schermature di sorgenti sonore e di aree rumorose	
20	Trattamenti fonoassorbenti	
21	Propagazione del rumore nelle condotte d'aria	
22	Silenziatori dissipativi e reattivi	
23	Silenziatori per getti d'aria	
24	Misura e valutazione del livello di potenza sonora	
25	Criteri generali di collaudo di una bonifica acustica	
25.1	Coperture fonoisolanti	
25.2	Schermi e barriere fonoisolanti	
25.3	Silenziatori	
25.4	Trattamenti fonoassorbenti ambientali	
25.5	Cabine fonoisolanti per operatori	
25.6	Requisiti acustici passivi degli edifici	
25.7	Impianti di climatizzazione e ventilazione	
26	Modulistica per la raccolta d'informazioni acustiche nei nuovi insediamenti produttivi o nelle loro ristrutturazioni	
27	Riduzione dell'impatto acustico di stabilimenti industriali	
28	Modello di segnalazione di presunta non conformità ai RES da parte delle ASL	
29	Normativa di legge e tecnica essenziale	
30	Esempi di interventi tecnici di riduzione del rumore realizzati sul campo	

**METODOLOGIE
E INTERVENTI TECNICI
PER LA
RIDUZIONE DEL RUMORE
NEGLI
AMBIENTI DI LAVORO**

Manuale operativo

PRIMO LIVELLO

1. OBIETTIVI E DESTINATARI DEL MANUALE

Con le indicazioni contenute in questo Manuale si intendono fornire indirizzi e indicazioni pratiche per elaborare e attuare le misure tecniche e organizzative per la riduzione del rischio rumore, fissate dall'articolo 192 del D.Lgs. 81/2008, necessarie quantomeno al superamento dei valori superiori di azione (85 dB(A) di L_{EX} e/o 137 dB(C) di L_{picco}).

Nella stesura del testo del 1° Livello si è dedicata particolare attenzione alle realtà industriali, alle problematiche delle piccole e medie imprese, delle amministrazioni pubbliche, del terziario (come uffici, commercio, scuole e strutture sanitarie) dove ci è parsa più forte l'esigenza di indirizzi operativi anche per il rispetto di obblighi legislativi o regolamentari diversi dal Testo Unico.

Le presenti indicazioni sono indirizzate in primo luogo ai soggetti aziendali ed extra aziendali che la legislazione individua come i soggetti su cui gravano specifici obblighi per la riduzione del rischio rumore nei luoghi di lavoro. Ci si riferisce innanzitutto ai datori di lavoro, che sono i primi depositari degli obblighi di sicurezza nei confronti dei loro lavoratori, ovvero, più spesso, ai loro consulenti (progettisti, valutatori, realizzatori di bonifiche acustiche ...) o delegati (dirigenti, R-SPP: Responsabili dei Servizi di Prevenzione e Protezione ...). Inoltre, anche altre importanti figure della prevenzione quali i produttori di macchine, gli stessi Rappresentanti dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS) ed i Medici Competenti, troveranno molteplici riferimenti al loro ruolo.

Le indicazioni di questo Manuale sono anche rivolte ai Dipartimenti di Prevenzione delle Aziende Unità Sanitarie Locali, i cui operatori svolgono quotidianamente una azione diffusa di prevenzione e di vigilanza nei luoghi di lavoro, con l'obiettivo primario di favorire l'uniformità dei comportamenti sul territorio nazionale.

2. DALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO ALLE STRATEGIE PER LA SUA RIDUZIONE

La legislazione sul controllo del rumore nei luoghi di lavoro è andata incontro negli anni a tre fondamentali modifiche: dal 1956 al 1991 il riferimento era contenuto nel D.P.R. 303/56 sostituito, con un forte impatto sulle aziende, dall'emanazione del D.Lgs. 277/91 in recepimento della prima direttiva europea sul rumore 86/188/CEE. Oggi siamo invece di fronte al recepimento della seconda direttiva 2003/10/CE, inserito nella legislazione italiana prima con il Titolo V-bis del D.Lgs. 626/94, poi dal Capo II del Titolo VIII del D.Lgs. 81/2008 e relative disposizioni integrative e correttive.

Tuttavia, in tema di esposizione al rischio rumore sui luoghi di lavoro, il quadro legislativo attuale discende anche da un'altra fondamentale direttiva comunitaria inerente il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro: la direttiva quadro 89/391/CEE recepita in Italia prima col D.Lgs.626/94 e poi con il Titolo I del D.Lgs.81/2008 e successive modifiche e integrazioni.

In effetti, oggi si può convenire che il D.Lgs.277/91 anticipava ciò che è stato attuato compiutamente solo a seguito dell'entrata in vigore, da ultimo, del Titolo I del D.Lgs. 81/2008 e che, in sintesi, può essere definito come un metodo di gestione aziendale della sicurezza maggiormente imperniato sulle procedure ed attuato mediante l'adozione di misure che, in primo luogo, prevedono la valutazione del rischio.

È importante sottolineare la stretta connessione tra Titolo I del D.Lgs. 81/2008 (norma generale di riferimento per la sicurezza sul lavoro) e Titolo VIII, Capo II (norma specifica integrativa sul rischio rumore), perché è dalla lettura integrata dei due provvedimenti che si coglie appieno il senso della valutazione del rischio e del suo obiettivo primario: quello di identificare e attuare le misure tecniche, organizzative e procedurali che, ancor prima dei protocolli di prevenzione e protezione esplicitamente previsti, permettono un reale contenimento dei livelli di rischio.

Ricordiamo che il presente Manuale è reperibile, nella sua versione aggiornata, all'indirizzo:

www.lavoro.gov.it

2.1. VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE

In generale, la valutazione dei rischi è un processo tecnico di conoscenza finalizzato alla riduzione ed al controllo dei rischi attraverso una serie di interventi, tra i quali l'adozione di misure tecniche, organizzative e procedurali, l'effettuazione di controlli sanitari preventivi e periodici, la costante ed adeguata informazione e formazione degli addetti.

Sul versante specifico del rumore è il D.Lgs. 81/2008 che, in particolare nel Titolo VIII e nei suoi Capi I e II, stabilisce le modalità esecutive ed i requisiti della valutazione del rischio e del Documento di Valutazione del Rischio, richiamando

più volte che l'obiettivo generale della valutazione del rischio è identificare le azioni che permettano la riduzione del rischio per una sua corretta gestione (controllo del rischio).

In maniera più analitica si può sostenere che la valutazione del rischio rumore deve consentire di:

- 1) identificare le sorgenti/attività sulle quali attuare misure tecniche, organizzative o procedurali per il controllo del rischio, individuando le modalità ottimali di intervento;
- 2) definire i livelli di esposizione personale al rumore (L_{EX}) e le condizioni accentuanti il rischio (in particolare: presenza di rumori impulsivi, di lavoratori particolarmente sensibili, di sostanze ototossiche e di vibrazioni) al fine di identificare i lavoratori destinatari di protocolli specifici di prevenzione (controlli sanitari, esigenze di informazione/formazione, fornitura/obbligo d'uso dei DPI uditivi);
- 3) valutare dell'efficienza e dell'efficacia dei DPI uditivi;
- 4) identificare i luoghi di lavoro su cui si applicano protocolli specifici di prevenzione (ad esempio: segnalazione/perimetrazione dei luoghi di lavoro con livello equivalente sonoro $L_{Aeq} > 85$ dB(A) e/o livello di picco $L_{picco} > 137$ dB(C)).

Ecco allora che una tale valutazione del rischio pone realmente il datore di lavoro in condizione di decidere le azioni da intraprendere per mettere il rischio sotto controllo, indicando il programma operativo conseguente.

In definitiva, la valutazione del rischio da rumore, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 81/2008, è un processo tecnico che, partendo dalla conoscenza della rumorosità presente nella realtà produttiva oggetto della valutazione, è finalizzato alla riduzione ed al controllo dei rischi attraverso l'adozione di specifiche misure tecniche, organizzative e procedurali.

2.2. STRATEGIE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO

La riduzione del rumore può essere attuata adottando vari provvedimenti tecnici, preventivi e protettivi. Questi provvedimenti possono consistere in una riduzione del rumore alla fonte (sulle macchine, sui processi di lavorazione), sul percorso di propagazione (con cabine acustiche, schermi, trattamenti fonoassorbenti ambientali...) o con misure sull'operatore (cabine di riposo acustico, turnazioni, DPI uditivi...).

L'adozione dell'uno o dell'altro tipo di soluzione non è indifferente: la legislazione, ed in particolare l'art. 15 del D.Lgs. 81/2008, fissa una sequenza inequivocabile che privilegia i provvedimenti volti all'eliminazione o alla riduzione del rischio alla fonte ed i provvedimenti di tipo collettivo su quelli individuali.

Ecco allora che i metodi di riduzione del rumore sul posto di lavoro devono sempre essere ispirati a tale percorso logico e tecnico-metodologico che corrisponde anche all'efficacia attesa del provvedimento.

È noto infatti che i vantaggi maggiori in termini di decibel si possono ottenere agendo sulle macchine, in fase progettuale o in opera, intervenendo sui meccanismi fisici di generazione del rumore oppure intercettando il rumore prima che si propaghi all'ambiente di lavoro. Tuttavia, anche le attenuazioni dei livelli sonori che si possono ottenere tramite il trattamento fonoassorbente ambientale, seppure inferiori in termini numerici rispetto ai precedenti, corrispondono a decibel "pesanti" dal punto di vista igienistico. Infatti, tali interventi consentono di ridurre i livelli sonori ambientali in tutto l'ambiente di lavoro (e quindi si ritrovano di pari entità come riduzione del livello di esposizione personale) e agiscono prevalentemente sulle componenti a media-alta frequenza, che sono quelle più pericolose per l'udito e le più fastidiose dal punto di vista ergonomico.

Solo a valle di questi interventi tecnici, ove possibili, sulle fonti e sulle vie di propagazione del rumore, è corretto mettere in campo i provvedimenti di protezione dell'udito sulla base del cosiddetto rischio residuo.

A seguito delle indicazioni ottenibili da una corretta valutazione del rischio, nei casi sopra elencati si stabiliscono gli obiettivi acustici e le possibili metodologie di intervento.

Esaminati i possibili interventi tecnici in grado di garantire tali riduzioni della rumorosità, e la loro fattibilità sulla base del grado di rispondenza alle condizioni al contorno richieste, la decisione sul tipo di intervento da adottare va maturata a valle di un confronto tecnico con lo staff aziendale della produzione, della manutenzione e della sicurezza (alla luce delle cosiddette informazioni "non acustiche") e della consultazione dei lavoratori e/o dei loro RLS. Questo processo è finalizzato alla salvaguardia sia delle esigenze funzionali e logistiche per la salute e la sicurezza degli operatori, sia della produttività e della manutenzione delle macchine e degli impianti.

A questo punto, scelta la soluzione che garantisce il migliore compromesso tra costi e benefici, si passerà così alla progettazione esecutiva ed alla realizzazione, prevedendo possibilmente anche delle verifiche intermedie.

Una volta ultimata l'opera si provvederà ad effettuare il collaudo acustico ed a verificare la riduzione del rumore così ottenuta.

Sulla base delle risultanze dell'intervento il datore di lavoro aggiornerà la Valutazione del Rischio, se del caso aggiornando il programma di mantenimento e miglioramento.

In merito alla prima valutazione di fattibilità degli interventi, dato che da una corretta impostazione iniziale dipende molto spesso l'esito dell'intero intervento, si ritiene opportuno illustrare più in dettaglio le singole voci associate alle fasi summenzionate.

- ***Entità della attenuazione sonora richiesta.***

Una attenta valutazione del livello di esposizione personale fornisce informazioni in merito all'attenuazione necessaria; dato che le diverse famiglie di interventi sono caratterizzate anche da diversi abbattimenti raggiungibili con ciascuna di esse, è utile definire prima la riduzione in dB che costituiscono l'obiettivo dell'intervento per poter così orientare correttamente la scelta (ad

esempio: per riduzioni > 10 dB non ha senso ipotizzare un trattamento fonoassorbente ambientale). Spesso alla stessa riduzione si può pervenire attraverso strade diverse (ad esempio: una riduzione di 15 dB è ottenibile sia cambiando la tecnologia produttiva che con un intervento di chiusura della sorgente); in questo caso oltre al costo occorrerà valutare particolarmente i vincoli esistenti e quelli eventualmente associati all'intervento.

- ***Vincoli esistenti.***

È indispensabile conoscere a fondo le condizioni di funzionamento dell'impianto oggetto dell'insonorizzazione in modo da non proporre soluzioni acusticamente valide ma non utilizzabili per motivi di carattere gestionale. Ad esempio: in una cabina acustica di una sorgente, un portello che viene aperto molto frequentemente inficia l'intervento; sarebbe più opportuno portare all'esterno della cabina il particolare sul quale si deve intervenire oppure prevedere un ingresso silenziato che, a fronte di una minore efficienza acustica, garantisce comunque sempre un congruo abbattimento. Per garantire una buona efficienza si consiglia di coinvolgere nel progetto oltre al costruttore, se possibile, anche gli operatori e gli addetti alla manutenzione.

- ***Risorse disponibili.***

Il costo reale di un intervento insonorizzante va correttamente stimato in relazione al numero di persone che godono dei benefici indotti; occorre anche evidenziare che molto spesso si dovranno sostenere anche altri costi nascosti collegati direttamente alla scelta tecnica (ad esempio: l'eventuale aumento dei costi di fermo macchina per la manutenzione in caso di cabinatura totale della sorgente).

Infine, è indubbio che su questo processo giochino un ruolo fondamentale il datore di lavoro, i suoi collaboratori e il personale qualificato incaricato della progettazione e della realizzazione degli interventi acustici. Quest'ultimo deve essere dotato di esperienza progettuale e applicativa specifica e quindi non necessariamente lo stesso che ha eseguito le misure fonometriche per la Valutazione del rumore.

Indicazioni per la scelta del consulente sono riportate nella Scheda n.7 del secondo livello.

Sulla base di queste considerazioni, di seguito si propone, con lo schema di Figura 2.1, la metodologia generale consigliata da questo manuale per la riduzione del rumore in ambiente di lavoro attraverso passaggi che saranno in dettaglio esaminati nei Capitoli seguenti e nelle Schede tecniche di approfondimento del secondo livello.

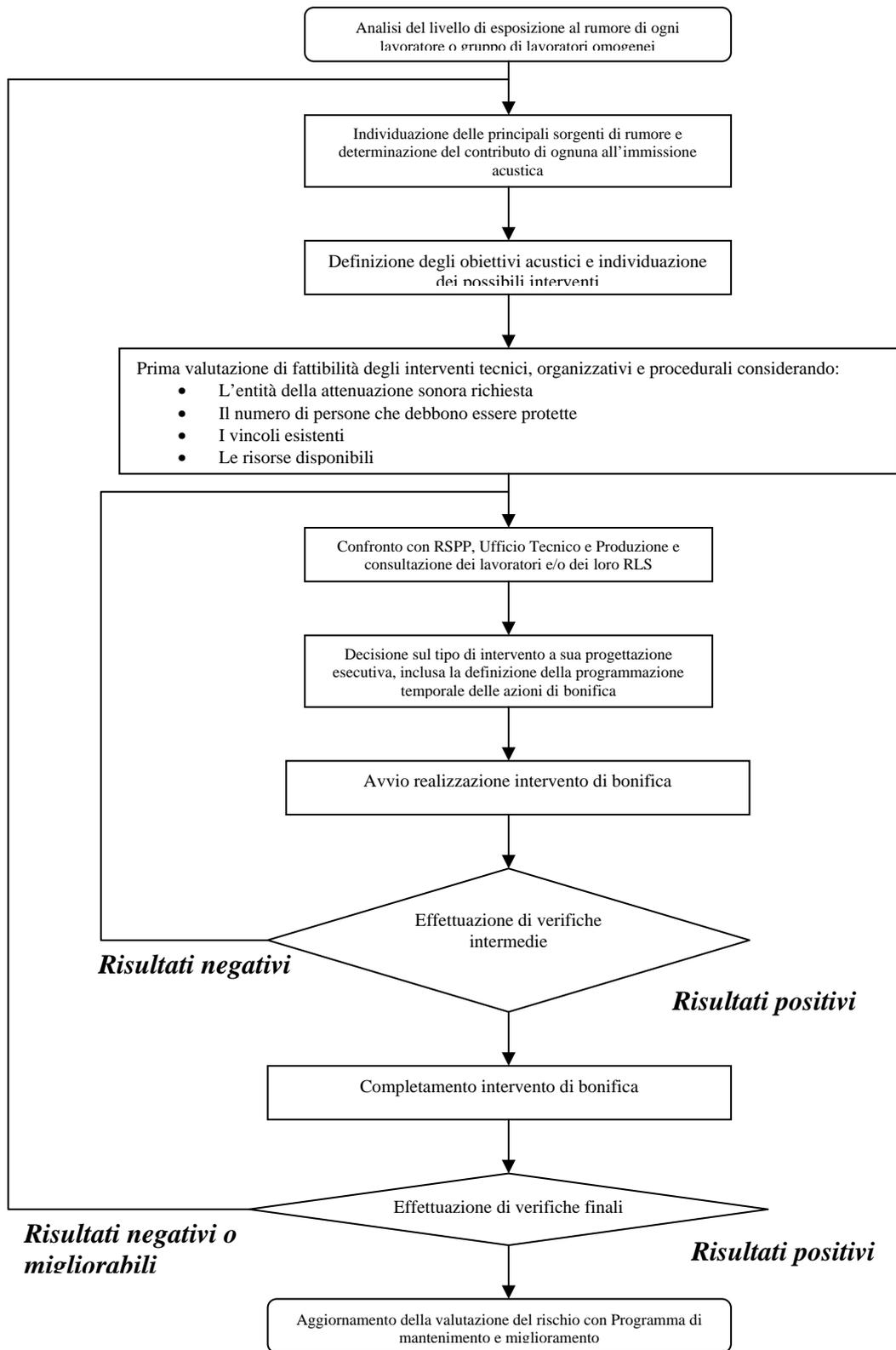


Figura 2.1: Processo di pianificazione e realizzazione delle opere di bonifica acustica nel caso di superamento dei valori superiori di azione (85 dB(A) di L_{EX} e/o 137 dB(C) di L_{Cpicco})

3. PRESTAZIONI ACUSTICHE E CRITERI DI PROGETTAZIONE E BONIFICA DEGLI STABILIMENTI INDUSTRIALI

Nel progettare un nuovo stabilimento industriale vanno considerati numerosi fattori: dalla localizzazione dell'area dell'insediamento alla sua pianificazione, dal dimensionamento della struttura alla definizione del progetto di massima ed al suo perfezionamento sino al progetto esecutivo.

Tra i principali aspetti che concorrono a definire le caratteristiche progettuali degli edifici destinati ad attività produttive assumono una rilevanza fondamentale, da un lato l'organizzazione della produzione, dall'altro la possibilità di ampliare e modificare la struttura edilizia oggetto di progettazione.

Accanto all'attenzione tradizionalmente dedicata a questi aspetti di carattere tecnico-produttivo è però necessario rispettare anche le esigenze legate alla tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori, nonché all'integrazione dell'edificio e delle attività che vi si svolgeranno con il contesto esterno, esigenze queste definite da disposizioni di legge, da norme di buona tecnica e da conoscenze tecnico-scientifiche.

È quindi evidente che la stesura di un progetto definitivo di un ambiente di lavoro debba essere frutto di un'attività multidisciplinare (ovviamente a livelli di complessità coerenti con la complessità del progetto), così come è evidente che tale progetto deve anche avvalersi delle conoscenze derivanti dall'esperienza di coloro che dell'impianto industriale costituiscono la base dirigenziale ed operativa. Per quanto riguarda la tutela della salute e della sicurezza del lavoro, come anticipato nel Capitolo 2, il confronto tecnico-operativo – ferme restando le responsabilità in capo al Datore di Lavoro, ai Dirigenti e ai Preposti – deve coinvolgere anche tutti i soggetti che hanno competenze aziendali specifiche, ed in particolare il Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP) ed il Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS), con le modalità previste dal D.Lgs. 81/2008.

In questo Capitolo si è cercato di evidenziare, dal punto di vista acustico, gli aspetti metodologici connessi alla progettazione di una nuova attività produttiva o di ristrutturazione di aziende esistenti; infatti, molte delle considerazioni qui avanzate per i nuovi insediamenti produttivi sono utilizzabili anche per quelli esistenti, nonostante in questo caso i vincoli costituiti dalla struttura edilizia preesistente e dall'attività lavorativa che vi si svolge possono limitare il campo di applicabilità e l'efficacia degli interventi.

Negli ambienti destinati ad attività lavorative, gli aspetti del problema rumore a cui il progettista deve porre attenzione nell'elaborazione del progetto vengono tradizionalmente associati a due filoni fondamentali: la riduzione al minimo dell'impatto acustico nei confronti dell'esterno e la riduzione al minimo del rischio per i lavoratori.

I due aspetti, comunque, non dovrebbero essere affrontati in tempi differiti: dato che essi interagiscono fortemente, dovrebbero essere risolti congiuntamente.

Nella Scheda 30 del Secondo livello è riportata una rassegna di interventi di riduzione del rumore negli ambienti di lavoro industriali.

Infine, pur non essendo oggetto del campo di applicazione del presente manuale, occorre ricordare l'importanza nella progettazione e gestione degli insediamenti produttivi della problematica dell'impatto acustico prodotto nei confronti dell'ambiente circostante, oggetto della Legge Quadro 447/95 e successivi decreti applicativi. A tale proposito si rimanda per approfondimenti alla Scheda n. 27 del secondo livello.

3.1. RIDUZIONE DEL RISCHIO PER I LAVORATORI

Come già più volte affermato, l'adozione degli accorgimenti necessari per ridurre il rumore o comunque l'esposizione degli addetti è contenuta negli obblighi generali previsti dagli articoli 15, 182 e 192 del D.Lgs. 81/2008, tanto per la fase di progetto quanto per quella di gestione di edifici ed aree destinate alla permanenza di lavoratori. In questo modo, relativamente alle caratteristiche acustiche dei locali, rientrano nelle disposizioni da considerare le raccomandazioni di buona tecnica disponibili, ed in particolare le norme delle serie UNI EN ISO 11690 "Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario...", ampiamente citata nel presente Manuale.

Richiamato nuovamente l'assunto che l'azienda in fase di progettazione si avvarrà delle macchine, attrezzature e impianti che garantiscono i minori livelli di emissione sonora, la riduzione del rischio per i lavoratori richiede che vengano affrontati i seguenti aspetti:

- l'individuazione e la caratterizzazione delle sorgenti di rumore;
- l'analisi delle caratteristiche geometriche dello stabilimento;
- la stima dei livelli di esposizione personale dei lavoratori;
- la definizione degli obiettivi acustici;
- gli interventi di riduzione dell'esposizione.

3.1.1. Individuazione e caratterizzazione delle sorgenti di rumore

L'analisi della futura realtà lavorativa deve partire dall'individuazione delle sorgenti di rumore che determineranno significative emissioni sonore. Le stesse andranno poi caratterizzate acusticamente, acquisendo i dati necessari alle stime successive.

In generale, per ogni sorgente significativa, occorre conoscere i livelli di pressione sonora ed i livelli di picco che la stessa determina nel/nei posti di lavoro nonché il suo livello di potenza sonora. Ove possibile si rivela spesso utile disporre della direttività e dello spettro in frequenza della sorgente (in alcuni casi queste informazioni sono indispensabili).

Le informazioni di base sono desumibili da:

- i dati forniti dal costruttore (inseriti nel manuale d'uso previsto dalla direttiva macchine);
- misurazioni dirette sulle sorgenti sonore che saranno inserite nel nuovo ambiente di lavoro.

Fermi restando gli obblighi in capo al costruttore, qualora non fosse percorribile nessuna delle due vie precedentemente descritte, si può ovviare alla carenza ricorrendo a:

- misurazioni su sorgenti sonore acusticamente simili;
- dati ricavati dalla letteratura tecnica o da banche dati validate¹.

Ovviamente la precisione dei risultati che si consegue con queste seconde modalità è inferiore.

3.1.2. Spazi e caratteristiche geometriche dello stabilimento

Come noto, l'addensamento delle lavorazioni è una delle cause principali degli elevati livelli sonori presenti negli ambienti produttivi ed è da rilevare come l'ovvia contromisura di distanziare le macchine e gli impianti si scontri con l'esigenza di contenere al massimo gli spazi occupati dall'azienda.

Va evidenziato come nel caso di attività rumorose sia irrinunciabile tutelare gli spazi necessari alla bonifica acustica (esigenza particolarmente importante quando gli interventi sono sulla propagazione: cabine, cappottature ...) delle principali sorgenti di rumore.

Questo tipo di attenzione deve sempre essere presente nei progettisti e nei datori di lavoro che si accingono a definire le caratteristiche di un nuovo insediamento produttivo o di un ampliamento, ma non può sfuggire a chi:

- utilizza macchine con $L_{pA} > 80$ dB(A);
- occupa lavoratori con $L_{EX} > 80$ dB(A).

Le indicazioni pratiche fornite dalle ASL nell'ambito della valutazione dei nuovi insediamenti produttivi (ex art. 67, D.Lgs.81/2008) possono contribuire a rendere prassi questi principi (vedi scheda n. 26 del secondo livello).

Anche le caratteristiche geometriche degli edifici produttivi possono avere effetti apprezzabili sui livelli di esposizione a rumore. Ambienti di forma particolare, diversa dai parallelogrammi, sono da privilegiare in quanto consentono effetti acustici positivi di schermatura: ad esempio locali con pianta a L (Figura 3.1a) o a C (Figura 3.1b) di fatto determinano ambienti sostanzialmente separati (anche se in modo imperfetto) con indubbi vantaggi sotto il profilo della propagazione acustica.

¹ Allo stato l'unica banca dati la cui validità è stata riconosciuta dalla Commissione consultiva permanente, ai sensi dell'art. 190, comma 5bis, del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i., è quella del CPT di Torino, disponibile all'indirizzo www.cpt.to.it

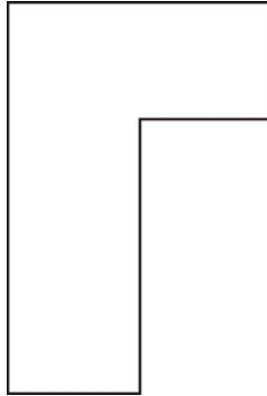


Figura 3.1a: Pianta di stabilimento a L

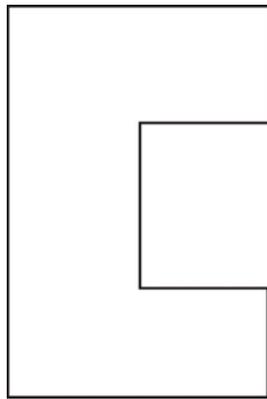


Figura 3.1b: Pianta di stabilimento a C

Relativamente alla forma del soffitto possono essere svolte le seguenti considerazioni:

- Il soffitto a volta (Figura 3.2a) è in generale da escludere, in quanto le riflessioni delle onde sonore possono determinare concentrazioni di rumore in particolari zone dell'ambiente.
- Preferibile è il soffitto piano orizzontale (Figura 3.2b) o, meglio ancora, inclinato (Figura 3.2c), poiché non causa anomale distribuzioni del livello sonoro.
- Più apprezzabili sono le soluzioni che consentono effetti di diffusione sonora (poiché presentano spigoli e configurazioni non regolari); tipico esempio è il soffitto a denti di sega (*sheds*) (Figura 3.2d).

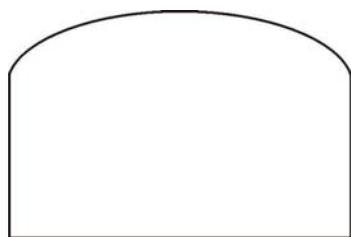


Figura 3.2a: Soffitto a volta



Figura 3.2b: Soffitto piano orizzontale

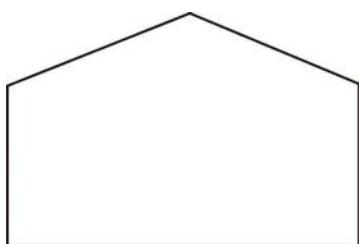


Figura 3.2c: Soffitto a doppia falda

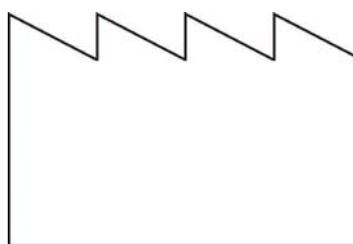


Figura 3.2d: Soffitto a denti di sega (*sheds*)

La forma del soffitto assume tanto meno importanza quanto più la zona sottostante è ingombra (es.: di tubazioni, strutture metalliche, ecc.), poiché in tal modo diminuisce il contributo delle riflessioni determinate dal soffitto e cresce l'effetto diffondente di tali elementi.

La forma del soffitto ha un effetto molto meno rilevante anche nel caso in cui sia previsto un trattamento fonoassorbente dello stesso, ad esempio un controsoffitto o un sistema di assorbimento costituito da pannelli sospesi (*baffles*).

3.1.3. Stima dei livelli di esposizione negli ambienti di lavoro

Sulla base dei dati acustici relativi alle sorgenti sonore e alle caratteristiche degli ambienti di lavoro, è possibile desumere, attraverso calcoli semplificati o modelli matematici più complessi, il livello sonoro cui saranno esposti i lavoratori nelle varie aree dello stabilimento o impegnati nelle diverse attività.

Le formule più utilizzate per calcolare il livello di pressione sonora L_p esistente in un dato punto r di un ambiente industriale, richiedono la conoscenza del livello di potenza acustica della sorgente L_w , della sua direttività Q_0 , delle caratteristiche assorbenti del locale e delle sue geometrie (vedi le Schede n. 1, 2 e 24 del secondo livello per maggiori dettagli).

Negli ultimi anni sono divenuti disponibili in commercio numerosi codici (modelli) di calcolo previsionale, che permettono valutazioni più raffinate e in qualsiasi tipo di ambiente di lavoro (dal punto di vista della forma e degli ingombri). Si veda al riguardo la Scheda n. 2 del secondo livello.

Una volta ottenuti i livelli di pressione sonora esistenti nell'ambiente è agevole ricostruire la futura esposizione dei lavoratori e ciò consente anche di individuare le priorità degli interventi.

3.1.4. Definizione degli obiettivi acustici da raggiungere

Ai fini della definizione degli obiettivi acustici da raggiungere nel nuovo insediamento produttivo o nella sua bonifica acustica si riportano di seguito i valori ottimali dei livelli equivalenti sonori ambientali e/o di esposizione al rumore consigliati dalla UNI EN ISO 11690-1:1998, paragrafo 7.1:

- a) ambienti di lavoro di tipo industriale, da 75 a 80 dB(A);
- b) per lavoro d'ufficio o di routine, da 45 a 55 dB(A);
- c) per compiti che richiedono concentrazione, da 35 a 45 dB(A).

È tuttavia da rilevare che in taluni settori produttivi o attività particolarmente problematiche (ad esempio: industria del ferro, industria del vetro, tessile, smerigliatura...) occorre necessariamente fare i conti con lo stato dell'arte dell'insonorizzazione delle macchine, attrezzature, impianti dello specifico settore che in alcuni casi non consente di raggiungere i valori sopracitati.

In questo Manuale sono analizzati i principali interventi di controllo del rumore che consentono il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Ovviamente, l'accurata valutazione sulla percorribilità di ciascuna opzione tecnica diviene sempre più importante man mano che i livelli di esposizione salgono e non può certamente essere disattesa al superamento dei valori superiori di azione (85 dB(A) di L_{EX} e/o 137 dB(C) di picco).

3.2.5. Interventi sul *lay-out*

Una volta stabilito che occorre intervenire per contenere i livelli di esposizione dei lavoratori, sono disponibili diverse opportunità tecniche.

In questo paragrafo si tratteranno solo gli interventi di controllo del rumore che riguardano il *lay-out*; i trattamenti acustici ambientali sono discussi al successivo punto 3.1.6 e le macchine/attrezzature/impianti nel Capitolo 6.

a) Separazione delle attività non rumorose da quelle rumorose

Le attività non rumorose vanno separate da quelle particolarmente rumorose; a tal proposito si ricorda il principio di tutela dalle esposizioni indebite sancito dall'Allegato IV, punto 2.1.4, del D.Lgs. 81/2008.

In genere, numerosi sono i lavoratori indebitamente esposti a rumore pur non essendo associati operativamente a macchine o attività rumorose. Si tratta di lavoratori che, in ambienti ad elevata rumorosità, svolgono attività ausiliarie caratterizzate, invece, da un basso livello di rumore, quali: la pulizia, la manutenzione e la riparazione di singoli elementi, la pianificazione della produzione, l'imballaggio, la verifica o il collaudo del prodotto, ecc.

Al fine di limitare tale esposizione indebita si può:

- segregare le aree occupate dalle macchine rumorose;

- segregare le aree occupate dai lavoratori indebitamente esposti a rumore fin quasi a prefigurare cabine di riposo acustico multiutente (purché, ovviamente, di dimensioni accettabili e confortevoli, particolarmente quanto a ventilazione e illuminazione).

Dette segregazioni, particolarmente efficaci quanto più sporadici sono gli interventi sul ciclo produttivo nelle sue aree rumorose, vanno realizzate con pareti caratterizzate da un adeguato isolamento acustico - assorbimento acustico e particolare cura va posta nell'impedire la creazione di ponti acustici e la trasmissione del suono attraverso aperture e intercapedini. Anche le porte e/o i portoni di tali locali devono possedere caratteristiche fonoisolanti sufficienti ad impedire la propagazione del suono per via aerea.

Nell'impossibilità di segregare conviene concentrare macchine e attività rumorose in aree periferiche del reparto (ad esempio in prossimità di un'unica parete eventualmente rivestita di materiale fonoassorbente).

b) Schermatura di attività rumorose

Alcune attività particolarmente rumorose possono essere acusticamente isolate dal resto dell'ambiente di lavoro, pur dello stesso capannone, assicurando comunque una adeguata ventilazione, illuminazione e accesso. Questa soluzione si presta particolarmente per attività quali la pressatura, la molatura, la saldatura, il taglio e la tranciatura, che hanno bisogno di rimanere collegate con le aree produttive vicine (ad es.: per carico/scarico con carri ponte). L'isolamento delle sorgenti dal resto dell'ambiente e/o il loro isolamento reciproco può essere realizzato mediante schermi acustici fonoisolanti-fonoassorbenti, fissi o mobili, che circondino quanto più possibile la sorgente. Se le posizioni da separare acusticamente sono a ridosso delle pareti, gli schermi assumono in pianta, la forma a L o a T (Figura 3.3). In questo caso, l'interno delle pareti deve avere buon potere fonoassorbente (è normalmente da prevederne un trattamento acustico). In generale, l'efficacia della schermatura di sorgenti sonore è ottimale quanto più le condizioni acustiche ambientali sono prossime a quelle di campo sonoro libero. Ciò significa che il trattamento acustico ambientale dell'area del soffitto sovrastante le zone schermate è quasi sempre una necessaria misura integrativa. Come schermi di separazione tra zone più rumorose e zone meno rumorose si possono utilizzare anche le aree di stoccaggio dei materiali (Figura 3.4). Per ulteriori approfondimenti vedi Scheda n. 19.

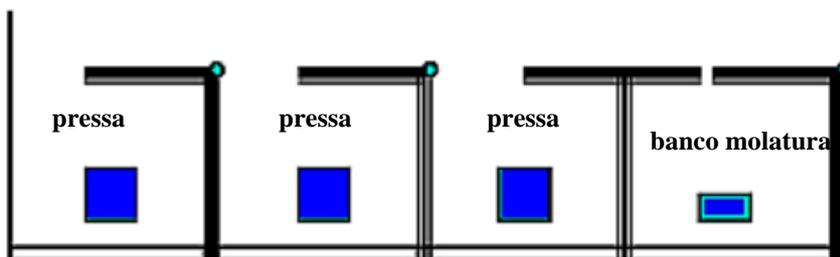


Figura 3.3: Schermi a forma di L o T

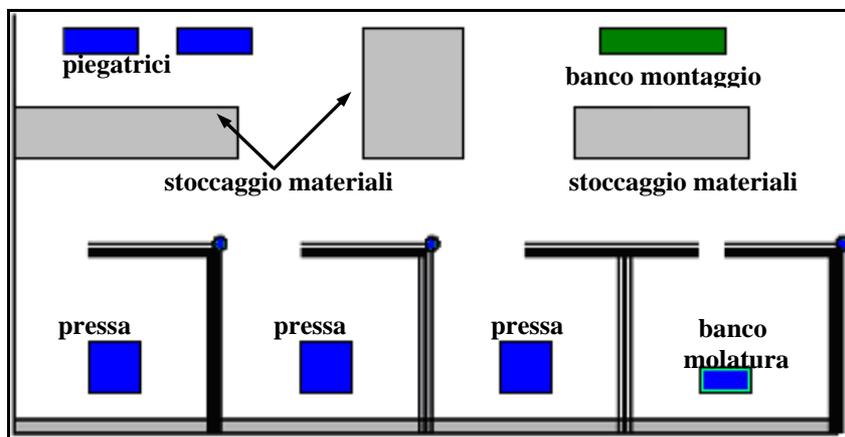


Figura 3.4: Aree di stoccaggio dei materiali utilizzate come schermi

c) Collocazione delle macchine rumorose

Va evitato di collocare sorgenti sonore in prossimità di una singola parete o peggio in corrispondenza dell'angolo formato da due pareti, con ciò indirizzando tutta l'energia acustica irradiata dalla sorgente nel solo spazio disponibile ove, quindi, si riscontreranno livelli di rumore più elevati.

Il rumore irradiato da una sorgente sonora è incrementato se questa è posta in prossimità di superfici acusticamente riflettenti; ovviamente il problema viene ridotto se le superfici riflettenti vengono rivestite con materiale fonoassorbente.

d) Automazione (allontanamento dell'operatore dalle sorgenti)

L'automazione in sé non abbassa i livelli di rumore nell'ambiente di lavoro; può invece contribuire a ridurre i livelli di esposizione in quanto permette di allontanare operatori da postazioni a rischio.

Tutte le volte in cui è possibile, si dovrebbero quindi utilizzare sistemi di comando a distanza o sistemi che permettano all'operatore di allontanarsi maggiormente dalla sorgente di rumore. Questa soluzione è particolarmente adatta ai casi in cui l'operatore staziona normalmente in una cabina di riposo acustico.

Inoltre, anche l'automazione delle lavorazioni (es.: effettuare una demolizione con una macchina operatrice piuttosto che con un martello demolitore manuale) consente l'allontanamento dell'operatore dalla sorgente rumorosa e la conseguente riduzione dell'esposizione. Nel caso in esempio, alla riduzione dell'esposizione a rumore si può accompagnare la riduzione dell'esposizione a molti altri rischi per la salute, ed in particolar modo quelli da vibrazioni e polveri.

e) Uffici interni agli stabilimenti

Come criterio generale, non si devono porre gli uffici a ridosso di zone e/o macchine rumorose. In caso contrario occorre mettere in campo un'attenzione

supplementare alle soluzioni e materiali affinché questi garantiscano il comfort acustico necessario per l'attività prevista.

Per tali ambienti occorrerà, quindi, rispettare i requisiti acustici indicati nel successivo paragrafo 4.1, fatto salvo che la prossimità di sorgenti particolarmente rumorose non richieda prestazioni maggiori.

Per concludere, si consideri che alcuni di questi interventi (con particolare riferimento ai punti a) e c)), troppo spesso trascurati, sono a basso costo, soprattutto se realizzati in fase di progettazione.

3.1.6. Trattamenti fonoassorbenti ambientali

I trattamenti fonoassorbenti ambientali sono un intervento la cui adozione va attentamente valutata.

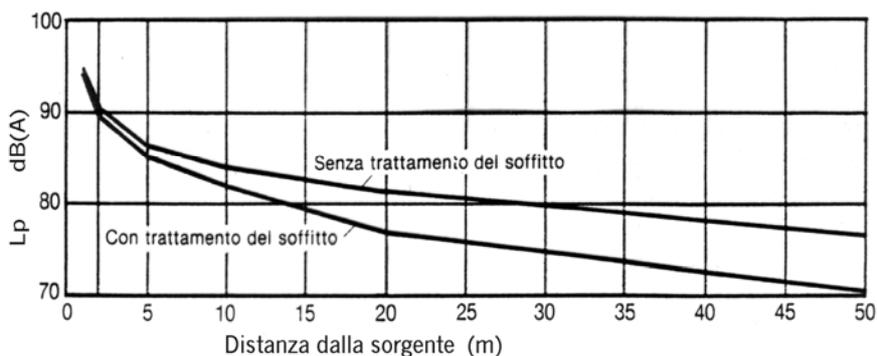


Figura 3.5: Curve di decremento del livello sonoro in funzione della distanza dalla sorgente misurate in un capannone industriale prima e dopo il trattamento del soffitto con pannelli fonoassorbenti sospesi (*baffles*)

Sia la teoria della propagazione del suono negli spazi confinati che i risultati sperimentali (vedi Figura 3.5) dimostrano infatti che nei comuni ambienti industriali le modificazioni apportabili al campo sonoro esistente al loro interno, attraverso i trattamenti fonoassorbenti delle superfici, comportano vantaggi apprezzabili (in termini di riduzione dei livelli sonori) solo a distanze significative dalla sorgente. Nel cosiddetto campo sonoro vicino (ossia in prossimità delle sorgenti) le differenze risultano spesso trascurabili.

Infatti, per gli operatori che lavorano a diretto contatto con le macchine, il livello di rumore a cui sono esposti è determinato in misura prevalente dall'energia sonora irradiata per via diretta dalla propria macchina; risulta invece generalmente poco influente il contributo dell'energia riflessa dalle superfici rigide non trattate del locale.

D'altra parte, studi sperimentali effettuati negli ultimi anni hanno dimostrato che in ambienti in cui l'altezza è molto inferiore alle dimensioni in pianta del locale (ambienti "bassi e vasti", come molti edifici industriali), l'efficacia dei trattamenti

fonoassorbenti ambientali è superiore a quanto prefigurato dall'acustica teorica da cui è tratto il diagramma di Figura 3.5. Inoltre, come già detto nel Capitolo 2, occorre considerare che i guadagni ottenibili con il fono assorbimento, seppure inferiori in termini numerici rispetto agli interventi sulle sorgenti, corrispondono a guadagni in termini di decibel che si trasferiscono interamente sui L_{EX} e agiscono prevalentemente sulle componenti a media-alta frequenza, che sono quelle più pericolose per l'udito e le più fastidiose dal punto di vista ergonomico. Un ulteriore vantaggio dei trattamenti fonoassorbenti ambientali è che quasi mai interagiscono con le modalità produttive, che possono mantenere così i propri gradi di flessibilità. Prima del trattamento particolare cura dovrà essere posta nel verificare l'illuminamento e la circolazione dell'aria nel locale.

Fatte queste considerazioni, si possono individuare almeno le seguenti situazioni ambientali in cui il ricorso ai trattamenti fonoassorbenti superficiali può costituire una misura utile, anche se raramente risolutiva (per ulteriori approfondimenti vedi Scheda n. 20).

1. Presenza in uno stesso ambiente, con gli addetti distribuiti in quasi tutte le aree, di molteplici sorgenti di rumore, ciascuna con basso tempo di utilizzo (es.: linee di montaggio con uso saltuario di avvitatori o sbavatrici da banco). In un tale ambiente il guadagno sui livelli di esposizione può risultare sensibile perché è dominante il contributo dei rumori provenienti da lavorazioni in distanza.
2. Presenza in uno stesso ambiente di sorgenti molto rumorose, ad esempio due o tre macchine utensili di grandi dimensioni, poste a sensibile distanza l'una dall'altra. In questo tipo di situazione il trattamento fonoassorbente del soffitto può risultare vantaggioso per gli operatori che in questo modo evitano di subire la rumorosità, se non della propria macchina, almeno di gran parte di quella prodotta dalle altre macchine distanti.
3. Sistemazione obbligata di una macchina nelle immediate vicinanze di più superfici riflettenti, ad esempio nell'angolo di un locale, il cui soffitto è basso (es.: situato ad un'altezza inferiore a 5 metri). In questo caso l'adozione di rivestimenti fonoassorbenti può comportare una diminuzione di circa 3 dB del livello sonoro esistente nella postazione di lavoro.
4. Presenza in un capannone industriale di macchine che generano un rumore con forti componenti impulsive, ad esempio presse o magli. In questo caso le grandi dimensioni determinano, generalmente, un'elevata riverberazione ambientale che comporta, ad ogni impatto, il persistere nel locale di elevati livelli sonori. La capacità dei rivestimenti fonoassorbenti superficiali di "assorbire" rapidamente l'energia sonora che si propaga nell'ambiente dopo ogni impatto evita tale persistenza, riducendo talvolta in modo significativo il rumore a cui sono esposti i lavoratori.
5. Necessità di installare nell'ambiente considerato degli schermi acustici, la cui efficacia, come si è accennato al punto 3.1.5 e si riprenderà nel paragrafo 6.3, è ottimale quanto più le condizioni acustiche ambientali sono prossime a quelle di campo sonoro libero. In un locale molto riverberante, infatti, l'effetto barriera viene totalmente vanificato dal gran numero di riflessioni che

scavalcano lo schermo (Figura 3.6). L'adozione di trattamenti superficiali fonoassorbenti diviene quindi in questo caso un indispensabile complemento all'impiego delle barriere.

Nell'individuazione dell'opportunità di un trattamento fonoassorbente vanno inoltre tenuti presenti i seguenti aspetti:

- a) il costo di un intervento deciso in fase progettuale è inferiore a quello di un intervento realizzato a insediamento produttivo in essere, con le macchine installate e funzionanti, data la maggior complessità di modificare ambienti esistenti e le possibili interferenze con la produzione;
- b) negli ambienti molto vasti (come sono la gran parte degli stabilimenti industriali) l'unica superficie che può essere utilmente resa fonoassorbente è il soffitto (poiché la gran parte delle riflessioni acustiche avvengono tra pavimento e soffitto e il pavimento non è generalmente oggetto di possibile modifica);
- c) qualora per esigenze acustiche si intenda adottare un controsoffitto è utile ricordare anche le possibili implicazioni di risparmio energetico (infatti in tale prospettiva l'altezza del soffitto effettivo viene ridotta e nella scelta del materiale è opportuno valutare anche il suo coefficiente di isolamento termico);
- d) un rivestimento fonoassorbente sul soffitto quando questo sia già in gran parte coperto da elementi strutturali o impiantistici o di altra natura (che diffondono le onde sonore) ha una minore efficacia acustica e quindi va soppesato attentamente;
- e) l'adozione di trattamenti acustici ambientali può avere forti ripercussioni negative sull'aerazione e l'illuminazione degli ambienti di lavoro; in situazioni del genere è preferibile il ricorso a pannelli (*baffles*) sospesi al soffitto.

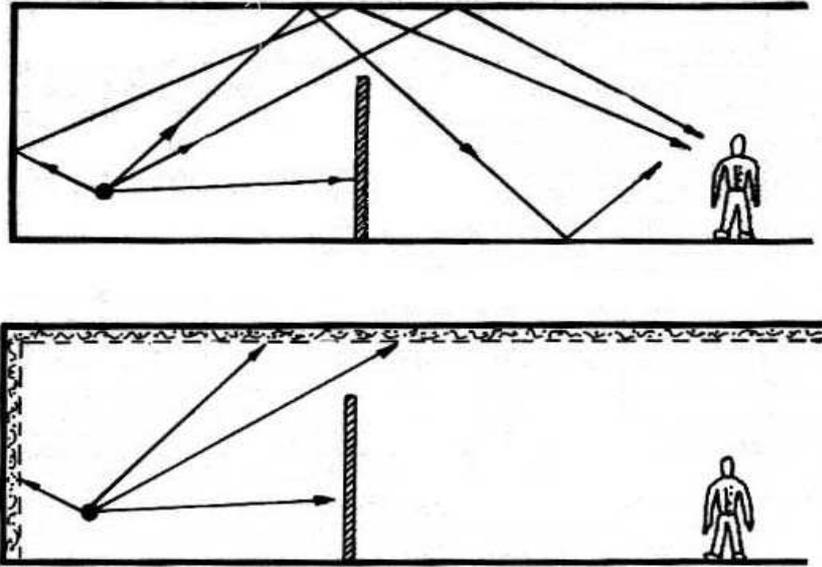


Figura 3.6: Schematizzazione dell'effetto dei trattamenti fonoassorbenti superficiali nel caso di impiego di barriere fonoisolanti in uno spazio chiuso

4. PRESTAZIONI ACUSTICHE E CRITERI DI PROGETTAZIONE E BONIFICA PER SPECIFICI LUOGHI DI LAVORO

Il controllo dei requisiti acustici dei locali è una delle condizioni che concorrono al benessere degli occupanti di un edificio.

Se esaminati a seconda della loro destinazione d'uso, gli ambienti di lavoro possono essere raggruppati in grandi categorie sulla base del fatto che ospitano lavoratori ed occupanti con esigenze, in prima approssimazione, simili.

In questo Capitolo verranno ripresi i principali requisiti acustici per alcune delle più importanti categorie di destinazione d'uso di locali ed edifici, escludendo i locali industriali già oggetto di specifica trattazione.

In dettaglio, saranno esaminati i requisiti acustici dei locali adibiti ad uffici, ad alcune attività commerciali, ad uso scolastico e ad uso sanitario.

Da sottolineare che le caratteristiche indicate nel seguito (e sintetizzate da ultimo in una specifica tabella) vanno, in primo luogo, ricercate in fase di progettazione dei nuovi insediamenti e delle ristrutturazioni di aziende esistenti, ma sono utilizzabili anche in fase di realizzazione di interventi di bonifica acustica.

Negli ambienti di lavoro non industriali oggetto di questo approfondimento si svolgono tipicamente attività di tipo cognitivo e relazionale, nelle quali i lavoratori ricevono, elaborano, producono e scambiano frequentemente informazioni principalmente attraverso la voce parlata.

Pur essendo assai diversificate tra loro, le sorgenti sonore che possono causare rischio o disturbo negli ambienti di lavoro non industriali, sono riconducibili alle seguenti tipologie:

- *sorgenti esterne* il cui rumore si trasmette attraverso le pareti delimitanti l'edificio o l'ambiente. Assai frequente è il rumore proveniente dal traffico stradale, ferroviario, ecc. (clima acustico), ma può risultare rilevante anche quello di altre sorgenti sonore all'interno dell'edificio stesso (ad esempio quello derivante da processi di lavorazione per uffici adiacenti la produzione);
- *impianti tecnici dell'edificio* quali impianti di climatizzazione dell'aria e ventilazione, ascensori, condutture idrauliche, ecc., situazioni nelle quali può essere importante il contributo della trasmissione del suono per via strutturale;
- *apparecchiature funzionali all'attività* che possono essere di volta in volta generati da telefoni, fotocopiatrici, stampanti, casse, impianti di diffusione, amplificatori e apparecchiature in genere, ecc.;
- *attività antropiche* tra le quali la più ricorrente è la voce umana, ma vanno anche ricordate il canto e la musica, gli urti e i rumori impattivi legati alle attività dell'uomo.

Non deve poi essere dimenticato il problema inverso del disturbo causato dalle suddette attività alle abitazioni prossime o appartenenti allo stesso edificio; ad esempio la coesistenza di attività pur non eccessivamente rumorose esercitate però in orari particolari (es. la panificazione o l'esercizio di discoteche, ristoranti, bar, gelaterie, paninoteche ..., induce molto spesso situazioni di contenzioso col vicinato di difficile gestione amministrativa).

I livelli di esposizione sonora rilevabili in questo tipo di ambienti solitamente non sono di entità tale da causare danni all'apparato uditivo, ma possono contribuire all'insorgenza di fenomeni di disturbo (*annoyance*) e di disagio.

Ambienti eccessivamente rumorosi inducono fatica e costituiscono causa di distrazioni e di errori nello svolgimento dell'attività lavorativa; rumori impulsivi inattesi possono produrre trasalimenti e reazioni di sorpresa particolarmente sgradite quanto più il soggetto è concentrato sul proprio lavoro. D'altro canto, l'eccessiva carenza di stimoli sonori può indurre una sensazione di isolamento che, qualora ritenuta non funzionale all'attività svolta, è causa di deconcentrazione.

Per quanto riguarda gli uffici è necessario che il rumore nelle postazioni di lavoro non pregiudichi la concentrazione richiesta per lo svolgimento dell'attività, nonché l'intelligibilità e la riservatezza della conversazione, principalmente negli uffici cosiddetti a pianta aperta (*open space*).

Negli ambienti scolastici e comunitari il rumore influenza direttamente la fonazione degli insegnanti e le condizioni di ascolto degli studenti, con conseguenze sull'affaticamento dei docenti e sull'apprendimento scolastico. Solo raramente, ed in ambienti particolari (officine, alcuni tipi di laboratori, palestre, mense) i livelli sonori rilevabili raggiungono entità tale da poter causare danni all'apparato uditivo. L'eccessivo rumore (di fondo o, ancor più, ambientale) presente all'interno degli ambienti comunitari destinati all'ascolto della parola o della musica, determina una riduzione dell'intelligibilità del messaggio vocale o della percezione del brano musicale, attraverso due meccanismi che riguardano il mascheramento uditivo e la diminuzione dell'attenzione da parte degli ascoltatori. La riverberazione, oltre a ridurre l'intelligibilità per gli ascoltatori, condiziona la regolazione del volume della voce degli oratori con conseguente affaticamento degli stessi.

Negli altri tipi di ambienti, dove vengono svolte attività principalmente non connesse con l'ascolto della musica o della parola, i requisiti acustici possono comunque svolgere un ruolo importante ai fini della fruizione degli ambienti stessi; si pensi alla situazione di stress che si prova in una mensa affollata e riverberante dove, per la difficoltà che si ha a comprendere i messaggi vocali ed a farsi comprendere, si finisce con l'alzare a propria volta il volume della voce in un crescendo che non sempre ammette soluzione. Non mancano poi ambienti i cui livelli sonori sono anche in grado di provocare danni di tipo uditivo, certamente nei lavoratori, talvolta nei frequentatori. Altro ambiente in cui si possono riscontrare problemi è quello delle discoteche, dove il rispetto delle esigenze dei frequentatori non determina parimenti anche il rispetto delle esigenze del lavoratore; infatti, il personale lavoratore (DJ, camerieri, barman), se non specificamente tutelato, può trovarsi in condizioni di rischio per la funzionalità uditiva anche nel caso di rispetto di tutte le normative nate a tutela di possibili disturbati e della salute dei frequentatori.

Nei locali di edilizia sanitaria (ospedali, case di cura, day hospital, poliambulatori) i problemi di esposizione a rumore riscontrabili nella maggior parte delle situazioni, non sono in genere legati al rischio di danno uditivo ma al disagio causato agli operatori ed agli utenti della struttura, con possibili compromissioni della qualità ed efficacia delle prestazioni sanitarie erogate.

Tra le rare eccezioni in cui può configurarsi un rischio di tipo uditivo per i lavoratori deve essere ricordato il caso degli ambienti in cui si effettua il taglio dei gessi, con livelli di rumore molto elevati anche se per periodi di tempo generalmente limitati.

In generale, gli effetti del rumore nei locali adibiti ad attività di lavoro non industriali costituiscono un problema da non sottovalutare in relazione al progressivo aumento del numero di addetti e del modificarsi sia delle tecnologie costruttive di ambienti, arredi, strumenti di lavoro, sia delle caratteristiche delle attività svolte.

4.1. PARAMETRI DA CONTROLLARE E VALORI DI RIFERIMENTO

I principali descrittori delle condizioni acustiche nella tipologia di ambienti esaminati in questo documento sono:

- il livello di esposizione: L_{EX} definito come il livello equivalente di pressione sonora cui è esposto il lavoratore riferito ad una esposizione normalizzata di 8h. Questo è il descrittore utilizzato per il rischio di ipoacusia professionale;
- il livello equivalente dell'ambiente: L_{Aeq} rilevato al posto operatore o a 10÷40 cm dal suo orecchio in condizioni operative normali, senza tener conto dei contributi dovuti alle comunicazioni interpersonali dei presenti nell'ambiente di lavoro e riferito al tempo reale della condizione espositiva; tale livello interferisce prevalentemente con l'attenzione nei confronti del lavoro svolto;
- il rumore di fondo: L_{Aeq} rilevato nell'ambiente in assenza delle persone e dell'attività tipica del locale, ma con le infrastrutture di base in funzione (es. impianti di condizionamento dell'aria). Questo tiene conto anche del rumore che perviene dall'esterno;
- il tempo di riverberazione: T_{60} misurato in s (come definito dalla norma UNI EN ISO 3382-2:2008) ovvero, per ambienti ampi, tasso di decadimento spaziale della pressione sonora al raddoppio della distanza (DL_2 in dB, come definito dalla norma UNI-EN-ISO 11690-1:1998). Questi descrittori sono determinanti per l'intelligibilità del parlato, che a volte risulta insufficiente anche nel caso di rumore di fondo trascurabile qualora l'ambiente sia eccessivamente riverberante.

In generale, se escludiamo il caso dei valori limite di esposizione al rumore definiti dal D.Lgs. 81/2008, nel panorama legislativo italiano non esistono ad oggi provvedimenti che prescrivano valori limite da rispettare per i suddetti parametri. Per quanto riguarda il rischio rumore nei luoghi di lavoro, il D.Lgs. 81/2008 (art. 15, comma 1, lettera c) dichiara preliminarmente l'esigenza della "eliminazione dei rischi e, ove ciò non sia possibile, loro riduzione al minimo in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico", nonché alla lettera d "rispetto dei principi ergonomici ... nella concezione dei posti di lavoro, ...".

Inoltre, l'art. 63 dello stesso D.Lgs. 81/2008 ed il punto 1.3.1 del relativo Allegato IV precisano che i luoghi di lavoro, a meno che non sia richiesto diversamente dalle necessità delle lavorazioni, devono essere provvisti di un isolamento acustico sufficiente tenuto conto del tipo di impresa e dell'attività dei lavoratori.

In carenza di indicazioni legislative i parametri e i dati del presente Capitolo sono desunti dalla legislazione ambientale, dalle norme tecniche, dalle buone prassi, dalle linee guida e dalla letteratura pertinente.

Oltre ai parametri già definiti, quelli ulteriormente da considerare sono:

- l'indice di isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT,w}$ in dB, che descrive l'attenuazione alla trasmissione di rumore per via aerea richiesta alle pareti perimetrali per limitare tanto l'ingresso di rumori esterni, quanto l'effetto di rumori interni nei confronti di ricettori esterni;
- l'indice del potere fonoisolante apparente, R'_w in dB, che descrive l'isolamento acustico per via aerea delle pareti e dei solai di separazione con altre unità immobiliari. Nel caso di strutture di confine tra unità immobiliari a diversa destinazione d'uso, si applica il valore più rigoroso;
- l'indice del livello normalizzato di rumore di calpestio in opera, $L'_{nT,w}$ in dB, che indica il valore massimo del rumore di calpestio che l'ambiente in oggetto (ambiente "disturbante") può indurre in un ambiente sottostante (ambiente "disturbato");
- il livello massimo di pressione sonora, ponderata A, con costante di tempo slow, $L_{AS,max}$ in dB(A), che indica il valore massimo per la rumorosità degli impianti a ciclo discontinuo quali gli ascensori e gli impianti idraulici;
- il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A, L_{Aeq} in dB(A), che indica il valore massimo per la rumorosità degli impianti a ciclo continuo quali gli impianti di riscaldamento, condizionamento e aerazione;
- il livello corretto del rumore di impianto, L_{ic} in dB(A), che indica il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A, prodotto dal solo impianto di riscaldamento, condizionamento o ventilazione, e corretto per tenere conto delle eventuali componenti impulsive e/o tonali e delle caratteristiche fonoassorbenti dell'ambiente di misura, come da UNI 8199:1998.

Questi descrittori valgono sostanzialmente per tutti i tipi di locali qui considerati se pur con diverse sfumature. Ad esempio, i locali scolastici, comunitari e di pubblico spettacolo presentano esigenze acustiche estremamente differenziate che, in generale, possono essere ricondotte all'esigenza di favorire l'intelligibilità del parlato e/o dei segnali musicali. I principali descrittori delle condizioni acustiche di questi ambienti sono quindi ancora il L_{EX} (livello di esposizione), il L_{Aeq} ambientale, il rumore di fondo ma, soprattutto, il tempo di riverberazione.

La valutazione dell'influenza di tali parametri sulla intelligibilità della voce andrebbe prevista utilizzando almeno uno dei seguenti indici:

- Indice di articolazione (AI) adimensionale;
- Indice SIL, Speech Interference Level (dB);
- SII Speech Intelligibility Index (ANSI);
- STI Speech Transmission Index (IEC);
- RASTI, Rapid Speech Transmission Index (IEC).

4.1.1. Uffici

Per realizzare uffici dotati di buon comfort acustico occorre che nella progettazione siano privilegiati gli uffici a vano chiuso rispetto alle configurazioni con pareti laterali di altezza limitata al controsoffitto, per le quali la trasmissione sonora interessa aree più ampie a causa della propagazione sonora attraverso controsoffitti e/o canalizzazioni di condizionamento dell'aria.

Quando gli uffici sono ubicati in zone con clima acustico non compatibile con le attività svolte, o in prossimità di strutture produttive rumorose, il conseguimento dei requisiti acustici sopra indicati richiede un adeguato potenziamento degli interventi da attuare. È da evitare, inoltre, che l'attività svolta nell'ufficio produca immissioni sonore nei vani limitrofi non compatibili con la destinazione d'uso di questi ultimi (ad esempio appartamenti sottostanti). Il capitolato di acquisto dei principali impianti ed apparecchiature, incluse quelle direttamente pertinenti all'attività di ufficio (fotocopiatrici, stampanti, telefoni, ecc.), dovrebbe richiedere l'indicazione della loro emissione sonora al fine di privilegiare quelli a minore emissione.

Affinché il rumore nelle postazioni di lavoro non interferisca con l'attività svolta si suggerisce di perseguire il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- livello equivalente ambientale: la UNI EN ISO 11690-1:1998 indica che non debba essere superiore a 45 dB(A) per compiti che richiedono concentrazione, non superiore a 55 dB(A) in uffici singoli e per compiti di routine, e non superiori a 65 dB(A) per uffici *open-space*;
- rumore di fondo non superiore a 40 dB(A) per uffici singoli, non superiore a 45 dB(A) per quelli *open-space* (UNI EN ISO 11690-1:1998);
- livello corretto del rumore di impianto L_{ic} non superiore a 35 dB(A) per uffici singoli ad attività progettuale, non superiore a 40 dB(A) per uffici singoli ad attività di routine e non superiori a 45 dB(A) per quelli *open-space* (UNI 8199:1998);
- tempo di riverberazione T_{60} compreso tra 0,5 e 1 s nella gamma di frequenza da 250 Hz a 4 kHz e comunque non superiore ai valori indicati nella Tabella 4.1 di seguito riportata.

Per la tutela della riservatezza della conversazione, trattandosi di prestazioni acustiche di tramezzi interni non soggetti a limiti di alcuna legislazione, si suggerisce un valore ottimale di isolamento acustico $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici.

Tabella 4.1: Tempo massimo di riverberazione in funzione del volume del locale (UNI EN ISO 9241-6:2001, prospetto B.2)

Volume del locale (m ³)	Tempo massimo di riverberazione raccomandato (s)	
	Conversazione	Scopo generale
50	non specificato	non specificato
100	0,45	0,8
200	0,60	0,9
500	0,70	1,1

1.000	0,80	1,2
2.000	0,90	1,3

4.1.2. Attività commerciali

Negli ambienti adibiti ad attività commerciale, in generale, è necessario realizzare condizioni di confort acustico tali da favorire l'intelligibilità del parlato, tanto per i lavoratori quanto per gli acquirenti. In prima approssimazione si deve infatti convenire che, in questa tipologia di ambienti (come per quelli ad uso scolastico e sanitario) il rispetto delle esigenze dell'acquirente (ovvero delle esigenze didattiche o delle esigenze degli utenti) determina anche il rispetto delle esigenze del lavoratore.

Per quanto riguarda più specificamente i centri commerciali, generalmente strutturati su di una prima sezione di grande superficie (supermercato con magazzini e locali di servizio), una seconda di raccordo (galleria) ed una terza di medie/piccole dimensioni (negozi), si verificano spesso i seguenti problemi:

- la tipologia dell'edificio richiede generalmente un impiego rilevante di superfici che devono essere trasparenti (vetrate) e che male si sposano con le esigenze di contenimento della propagazione sonora;
- i negozi prospicienti la galleria hanno solitamente pareti di contenimento con caratteristiche di ridotto isolamento mentre la galleria centrale presenta spesso un tetto con caratteristiche di spiccata riflessione verso il basso;
- le infrastrutture comuni (impianti di refrigerazione per apparecchiature frigorifere, impianti di condizionamento dell'aria, ecc.) sono generalmente rumorose e non sempre progettate con criteri di contenimento della rumorosità ambientale. Si verificano pertanto in opera problemi di rumore aerodinamico, vibrazioni nei condotti, rumorosità indotta da pompe, ecc.

In generale occorrerà quindi fornire al progettista dell'edificio commerciale la destinazione d'uso dei singoli negozi (o, comunque, almeno di quelli acusticamente più critici) per metterlo nelle condizione di creare efficaci interventi progettuali.

Tutti gli interventi effettuati per conseguire il corretto tempo di riverberazione T_{60} mediante trattamento delle superfici (soffitto e pareti laterali) con materiali e/o strutture fonoassorbenti, dovranno poi utilizzare preferibilmente il solo soffitto, ricorrendo a materiali che resistano anche al fuoco, siano facilmente pulibili (particolarmente problematici i tendaggi e le moquette) avendo attenzione a salvaguardare i requisiti di illuminamento e di ventilazione delle postazioni di lavoro.

Per la definizione delle caratteristiche fonoassorbenti dei locali, del rumore degli impianti aeraulici, del rumore di fondo e dei livelli di esposizione ove possibile si è invece fatto riferimento alle norme UNI EN ISO 11690-1:1998, UNI 8199:1998 e utilizzando i dati di Letteratura.

Affinché il rumore nelle postazioni di lavoro non interferisca con l'attività svolta, nella normalità dei casi, si suggerisce di perseguire il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- livello equivalente ambientale L_{Aeq} non superiore a 65 dB(A) per gli addetti degli alberghi ed a 70 dB(A) per le mense, ristoranti, bar, negozi;
- rumore di fondo non superiore a 45 dB(A);
- livello corretto del rumore di impianto L_{ic} non superiore ai valori evidenziati nella Tabella 4.2;
- tempo di riverberazione T_{60} o tasso di decadimento spaziale della pressione sonora al raddoppio della distanza DL_2 non superiori ai valori indicati nella Tabella 4.3 a seguito.

Tabella 4.2: Rumorosità massima degli impianti aerulici, nelle condizioni di normale attività, in ambienti adibiti ad attività commerciali secondo la UNI 8199:1998 (dal prospetto 2)

Destinazione d'uso del locale	dB(A)
Hotel:	
- camere da letto	30
- sale riunioni	35
- servizi	40
- sale da pranzo	45
- cucine	65
Ristoranti, bar e negozi	45

Tabella 4.3: Caratteristiche acustiche consigliate per ambienti di lavoro in funzione del volume del locale (UNI EN ISO 11690-1:1998, prospetto 3)

Volume del locale V (m^3)	Tempo di riverberazione T_{60} (s)	Tasso di decadimento spaziale della pressione sonora al raddoppio della distanza DL_2 (dB)
< 200	< 0,5 – 0,8	
200 ÷ 1.000	0,8 ÷ 1,3	
> 1.000	-	> 3 - 4

Anche in questo caso per la tutela della riservatezza della conversazione, trattandosi di prestazioni acustiche di tramezzi interni non soggetti a limiti di alcuna legislazione, si suggerisce un valore ottimale $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici.

4.1.3. Ambienti scolastici

Per le scuole, dalle materne alle secondarie superiori, sono praticamente ancora in vigore i requisiti stabiliti dal D.M. 18/12/75 (*“Norme tecniche aggiornate relative*

all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica².

In generale, negli ambienti adibiti ad attività scolastiche è necessario realizzare condizioni tali da favorire l'intelligibilità del parlato, tanto per i docenti quanto per i discenti.

In particolare, l'isolamento acustico per via aerea minimo (D) fra ambienti adiacenti o sovrastanti del complesso scolastico misurato in opera, deve essere pari ad almeno 40 dB.

Dallo stesso provvedimento si desume il valore massimo del tempo di riverberazione al variare del volume dell'ambiente e della frequenza del suono, utilizzando i diagrammi di Figura 4.1.

In linea generale si suggerisce di cercare il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- a) valori del livello di esposizione che possono rimanere contenuti nei 55-65 dB(A) per il personale amministrativo e per i docenti di materie teoriche delle scuole medie e superiori, ma possono salire sino a 65-70 dB(A) ed anche 80 dB(A) nelle scuole dell'infanzia, nelle palestre e in taluni laboratori (es.: meccanica, musica). Chi opera in questi ambienti, ovviamente anche per la presenza degli studenti, non dovrebbe comunque mai superare gli 80 dB(A) di L_{EX} . Particolarmente problematico si presenta il controllo dell'esposizione dei docenti (e degli studenti) nelle lezioni musicali pratiche, per i quali si rinnova il rimando alle linee guida previste dal D.Lgs. 81/2008;
- b) valori del livello continuo equivalente del rumore di fondo, rilevato in assenza delle persone, non superiori a 40 dB(A) nelle aule, ma che possono salire a 45 dB(A) nelle palestre;
- c) livello corretto del rumore di impianto (L_{ic} , secondo la UNI 8199:1998) attribuibile ai soli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione non superiore a 30 dB(A) nelle aule e a 40 dB(A) nelle palestre.

² In realtà, con Legge n.23 del 11 gennaio 1996 il DM 18/12/75 è stato abrogato in previsione di future normative regionali che però non sono mai intervenute. La stessa Legge 23/96 prevede comunque che in assenza di tali normative regionali restino in vigore le indicazioni del DM 18/12/75 da intendersi come indicazioni di buona tecnica.

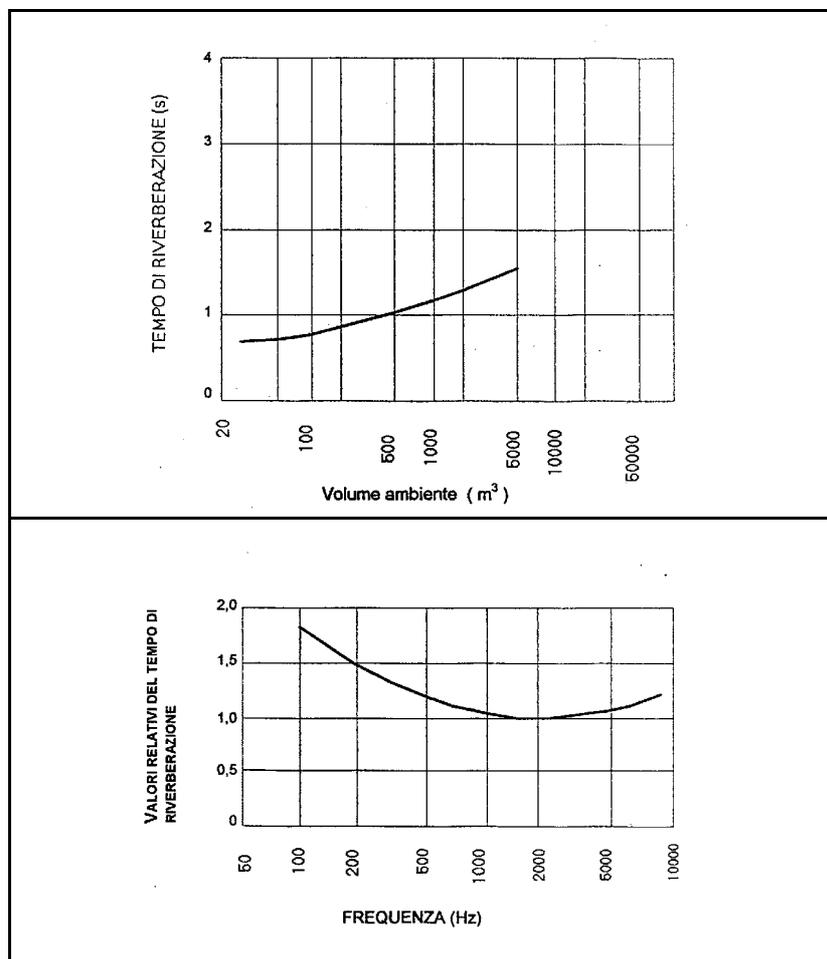


Figura 4.1. Diagrammi per il calcolo dei tempi di riverbero secondo il D.M. 18/12/75³

³ Nella Figura 4.1 è riportato il grafico del tempo di riverberazione massimo ammesso in funzione del volume dell'ambiente, riferito alla frequenza di 2000 Hz. Dalla Figura si ricavano i tempi di riverberazione massimi ammessi per le restanti frequenze procedendo in questo modo:

- si fissa sull'asse orizzontale il valore di frequenza del quale si vuole verificare il limite e sull'asse verticale si legge il valore del fattore moltiplicativo corrispondente a quella frequenza;
- moltiplicando questo fattore per il tempo di riverberazione precedentemente ricavato sull'altro grafico (riferito a 2000 Hz), si ottiene il tempo di riverberazione massimo ammesso per la frequenza in oggetto;
- si ripete l'operazione per tutte le frequenze che interessano.

Infine, alcuni dei principali aspetti da considerare nella progettazione di un edificio scolastico o nella sua bonifica, sono riportati a seguito:

- scegliere aree con clima acustico adeguato (tipicamente: Classe I) ovvero, nell'impossibilità reale, con livelli sonori comunque inferiori a 55 dB(A). Si ricorda che per questo tipo di insediamenti è richiesta una "valutazione previsionale del clima acustico" da allegare al progetto secondo l'art 8 della Legge 447/95 i cui criteri di redazione sono fissati dalle Regioni;
- rispettare/ripristinare i requisiti acustici passivi (attenzione alle trasmissioni di rumore per via solida), potenziandoli in ragione del clima acustico della zona in cui è collocato l'edificio. Particolare attenzione va posta ai requisiti di fonoassorbimento ambientale, utilizzando preferibilmente il soffitto e senza pregiudicare la pulibilità degli ambienti (problema tipico di tendaggi/moquette) e avendo attenzione alle classi di resistenza al fuoco dei materiali;
- effettuare una specifica progettazione per gli ambienti con esigenze acustiche particolari: laboratori linguistici e musicali, officine, palestre, biblioteca, aula magna, mensa ecc.;
- formulare un capitolato d'acquisto con limiti acustici per tutte le principali infrastrutture (impianti RCV, impianti frigoriferi, ascensori...) (vedi Scheda n. 6).

4.1.4. Strutture sanitarie

I locali di edilizia sanitaria (ospedali, case di cura, poliambulatori) presentano esigenze acustiche estremamente differenziate in dipendenza dell'uso (sale di degenza, day hospital, sale operatorie, laboratori, sale gessi, servizi ...).

Circa il clima acustico dell'area di insediamento del presidio, la vigente normativa prescrive che gli ospedali siano insediati in aree del territorio a bassa rumorosità ambientale, classificate in classe I, ove non si superino i 40 dB(A) di L_{Aeq} notturni ed i 50 dB(A) di L_{Aeq} diurni misurati alla facciata della struttura, in condizione di normale funzionamento dei macchinari. Ambulatori di diagnostica e terapia ove non sia prevista la degenza ed ove la quiete non costituisca elemento essenziale della prestazione sanitaria, quali ad esempio laboratori di analisi o servizi di radiodiagnostica, ambulatori e studi medici non collegati a presidi sanitari, possono invece essere compatibili anche con classi di destinazione d'uso III (limite diurno 60 dB(A)).

Per la tutela della riservatezza della conversazione e della tranquillità per i pazienti (camere di degenza), trattandosi di prestazioni acustiche di tramezzi interni non soggetti a limiti di alcuna legislazione, si suggerisce un valore ottimale $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici.

Relativamente al rumore prodotto dagli impianti tecnologici, il D.P.C.M. 05/12/97 prende in esame e fissa valori limite per le seguenti tipologie d'impianti:

- servizi a funzionamento discontinuo, quali gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni i servizi igienici e la rubinetteria: 35 dB(A) L_{pASmax} ;
- servizi a funzionamento continuo, quali gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento: 25 dB(A) L_{Aeq} ;

È opinione diffusa che la legge preveda valori limite particolarmente restrittivi anche se tali limiti si riferiscono agli ambienti disturbati diversi da quelli in cui il rumore viene generato. Non è questo il caso della rumorosità prodotta dalle unità terminali degli impianti di ventilazione e climatizzazione, dove la rumorosità è generata nell'ambiente stesso. Per tali situazioni si può fare riferimento ai valori limite prescritti dalla norma UNI 8199:1998 riportati nella Tabella 4.5.

Tabella 4.5: Livelli raccomandati dalla UNI 8199:1998 per il rumore dovuto ad impianti aerulici in ambienti ad uso sanitario

Destinazione d'uso	dB(A)
camere di degenza	30
sale operatorie	35
Corsie	40
Corridoi	40
aree aperte al pubblico	40
Servizi	40

Per la definizione delle caratteristiche fonoassorbenti dei locali, del rumore di fondo e dei livelli di esposizione si è poi fatto riferimento in particolare alle norme UNI EN ISO 11690-1:1998, UNI 8199:1998 e i dati di Letteratura.

In linea generale si suggerisce di cercare il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- a) livello di esposizione: è sufficiente verificare il rispetto dei valori indicati per il rumore di fondo e per il T_{60} , in quanto il livello di esposizione è determinato dalle sole attività antropiche tipiche di quell'ambiente e come tali facilmente controllabili. Solo per i servizi di diagnostica e terapia e per i laboratori d'analisi si fornisce l'indicazione più specifica di un L_{EX} non superiore a 65 dB(A);
- b) livello equivalente ambientale (L_{Aeq}) non superiore a 40 dB(A) laddove è richiesto sia possibile dormire (nelle camere di degenza, guardia medica), non superiore a 50 dB(A) laddove il compito richiede livelli di concentrazione e di attenzione particolarmente elevati (sale operatorie, ambulatori e studi medici, servizi di diagnostica e terapia) e non superiore a 60 dB(A) laddove l'attività prevede il ricorso frequente ad attrezzature (laboratori di analisi);
- c) rumore di fondo (L_{Aeq}) non superiore a 35 dB(A) nei locali a massima esigenza di comfort e di qualità nella comunicazione verbale (camere di degenza, guardia medica, sale operatorie) e non superiore a 40 o 45 dB(A) negli altri locali considerati;
- d) tempo di riverberazione T_{60} non superiore ai valori indicati nella già citata Tabella 4.3. In particolare il rispetto del requisito è richiesto per le sale mensa, gli uffici con sportelli al pubblico e sale d'attesa con considerevole affluenza di pubblico, le sale riunioni, aule didattiche, auditorium e palestre.

4.2. SINTESI DEI REQUISITI E DEGLI STANDARD ACUSTICI

Col termine “requisiti acustici” si vuol far riferimento ai parametri che possono indirizzare il progettista nel dimensionamento, nella scelta dei materiali e delle soluzioni progettuali (se desumibili da fonti legislative). Questi sono inoltre i valori che gli organi di vigilanza, sull'applicazione dei diversi tipi di provvedimenti, possono richiedere che vengano rispettati dall'utilizzatore.

Con la voce “standard acustici”, invece, ci si vuole riferire alle indicazioni delle normative di buona tecnica che, sulla base di una attenta lettura, integra e talvolta interpreta i requisiti legislativi.

In **Tabella 4.6** viene riportato il quadro, necessariamente schematico, di questi requisiti e standard acustici.

I valori indicati, pur essendo quasi sempre desunti da leggi e norme per la tutela “generica” degli occupanti l'edificio, vanno ritenuti validi anche per la tutela “specifica” dei lavoratori.

Nella lettura della Tabella, per la cui comprensione integrale si rimanda al testo del Manuale di buona pratica, si consideri che per esigenze di spazio si sono utilizzate le seguenti abbreviazioni e convenzioni grafiche:

Isolamento di facciata = indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione $D_{2m,nT,w}$;

Potere fonoisolante = indice del potere fonoisolante apparente espresso come R'_w quando desunto dal D.P.C.M. 05/12/97 e come isolamento acustico D quando desunto dal D.M. 18/12/95;

Caratteristiche fonoassorbenti = caratteristiche fonoassorbenti dell'ambiente espresse come T_{60} o DL_2 ;

Livello di calpestio = Indice del livello normalizzato di rumore di calpestio in opera $L'_{nT,w}$;

Rumore impianti = livello corretto del rumore degli impianti RCV L_{ic} come da UNI 8199;

Rumore di fondo = livello di rumorosità in assenza delle persone e delle attività tipiche del locale;

Condizioni espositive: di volta in volta, il livello personale di esposizione al rumore riferito alla giornata standard di 8 ore (**Livello di esposizione personale**) oppure il livello di rumorosità rappresentativo delle condizioni espositive nell'effettivo tempo di esposizione (**Livello equivalente ambientale**).

Per indicare un intervallo di valori di un parametro si è utilizzato il simbolo “-”, mentre con il simbolo “/” si sono accostati valori di differente contenuto tecnico, ma che debbono essere considerati congiuntamente.

Per indicare i requisiti acustici (provenienza legislativa) si è utilizzato il **grassetto**, a differenza degli standard (provenienza normativa) scritti in corsivo normale.

Tabella 4.6: requisiti e standard acustici di luoghi di lavoro non industriali

	Isolamento facciata	Potere fonoisolante	Caratteristiche fonoassorbenti	Livello di calpestio	Rumore impianti	Rumore di fondo	Condizioni espositive
SETTORE DI ATTIVITA' Tipologia d'uso del locale	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	R'_w / D (dB)	T_{60} (s) / DL_2 (dB)	$L'_{nT,w}$ (dB)	L_{IC} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)	L_{EX} o L_{Aeq} dB(A)
TUTTI I SETTORI							
- Uffici singoli (att. progettuale)	42	50 / 40	UNI 9241-6 p.B.2 ⁽²⁾	55	35 ⁽³⁾	40	45
- Uffici singoli (att. routine)	42	50 / 40	UNI 9241-6 p.B.2 ⁽²⁾	55	40 ⁽³⁾	40	55
- Open space	42	50 / 40	UNI 9241-6 p.B.2 ⁽²⁾	55	45 ⁽³⁾	45	65
- Mense	42÷48 ⁽¹⁾	50 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	55	45 ⁽³⁾	45	70
PUBBLICO SPETTACOLO e ATTIVITA' COMMERCIALI							
- Alberghi	40	50 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	63	30-45 ⁽³⁾	45	65
- Ristoranti, bar, negozi	42	50 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	55	45 ⁽³⁾	45	70
- Discoteche ⁽⁵⁾ e simili ⁽⁶⁾	42 ⁽⁷⁾	50 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	55	45 ⁽³⁾	45	65-75-80 ⁽⁸⁾
ATTIVITA' SCOLASTICHE							
- Aule	48	50 / 40	D.M. 18/12/75 ⁽⁹⁾	58	30 ⁽³⁾	40	65-70-80 ⁽⁸⁾
- Palestre	48	50 / 40	D.M. 18/12/75 ⁽⁹⁾	58	45 ⁽³⁾	45	60-70
ATTIVITA' SANITARIE							
- Camere di degenza	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	30 ⁽³⁾	35	55
- Guardia medica	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	30 ⁽³⁾	35	55
- Sale operatorie	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	35 ⁽³⁾	40	55
- Serv. diagnostica e terapia ⁽¹⁰⁾	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	40 ⁽³⁾	40	60
- Ambulatori, studi medici	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	40 ⁽³⁾	40	60
- Laboratori di analisi	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	40 ⁽³⁾	45	65

Note:

- ⁽¹⁾ = in funzione della destinazione d'uso prevalente dell'unità immobiliare;
- ⁽²⁾ = dato desumibile dal prospetto B.2 della norma UNI 9241-6:2001 che collega le caratteristiche acustiche fonoassorbenti richieste per gli uffici con la loro volumetria (vedi **Tabella 4.7**);
- ⁽³⁾ = valgono anche i limiti del D.P.C.M. 05/12/97 di 25 dB(A) di L_{Aeq} per gli impianti a funzionamento continuo e 35 dB(A) di $L_{AS,max}$ per gli impianti a funzionamento discontinuo (D.P.C.M. 05/12/97), misurati negli ambienti disturbati diversi da quelli in cui il rumore viene generato;
- ⁽⁴⁾ = dato desumibile dal prospetto 3 della norma UNI 11690-1:1998 che collega le caratteristiche acustiche fonoassorbenti richieste alla volumetria degli ambienti (vedi **Tabella 4.8**);
- ⁽⁵⁾ = per la tutela dei fruitori, il D.P.C.M. 215/99 stabilisce un limite di 95 dB(A) di L_{Aeq} e un limite di 102 dB(A) di $L_{AS,max}$ misurati a centro pista; questi valori sono particolarmente utili in fase di progettazione e collocazione degli impianti di diffusione sonora nonché dei relativi sistemi di controllo;
- ⁽⁶⁾ = altri pubblici esercizi che utilizzano impianti di amplificazione e diffusione sonora;
- ⁽⁷⁾ = fatte salve diverse determinazioni maturate sulla base dello studio di impatto ambientale dell'insediamento;
- ⁽⁸⁾ = vedi specifiche nel testo dei singoli paragrafi;
- ⁽⁹⁾ = dato desumibile dai diagrammi T_{60}/Hz e T_{60}/V del D.M. 18/12/75 e riportati in **Figura 4.1**;
- ⁽¹⁰⁾ = senza degenza; altrimenti, vedi "camere degenza".

Tabella 4.7: Tempo massimo di riverberazione in funzione del volume del locale (UNI-EN-ISO 9241-6:2001, prospetto B.2)

Volume del locale (m ³)	Tempo massimo di riverberazione raccomandato (s)	
	Conversazione	Scopo generale
50	non specificato	non specificato
100	0,45	0,8
200	0,60	0,9
500	0,70	1,1
1.000	0,80	1,2
2.000	0,90	1,3

Tabella 4.8: Caratteristiche acustiche consigliate per ambienti di lavoro in funzione del volume del locale (UNI-EN-ISO 11690-1:1998, prospetto 3)

Volume del locale V (m ³)	Tempo di riverberazione T ₆₀ (s)	Tasso di decadimento spaziale della pressione sonora al raddoppio della distanza DL ₂ (dB)
< 200	< 0,5 – 0,8	
200 ÷ 1.000	0,8 ÷ 1,3	
> 1.000	-	> 3 - 4

5. CRITERI ACUSTICI DI ACQUISTO DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI

5.1. REQUISITI ACUSTICI PREVISTI DALLA LEGISLAZIONE

La legislazione comunitaria ed italiana in materia di controllo del rumore prodotto negli ambienti di lavoro da macchine, attrezzature e impianti si basa su provvedimenti di carattere generale che impongono di progettare, costruire, ed utilizzare macchinari aventi il più basso livello di rumore e su provvedimenti particolari inerenti macchine specifiche.

A supporto di questa legislazione esiste poi un'ampia serie di norme UNI, EN, ISO, come elencato nella Scheda 29 del Secondo livello del presente manuale.

5.1.1. Provvedimenti legislativi di carattere generale

Il primo provvedimento legislativo di carattere generale da richiamare in questa sede è ovviamente il D.Lgs. 81/2008 il quale prevede per i datori di lavoro l'obbligo di scegliere, al momento dell'acquisto, l'attrezzatura che produce il più basso livello di rumore.

È indirizzata invece ai produttori la Direttiva 2006/42/CE, recepita in Italia con il Decreto Legislativo n. 17/2010, meglio conosciuta con il nome di "Direttiva Macchine"⁴. Questa direttiva rappresenta lo strumento adottato da tutti gli Stati membri dell'Unione Europea per stabilire i requisiti essenziali di sicurezza (RES) che le macchine devono possedere per essere immesse nel mercato dell'Unione Europea. La conformità alla direttiva è resa evidente all'acquirente grazie all'apposizione sul macchinario dalla targhetta di marcatura CE, oltre che dal documento di dichiarazione di conformità CE che lo accompagna.

In merito al rischio dovuto al rumore, il D.Lgs. 17/2010 obbliga il produttore a progettare e costruire una macchina in modo tale che i rischi dovuti all'emissione di rumore aereo siano ridotti al livello minimo tenuto conto del progresso tecnico, e della possibilità di limitare il rumore, in particolare alla fonte (interessanti spunti su questo argomento possono essere desunti dalla UNI EN ISO 11688-1:2000 "Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore").

I costruttori sono poi obbligati alla rilevazione di alcune grandezze relative all'emissione acustica del macchinario da indicare nel libretto d'uso e manutenzione associato. In tale libretto devono figurare indicazioni relative al:

- a) livello di pressione acustica continuo equivalente ponderato A (L_{Aeq}) nei posti di lavoro se questo supera i 70 dB(A). In caso contrario deve essere dichiarato il non superamento;
- b) in aggiunta al precedente anche il livello di potenza acustica (L_{WA}) emesso dalla macchina, quando il livello di pressione acustica continuo equivalente

⁴ Il D.Lgs. 17/2010 ha abrogato il D.P.R. 459/96 che a sua volta aveva recepito la prima Direttiva macchine 89/392/CE e s.m.i.

ponderato A nei posti di lavoro supera gli 80 dB(A). Nel caso di macchine di grandissime dimensioni è possibile sostituire l'indicazione del L_{wA} con l'indicazione dei livelli di pressione acustica continui equivalenti in appositi punti attorno alla macchina;

- c) valore massimo di pressione acustica istantanea ponderata C (livello di picco $L_{picco,C}$) nelle postazioni di lavoro, se questo supera i 130 dB(C).



DICHIARAZIONE CE DI CONFORMITÀ
EC DECLARATION OF CONFORMITY

Il fabbricante / the manufacturer :

XXXX S.r.l.
Via YYYY, n. ZZ
WWWWW - ITALY

dichiara sotto la sua responsabilità, che la macchina /
declare on his own responsibility, that the machine:

tipo (vedi allegato) / type (see annex) : AAAAAA
Numero / number : BBBB
Anno di costruzione / building year : CCCC

è conforme ai requisiti essenziali richiesti dalle seguenti direttive e relative integrazioni / is in conformity with the essential health and safety requirements of the following directives (and relevant amendments):

- macchine / machinery	98/37/CE;
- bassa tensione / low voltage	73/23/CEE;
- compatibilità elettromagnetica / electromagnetic compatibility	89/336/CEE;

Sulla macchina è apposta la marcatura CE / CE marking is affixed on the machine

Il fabbricante conserva il fascicolo tecnico negli uffici aziendali /
the manufacturer keeps the technical file on his premises

WWWWW XXXX
Data / date: xx/xx/xxxx Mario Rossi
(Il Legale Rappresentante)

La presente dichiarazione è composta da 1 pagina e da 1 allegato di due pagine ed è riproducibile solo integralmente. / This EC declaration is consisting of one page and one annex (of two pages) and it is reproducible only in full.

Figura 5.1: Esempio di targhetta apposta sul macchinario (sx) e dichiarazione di conformità (dx)

Si osservi che se il costruttore indica correttamente i valori di emissione sonora (dopo aver fatto tutto il possibile per contenerli), consente al datore di lavoro-utilizzatore di effettuare un confronto delle prestazioni acustiche offerte dai diversi macchinari in commercio e quindi lo mette in grado, nel concreto, di assolvere all'obbligo previsto dall'art. 192 del D.Lgs. 81/2008 di scegliere le attrezzature a più bassa rumorosità. Inoltre, direttamente sulla base dei valori di L_{Aeq} o mediante alcuni calcoli sulla base dei valori di L_{wA} , lo pone in grado di fare previsioni sui livelli di esposizione degli operatori addetti o che operano in prossimità della macchina in questione.

Il D.Lgs. 17/2010 raccomanda al produttore di determinare i valori delle grandezze acustiche da riportare sulla documentazione utilizzando i metodi descritti dalle norme armonizzate; in caso contrario, i dati acustici dovranno essere misurati utilizzando il codice (metodo) di misurazione più appropriato adeguato alla

macchina. Naturalmente è fatto obbligo al fabbricante di indicare le condizioni di funzionamento della macchina durante la misurazione ed i metodi di misurazione seguiti. In ogni caso sono da considerarsi incomplete ed inadeguate le informazioni di rumorosità che non facciano riferimento ad un metodo di prova standardizzato. Inoltre, se necessario, nelle istruzioni per l'uso devono essere indicate le prescrizioni di montaggio volte a ridurre il rumore e le vibrazioni prodotte (ad esempio, impiego di ammortizzatori, natura e massa del basamento, ecc.).

Il D.Lgs. 81/2008 prevede l'obbligo specifico per il datore di lavoro di appurare la conformità del macchinario, verificando la marcatura CE e la dichiarazione di conformità che l'accompagna, andando a scegliere quella macchina che, a parità di prestazioni, tenendo conto dell'insieme dei rischi presenti, proponga valori inferiori di rumore emesso.

Si osservi però che tanto l'assenza palese di dispositivi di riduzione del rumore (cabine acustiche, silenziatori...) quanto l'assenza totale di informazioni sull'emissione acustica rende la macchina non conforme ed espone anche l'utilizzatore alle sanzioni previste dal D.Lgs. 81/2008⁵.

5.1.2. Provvedimenti legislativi di carattere specifico

Ogni qualvolta il rischio rumore per una data macchina è previsto da una direttiva comunitaria specifica recepita in Italia si devono applicare le indicazioni in essa contenute, oltre quelle generali previste dal D.Lgs. 17/2010.

Queste normative specifiche, che discendono dall'esigenza primaria di contenere il disturbo da rumore nell'ambiente esterno in cui sono destinate a funzionare le macchine regolamentate, fissano limiti massimi di rumorosità e obblighi informativi delle prestazioni acustiche secondo codici di misura e condizioni di funzionamento ben definiti. Ciò permette all'acquirente di essere certo di aver acquistato una macchina che, dal punto di vista della progettazione antirumore, rispecchia il cosiddetto "stato dell'arte" e gli consente di effettuare un confronto ottimale delle prestazioni offerte dai diversi macchinari in commercio.

Fino a tutto il 2002 le macchine soggette a specifica regolamentazione erano relativamente poche (motocompressori, gru a torre, gruppi elettrogeni, martelli demolitori, macchine movimento terra, tosaerba; secondo quanto previsto dai D.M. 588 e 598 del 1987 e dai D.Lgs. 135, 136 e 137 del 1992).

Il compito del datore di lavoro acquirente consisteva nell'appurare la presenza di apposite targhette ("label acustiche" che, con quella normativa potevano indicare o il L_{pA} o il L_{WA}), la marcatura CE e la dichiarazione di conformità che l'accompagna, ovviamente andando a scegliere quella macchina che, a parità di prestazioni, proponeva valori inferiori di rumore emesso.

⁵ Circolare Ministero dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato n° 762440 del 31/07/98 oggetto: Cabine fono-isolanti per macchine ed impianti rumorosi. Chiarimenti

Circa i due diversi tipi di targhette prima richiamati (indicanti o il L_{pA} o il L_{wA}), occorre rilevare che, benché apparentemente molto simili, esprimono concetti e grandezze molto diversificati: il primo (L_{pA}) precisa l'esposizione dell'utilizzatore della macchina o del conduttore del mezzo in termini di L_{Aeq} , mentre il secondo (L_{wA}) indica la potenza acustica emessa dalla macchina e quindi permette di confrontare le emissioni di diverse sorgenti e i rischi di inquinamento ambientale.

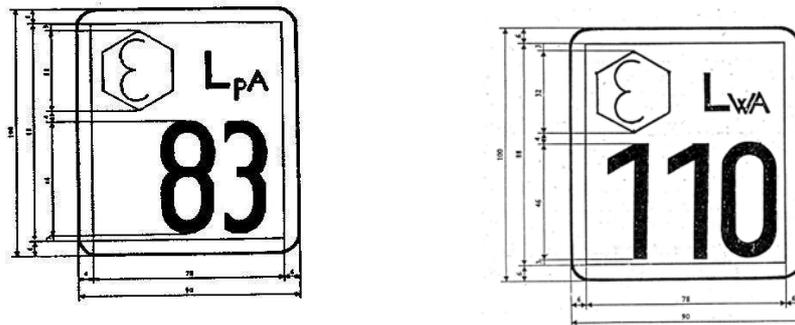


Figura 5.2: Targhette di informazione del livello di pressione sonora al posto di lavoro L_{pA} (sinistra) e di potenza sonora L_{wA} (destra) previste dalla normativa vigente fino al 31/12/02 per alcune macchine funzionanti all'aperto

Questa situazione è stata superata con l'emanazione del Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n. 262, recepimento della Direttiva Comunitaria 2000/14/CE, pubblicato sulla GU del 21 novembre 2002 ed entrato pienamente in vigore dal 1 gennaio 2003. Dopo tale data non è infatti più consentita l'immissione in commercio o la messa in servizio dei macchinari costruiti in base alla normativa in vigore precedentemente.

Il nuovo decreto, che si riferisce comunque solo a macchine da cantiere e ad altre macchine operanti all'aperto, amplia la categoria delle macchine ed attrezzature soggette a limiti di emissione acustica e prevede che sulla targhetta (*label* acustica) sia riportata l'indicazione del solo livello di potenza sonora prodotto.

Rispetto alle direttive vigenti prima della sua pubblicazione, che abroga, non è previsto nessun rilievo e marcatura della pressione sonora al posto di lavoro (la cui dichiarazione rimane comunque obbligatoria ai sensi della Direttiva Macchine).

Di seguito viene messo a confronto il nuovo pittogramma che accompagna le macchine e attrezzature conformi alla Direttiva 2000/14/CE (sinistra) con quello precedente (destra).

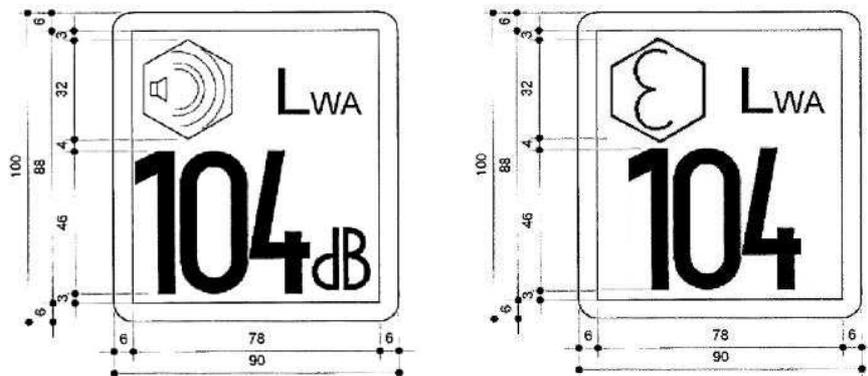


Figura 5.3: Targhette riportanti il livello di potenza sonora per una macchina o attrezzatura rispondente alla nuova normativa 2000/14/CE (sn) e a quella precedente (dx)

Nella nuova situazione legislativa, l'obbligo del produttore consiste quindi nell'immissione in commercio del prodotto subordinata al rispetto dei livelli massimi di rumorosità, se previsti per quella tipologia di macchina o attrezzatura, e all'apposizione sul macchinario della targhetta attestante il livello di potenza sonora garantito del macchinario determinato secondo una procedura di prova e di misura standard.

Gli obblighi specifici per il datore di lavoro restano quelli di accertare la presenza della targhetta riportante il livello di potenza sonora garantito (L_{WA}), nonché ovviamente quello di acquistare tra le diverse offerte, quella che produce meno rumore.

5.2. SPECIFICHE DI ACQUISTO E DI ACCETTAZIONE

Le informazioni minime da richiedere ai potenziali fornitori in fase di acquisto del macchinario comprendono i seguenti dati sull'emissione del rumore.

- a) Livelli di pressione sonora dichiarati nei posti di lavoro, L_{pA} , e il livello di picco ponderato C, $L_{pC,picco}$.

- b) Livello di potenza sonora ponderato A dichiarato, L_{WA} (si consideri che il costruttore è obbligato a fornire questo dato solo se il L_{pA} nel posto di lavoro supera gli 80 dB(A)).
- c) Riferimento alla norma (o, in sua assenza, alla procedura) utilizzata nella dichiarazione dei valori cui ai punti precedenti.

In base ad un accordo privato tra acquirente e potenziale fornitore, quest'ultimo può fornire anche dati complementari di emissione di rumore per cicli di lavorazione, montaggio e condizioni di funzionamento diversi da quelli precisati nella relativa procedura di certificazione, in relazione alle condizioni di funzionamento di particolare interesse per l'acquirente.

Il formalizzare le richieste acustiche sul capitolato d'acquisto (compresi i limiti che si vuole che il costruttore rispetti) è quasi sempre condizione necessaria per avere il controllo della rumorosità che si determinerà nel luogo di lavoro una volta installato il macchinario.

Ai fini di cosa indicare (richiedere) sul capitolato, si consideri che i livelli dichiarati dal produttore risulteranno incrementati sia dal rumore di fondo che dal riverbero acustico dell'ambiente di installazione e che le effettive condizioni di utilizzo del macchinario quasi mai coincidono con quelle di certificazione.

Infatti, i valori di emissione sonora sono caratteristiche intrinseche della sorgente sonora, ma i livelli di pressione sonora che essa determina in un certo ambiente dipendono anche dalle caratteristiche acustiche dell'ambiente di lavoro (riverberazione), dal contributo di altre sorgenti sonore e dalle reali condizioni di funzionamento della sorgente sonora.

I valori di emissione sonora dichiarati dal fabbricante sono importanti perché consentono di scegliere le macchine e le attrezzature sulla base di definiti requisiti acustici, stabilire un dialogo tecnico fra acquirente e fornitore, valutare la conformità del prodotto ai requisiti stabiliti nelle specifiche.

Essi inoltre consentono di determinare, attraverso calcoli e stime:

- i livelli di rumorosità conseguenti alla immissione di una determinata sorgente sonora in uno specifico ambiente di lavoro (vedere Schede n. 1, 2 e 24 del secondo livello);
- l'ulteriore esigenza di provvedere a bonifiche acustiche nell'ambiente di lavoro.

Come si diceva, però, occorre ricordarsi che i livelli dichiarati dal produttore sono al netto del riverbero acustico dell'ambiente di installazione e risulteranno incrementati anche dal rumore di fondo in esso già esistente.

È interesse dell'acquirente richiedere anche i dati sull'emissione sonora nelle effettive condizioni d'utilizzo della macchina o dell'attrezzatura, poiché le effettive condizioni di utilizzo del macchinario non sempre coincidono con quelle di certificazione acustica.

L'utilizzatore può poi anche richiedere garanzie sui livelli sonori che si determineranno in determinate postazioni di uno specifico ambiente.

Come ovvio, entrambe queste ultime condizioni richiedono una stretta collaborazione tra acquirente e fornitore, in modo che il fornitore possa conoscere le

reali condizioni d'uso della macchina e/o le caratteristiche acustiche dell'ambiente cui tale sorgente è destinata.

La verifica dei valori di rumore così richiesti andrà effettuata secondo una procedura di prova concordata fra acquirente e fornitore.

La scelta della macchina meno rumorosa va effettuata per confronto, nelle stesse condizioni operative, in primo luogo (normalmente) sulla base del L_{wA} e, se la potenza acustica non è indicata, sulla base dei L_{pA} . È comunque sempre importante confrontare gli L_{pA} in posizione operatore, in quanto si può verificare che macchine a maggior potenza acustica adottino soluzioni migliori a tutela del posto di lavoro che vanno premiate.

Prima di concludere questo paragrafo si ritiene importante evidenziare la necessità di acquistare attrezzature fornite di dati di emissione sonora nelle condizioni ragionevolmente rappresentative di reale funzionamento e non “a vuoto”. Inoltre si raccomanda di acquistare macchine che, nelle stesse condizioni d'uso e per le stesse applicazioni, sono disponibili in versione silenziata rispetto alla versione “non silenziata”.

Un esempio di scheda tecnica relativa all'emissione di rumore che può essere utilizzata per richiedere al produttore/importatore del macchinario i dati relativi alla rumorosità da questo prodotta è riportata nella Scheda n. 6 del secondo livello.

Una volta fissate le richieste acustiche sul capitolato d'acquisto occorre verificarne il rispetto in sede di accettazione della macchina.

Nel capitolato d'acquisto andrà sempre precisata la possibilità della restituzione della macchina che non rispettasse i valori previsti e le relative penali.

5.3. INDICAZIONI PER LA VIGILANZA E CONTROLLO DELLE ASL

Il controllo sull'applicazione delle normative di prodotto, quali il D.Lgs. 17/2010, è compito in primo luogo del Ministero dello Sviluppo Economico in collaborazione con il Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali; le Aziende USL, ed in particolare i Servizi di Prevenzione e Protezione negli Ambienti di Lavoro (SPSAL), possono però segnalare a tali Ministeri le macchine e le attrezzature di lavoro presumibilmente non conformi ai requisiti essenziali di igiene e sicurezza (RES) riscontrate durante la loro normale attività di vigilanza.

Ad oggi il controllo tecnico sulla conformità di macchine e attrezzature di lavoro immesse sul mercato col sistema della marcatura CE (D.Lgs. 17/2010, D.Lgs. 475/92...), su delega del Ministero dello Sviluppo Economico, è compito affidato ai tecnici dell'ex ISPESL (ora INAIL, organo del Ministero della Sanità che in generale è centro nazionale di informazione, documentazione, ricerca e sperimentazione nonché organo tecnico-scientifico del Servizio Sanitario Nazionale e dei Servizi Sanitari Regionali) ed ai SIL (Servizio Ispezioni del Lavoro) delle

Direzioni provinciali del Lavoro (C.M. 1067/99 e lettera circolare 2182 del 20/12/00).

Nel caso in cui questi controlli verificchino la non conformità di una macchina o di una attrezzatura ai requisiti di sicurezza, fatta salva la facoltà di adottare i provvedimenti ritenuti necessari nel caso di violazione di altre specifiche norme penali o amministrative, il fatto viene segnalato al Ministero dello Sviluppo Economico e al Ministero del Lavoro e Politiche Sociali.

Solo il Ministero dello Sviluppo Economico ha tuttavia il potere di disporre il ritiro temporaneo dal mercato o il divieto di utilizzazione del macchinario non conforme su tutto il territorio nazionale.

Come detto, anche i tecnici ASL, venuti a conoscenza della presumibile mancata applicazione delle "direttive di prodotto", oltre a condurre la loro normale azione di vigilanza sul rispetto, in particolare, dell'art. 70 del D.Lgs. 81/2008 possono segnalare ai Ministeri competenti.

Le segnalazioni possono essere effettuate sia per carenze palesi che per carenze occulte.

L'assenza o la carenza progettuale e realizzativa di dispositivi adeguati per la riduzione dell'emissione di rumore (es.: cabine acustiche o cappottature acustiche, silenziatori) rientrano in queste casistiche. Inoltre, poiché ogni macchina o attrezzatura deve essere accompagnata da un'opportuna documentazione (dichiarazione di conformità, manuale di istruzioni per l'uso, fascicolo tecnico), anche la carenza documentale (assenza di informazioni acustiche ovvero informazioni acustiche valutate su situazioni palesemente lontane dalle condizioni di funzionamento della macchina) può far scattare la procedura di segnalazione di non conformità.

La procedura di segnalazione prevede l'invio, ai sensi dell'art. 6, comma 3, del D.Lgs. 17/2010, di una comunicazione, di cui si allega il modello ed una relazione di accertamento di presunta non conformità al Ministero dello Sviluppo Economico, al Ministero del Lavoro, Salute e Politiche Sociali ed all'Assessorato alla Sanità della propria Regione riportato nella Scheda 28 del Secondo Livello.

6. BONIFICA ACUSTICA DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI

La bonifica acustica di macchine, attrezzature, impianti e lavorazioni deve essere decisa in base a criteri specifici, non approssimativi, che derivino da una sufficiente conoscenza delle possibilità disponibili e in base a esperienze tecnicamente sperimentate e sostanziate.

Le pagine che seguono hanno lo scopo di fornire un primo quadro delle tecniche utilizzabili in tema di bonifica acustica di macchine, attrezzature e impianti, sulla base di una metodologia che, come previsto dalla tecnica⁶ e richiesto dalla legge, deve privilegiare gli interventi sulle sorgenti sonore, valutando poi gli interventi possibili per ridurre trasmissione e propagazione del rumore ed infine considerare gli interventi a protezione dei lavoratori esposti (Figura 6.1).

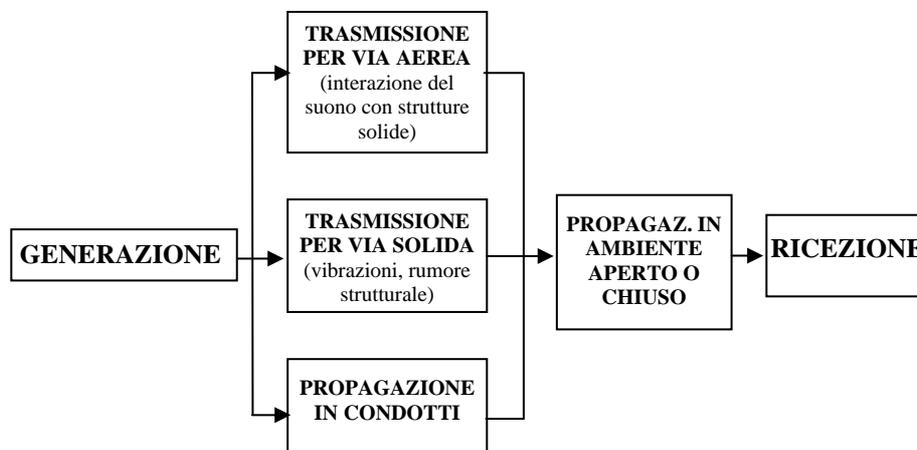


Figura 6.1: Schema generale della emissione ed immissione acustica

L'analisi che segue utilizzerà tale schema di riferimento, mentre non verranno esaminati gli interventi di natura organizzativa e procedurale quali l'adottare modalità di lavoro che evitino di generare rumore inutile (spegnere le macchine che non vengono utilizzate, istruire i lavoratori ad evitare rumori inutili, ...) in quanto al di fuori dello scopo del presente Manuale.

Nella Scheda 30 del Secondo livello il lettore potrà inoltre confrontarsi con soluzioni di bonifica acustica realizzate sul campo.

A chi volesse invece avvicinarsi al tema della progettazione acustica, tema che non verrà qui di seguito affrontato, oltre alla necessaria letteratura ingegneristica consigliamo la lettura della UNI EN ISO 11688-1:2000 "Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore".

⁶ Da segnalare la Norma UNI/TR 11347:2010 "Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro", emanata a supporto delle azioni di prevenzione e protezione previste dall'art. 192 del D.Lgs. 81/2008.

Come ultimo elemento si richiama l'importanza che ogni intervento di bonifica acustica sia collaudato in opera per verificare il rispetto degli obiettivi fissati sul capitolato d'acquisto. Le Schede della serie n. 25 del secondo livello sono tutte dedicate alle modalità operative con cui datore di lavoro e fornitore dovrebbero confrontarsi.

6.1. CONTROLLO DEL RUMORE ALLA SORGENTE

Da un punto di vista tecnico generale, i principali metodi per il controllo del rumore alla sorgente sono:

- progettare le macchine, gli impianti e le attrezzature, considerando anche gli aspetti acustici e applicando idonei principi;
- sostituire o modificare parti/componenti delle macchine e attrezzature rumorose;
- utilizzare tecniche o attrezzature con differenti principi tecnologici;
- sostituire macchine e attrezzature rumorose con altre più silenziose;
- curare la manutenzione negli aspetti che determinano un incremento dell'emissione sonora (lubrificazione, disallineamenti, sbilanciamenti, parti che si usurano, ...).

Come si può osservare, alcune di queste azioni sono (almeno elettivamente) di pertinenza dei progettisti e dei costruttori, altre competono agli utilizzatori.

In merito alle bonifiche realizzate da questi ultimi occorre ricordare che l'intervento su macchine marcate CE va concordato con il costruttore per evitare, appunto, la decadenza del valore della marcatura.

Tra i metodi prima richiamati si evidenzia che, quando possibile, una tecnologia alternativa a più basso livello di rumore è normalmente la risposta più economica e di miglior risultato acustico. L'analisi di questa modalità di soluzione del problema è purtroppo spesso ignorata.

In questi casi il ruolo del datore di lavoro è fondamentale, in quanto solo nella sua visione d'insieme può essere ricercata la compatibilità della nuova tecnica/tecnologia con le modalità produttive aziendali.

Per alcuni esempi su tecnologie a differente emissione sonora ci si può riferire alla Tabella 6.1.

Analogamente può risultare importante, e spesso più agevole, modificare macchine, attrezzature, componenti al fine di ridurre l'emissione sonora (vedere Tabella 6.2).

Queste tabelle, in parte derivate dalla norma UNI EN ISO 11690-2, debbono essere lette tenendo presente che:

- le indicazioni riportate costituiscono degli esempi e non esauriscono assolutamente le ampie possibilità che lo stato dell'arte mette a disposizione e in continuazione aggiorna;
- le soluzioni indicate debbono essere valutate caso per caso, al fine di stabilirne la fattibilità, poiché i processi, i macchinari e le attrezzature più silenziosi

possono risultare, talvolta, incompatibili con le esigenze produttive (o di altra natura) presenti in una determinata realtà, in altre situazioni inopportuni, per la presenza di altri vincoli ugualmente (o più) importanti;

- in questa valutazione è essenziale considerare anche l'entità del beneficio acustico che deriva da tale scelta o modificazione, poiché in taluni casi l'adozione di un sistema più silenzioso comporta un risultato acustico inadeguato rispetto ai costi e ai problemi che introduce.

Tabella 6.1: Esempi di processi alternativi a minor emissione sonora

Processi più rumorosi	Processi meno rumorosi
taglio con punzoni metallici	taglio laser
ventilatori assiali	ventilatori centrifughi
rivettatura a percussione	rivettatura a compressione
comandi ad aria compressa o con motori a combustione interna	comandi elettrici
taglio ad impatto	taglio distribuito nel tempo
pulizia ad aria compressa	pulizia con sistema aspirante
asciugatura a flusso d'aria	asciugatura a radiazione termica
ossitaglio al plasma	ossitaglio in acqua
saldatura TIG/TAG tradizionale	saldatura TIG/TAG ad arco sommerso
fissaggio con rivetti	fissaggio a pressione
stampaggio con pressa meccanica	stampaggio con pressa idraulica
indurimento a fiamma	indurimento laser
raffreddamento ad aria compressa	raffreddamento a liquido

Tabella 6.2: Esempi di macchine, componenti, attrezzature a minor emissione sonora

Sistemi più rumorosi	Sistemi meno rumorosi
ingranaggi a denti diritti	Ingranaggi a denti elicoidali
ingranaggi in materiale metallico	Ingranaggi in materiale plastico
trasmissione ad ingranaggi	trasmissione a frizione o a cinghie dentate
utensili per pialle a coltelli diritti	utensili a denti inclinati o a profilo elicoidale
seghe convenzionali	lame con asole radiali nella zona periferica
seghe convenzionali	lame costruite con materiali aventi caratteristiche smorzanti
caduta libera di pezzi	caduta guidata controllandone l'altezza e/o lo smorzamento delle zone di contatto
scarichi liberi di gas	scarichi attraverso sistemi che riducano drasticamente la velocità
getti d'aria per pulizia, movimentazione pezzi, raffreddamento	ottimizzazione della velocità del getto e adozione di sistemi per ridurre la turbolenza
cuscinetti a rulli	cuscinetti a strisciamento
ventilatori assiali	Ventilatori centrifughi
sistemi di trasporto con urti relativi fra i pezzi movimentati	sistemi di trasporto che mantengono distanziati i pezzi movimentati

Per contenere all'origine l'emissione sonora, occorre inoltre avere attenzione in particolare a:

- la scelta di soluzioni tecniche che evitino fenomeni acusticamente critici (turbolenze, cavitazione, risonanze, ecc.);
- il controllo dei fenomeni di usura;
- il controllo dell'equilibratura degli organi rotanti;
- l'utilizzazione di idonei materiali in relazione alle specifiche esigenze (di isolamento acustico, di smorzamento, di assorbimento acustico , ...).

6.1.1. Elementi metodologici per la bonifica

Anche se la riduzione alla fonte del rumore generato da processi di lavorazione, macchine, attrezzature e impianti attiene primariamente ad aspetti progettuali, e quindi è associata alla realizzazione di nuove macchine, essa tuttavia costituisce un importante criterio di bonifica acustica di sorgenti sonore esistenti.

Per la migliore comprensione di questo paragrafo introduciamo le seguenti definizioni.

- *Sorgenti primarie di rumore:* elementi meccanici o fluidi che generano rumore in relazione a specifici fenomeni fisici (es.: corpi che si urtano o vibrano, gas o liquidi aventi un flusso irregolare, ...).
- *Sorgenti secondarie di rumore:* elementi meccanici che in sé non costituiscono sorgenti di rumore, ma che possono diventarlo a causa della trasmissione di onde sonore o vibratorie attraverso l'aria, un liquido o una struttura meccanica (es.: tubazioni, carter, ...).

Affinché una bonifica acustica da realizzarsi su di una attrezzatura abbia successo è di fondamentale importanza che il tecnico chiamato a progettare ed eseguire l'intervento si attenga alle seguenti regole generali.

- Discriminare le sorgenti primarie dalle sorgenti secondarie e identificare i percorsi di trasmissione del rumore dalle une alle altre;
- identificare, attraverso misure, calcoli o sperimentazioni, il contributo delle varie sorgenti;
- dare priorità nella bonifica, alle sorgenti che contribuiscono maggiormente alla rumorosità nei luoghi di lavoro circostanti;
- ove una sorgente primaria, attraverso delle vie di trasmissione, determini l'emissione sonora di componenti meccanici passivi, le priorità di intervento vanno identificate secondo lo schema indicato in Figura 6.2.



Figura 6.2: Priorità di intervento nella bonifica acustica

6.1.2. Bonifica delle sorgenti sonore primarie

Data la complessità della materia, di seguito si riportano le tipologie di sorgenti (con relativa esemplificazione) e il relativo rimando alle Schede del secondo livello per l'indicazione sulle modalità di bonifica.

Sorgenti di origine meccanica:

- impulsi (Scheda n. 8) : possono essere associati a lavorazioni specifiche (presse, magli, ...), a movimentazioni di materiali, a cadute di pezzi;
- microimpulsi (Scheda n. 9): sono associati a rotazione di ingranaggi, rotolamento di cuscinetti, interazione di utensili con i pezzi in lavorazione, sistemi di trasporto;
- sbilanciamenti e squilibri di masse rotanti o traslanti (Scheda n. 10);
- attriti (Scheda n. 10);
- fenomeni associati a campi magnetici, presenti in macchine elettriche rotanti (disuniformità del campo magnetico) o fisse (magnetostrizione).

Sorgenti dovute a liquidi e gas in movimento:

- turbolenza (Scheda n. 11): si manifesta come interazione di un flusso liquido o gassoso con un ostacolo (es.: griglia al termine di un condotto), come rapida variazione delle condizioni di efflusso (es.: curva a gomito in un condotto, scarico di un getto di aria compressa), come interazione di un flusso con cavità o fessure (es.: scanalature degli utensili nelle pialle per la lavorazione del legno);
- pulsazioni (Scheda n. 11): in macchine che contengono organi rotanti si generano spesso variazioni periodiche del volume e della pressione del fluido (gassoso o liquido) in cui esse si trovano, cui è associata l'emissione di rumore avente più o meno accentuate componenti tonali;
- impulsi (Scheda n. 11): si manifestano generalmente quando un fluido in pressione viene immesso repentinamente in un ambiente avente una pressione molto minore (es.: apertura di valvole), e si possono determinare con cadenza pari o multipla al numero di giri in talune macchine (es.: pompe ad alta pressione);
- cavitazione (Scheda n. 11): si manifesta in un liquido quando, a causa della caduta della pressione (perlopiù in valvole e pompe), questa scende al di sotto della tensione di vapore, formando delle bolle, che alla successiva ricompressione implodono.

6.1.3. Bonifica delle sorgenti sonore secondarie

Le sorgenti secondarie, dette anche sorgenti “passive”, sono elementi meccanici, componenti di impianti o macchine, messi in grado di dissipare l'energia ricevuta da una sorgente primaria (sorgente “attiva”).

L'intervento di bonifica sulla sorgente secondaria dunque deve essere previsto solo dopo avere ridotto, per quanto possibile, la trasmissione delle onde meccaniche, agendo sulle sorgenti primarie e sulle vie di trasmissione dell'energia.

Il problema è sviluppato in maniera approfondita al secondo livello del Manuale, in particolare nelle Schede n. 12, 13, 14, 15.

Di particolare interesse nell'ambiente industriale sono le sorgenti secondarie costituite da lamiere metalliche, che possono essere presenti come parti della chiusura di una macchina, come schermi con funzioni antinfortunistiche, come pannelli divisorii tra banchi di lavorazione, ecc.

Fra gli aspetti concernenti le sorgenti secondarie richiamiamo i seguenti.

a) Lo smorzamento.

Quando un pannello viene fatto vibrare, il livello di vibrazione di flessione (e quindi il relativo rumore irradiato) diminuiscono nel tempo. La velocità con cui avviene questa diminuzione dipende dalla capacità smorzante del materiale.

I metalli più comuni hanno una bassa capacità smorzante; se si applica su una lamiera metallica un secondo materiale con caratteristiche smorzanti, è possibile ottenere una attenuazione della vibrazione, con conseguente riduzione del livello sonoro irradiato e della sua permanenza nell'ambiente.

L'efficienza di smorzamento è maggiore realizzando un *sandwich* tra materiali rigidi all'esterno e viscosi all'interno.

Fra i materiali smorzanti di maggior impiego troviamo i cosiddetti "antirombo" e i pannelli magnetici che realizzano una sorta di "struttura *sandwich*" sulla lamiera in lavorazione; non appena ultimate le lavorazioni, la rimozione dei pannelli magnetici ripristina la situazione della lamiera iniziale.

b) La risonanza strutturale.

Un'altra modalità di contenimento dell'emissione sonora si basa sulle risonanze proprie delle strutture.

Ad esempio le superfici vibranti estese hanno la caratteristica di vibrare a bassa frequenza; in questi casi è spesso utile cercare di trasferire le risonanze verso le alte frequenze (una tipica modalità è costituita dall'adozione di nervature), dove è più facile ottenerne lo smorzamento.

Anche le condutture possono essere vie di trasmissione del rumore e far sì che le superfici su cui sono fissate diventino sorgenti secondarie.

Un caso tipico è quello del rumore prodotto o propagato da un fluido in una condotta: se la condotta è fissata rigidamente ad una struttura, può eccitare un'area di dimensioni importanti e quindi generare una elevata potenza sonora. Ciò può essere limitato ad esempio mediante con sistemi di sospensione flessibili.

6.1.4. Esame di un caso

Nella centralina idraulica rappresentata in Figura 6.3 si identificano due sorgenti primarie: la pompa e il motore elettrico.

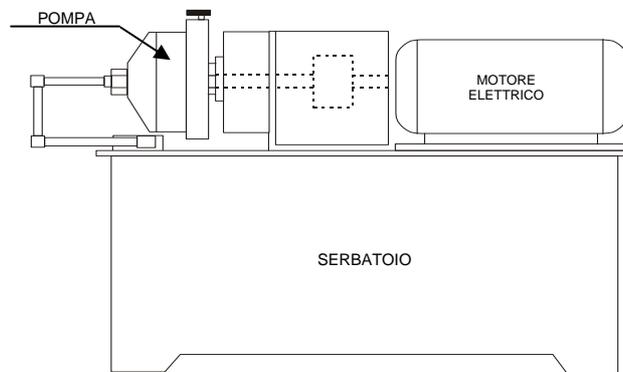
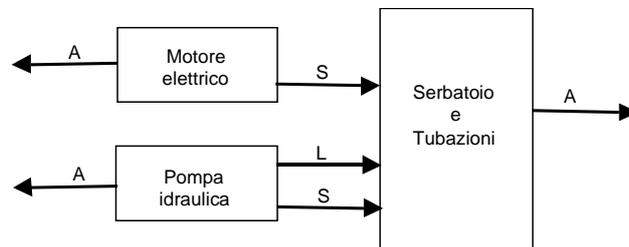


Figura 6.3: Sorgenti di rumore di una centralina idraulica

Il rumore e le vibrazioni generati da tali sorgenti si trasmettono particolarmente alle tubazioni e al serbatoio, secondo lo schema di Figura 6.4.



LEGENDA

-  Rumore emesso per via aerea
-  Rumore trasmesso per via liquida
-  Rumore trasmesso per via strutturale

Figura 6.4: Vie di trasmissione del rumore

Nella Tabella 6.3 sono indicati i risultati delle misure del livello di potenza sonora emesso L_w all'avanzare degli interventi di bonifica acustica.

Tabella 6.3: Risultato degli interventi effettuati sulla centralina

Intervento effettuato	L_{WA} dB(A)	Osservazioni
Macchina nella configurazione originaria	90	
Motore e pompa vengono disaccoppiati meccanicamente rispetto al serbatoio	86	È molto consistente la trasmissione per via strutturale fra le sorgenti primarie e il serbatoio
Il serbatoio viene allontanato dalle sorgenti primarie	86	Il serbatoio, eliminata la trasmissione per via solida, non è più una sorgente rilevante
Viene eliminato il ventilatore di raffreddamento del motore, sostituendolo con un sistema di raffreddamento ad acqua	85	Il contributo del ventilatore, per quanto non trascurabile, è di entità inferiore rispetto all'insieme delle altre sorgenti rimanenti
Viene incapsulato il motore	80	L'emissione sonora per via aerea del motore è molto importante

Considerazioni conclusive:

- il serbatoio (pur essendo un componente passivo: "sorgente secondaria") è la principale sorgente sonora, a causa della trasmissione strutturale delle vibrazioni indotte dalla pompa e dal motore;

- il motore, molto più che il relativo ventilatore, costituisce la sorgente primaria di rumore più significativa.

6.2. INTERVENTI SULLA TRASMISSIONE E SULLA PROPAGAZIONE DEL RUMORE

Attenuare l'emissione sonora delle sorgenti è indubbiamente il tipo d'intervento più idoneo ed appropriato per ridurre il rischio da rumore negli ambienti di lavoro, ma non sempre il ricorso a tale soluzione è possibile e praticabile, e comunque di norma è operazione gestita a livello progettuale dai costruttori.

Gli interventi sulla trasmissione e propagazione del rumore sono invece una soluzione più facilmente perseguibile da parte degli utilizzatori.

Uno dei modi più utilizzati per classificare tali tipi di bonifiche è quello basato sul mezzo di propagazione dell'energia acustica.

Salvo alcune situazioni più semplici, il rumore che si genera a seguito di un fenomeno fisico, si irradia nell'ambiente seguendo un percorso più o meno articolato, ad esempio:

- la turbolenza generata dallo sbocco di un getto di aria compressa genera un rumore che si propaga direttamente nell'ambiente in cui esso fa sentire i suoi effetti;
- viceversa la turbolenza di un flusso d'aria intercettato da una valvola:
 - si irradia attraverso la parete della tubazione (trasmissione per via aerea);
 - determina una vibrazione della tubazione che si trasmette lungo la stessa, talvolta con debole attenuazione, ed irradiando quindi energia sonora anche a grande distanza (trasmissione per via solida);
 - si propaga all'interno del canale determinando un'emissione sonora allo sbocco (o agli sbocchi) della tubazione.

Le possibili tecniche di controllo sulla trasmissione del rumore sono schematizzate nella Figura 6.5.



Figura 6.5: Tecniche di controllo della trasmissione sonora

Un secondo criterio per classificare questi interventi di bonifica è invece basato sulla modalità di propagazione dell'energia acustica che può essere diretta o per riflessione.

Negli interventi sulla propagazione diretta si opera interponendo tra la sorgente sonora disturbante e la postazione di lavoro un ostacolo fisico in grado di deviare, attenuare o modificare, la propagazione del rumore per via aerea.

Per comodità di esposizione, gli interventi sulla propagazione per via diretta possono essere schematicamente suddivisi in:

- Cabine acustiche (Coperture integrali);
- Cappottature acustiche (Coperture parziali);
- Schermi acustici o barriere;
- Silenziatori;
- Interventi sulla propagazione per via solida;
- Interventi di controllo attivo;
- Cabine per operatore (cabine di riposo acustico).

Viceversa gli interventi sulla propagazione per riflessione consistono essenzialmente nei trattamenti fonoassorbenti ambientali.

Nel caso di macchine e/o impianti già esistenti, gli interventi sulla propagazione per via aerea, tradizionalmente, sono i più conosciuti ed adottati nel campo della bonifica acustica. Le cause di questa preferenza sono svariate, ma le principali sono:

- la solitamente elevata efficacia acustica;
- la maturità tecnologica dei materiali e dei dispositivi utilizzabili;
- la contenuta perturbazione dell'attività produttiva in questione.

6.2.1. Cabine acustiche (Coperture integrali)

Tra i tipi d'intervento diretti a ridurre la propagazione per via diretta del rumore, il ricorso alle coperture integrali è quello che, solitamente, consente di ottenere i risultati migliori in termini di riduzione del rischio di danno sui posti di lavoro.

Una copertura integrale è infatti una vera e propria cabina fonoisolante che incapsula interamente la sorgente di rumore, facendo sì che solo una quantità limitata di energia sonora riesca a superarne le pareti e il soffitto e a diffondersi nell'ambiente circostante. Perché ciò avvenga occorre però rispettare almeno tre requisiti fondamentali:

- le pareti e il soffitto della cabina devono assicurare un adeguato potere fonoisolante, anche tenendo conto degli inevitabili punti deboli, ovvero: finestrini d'osservazione, portelli d'accesso dei pezzi in lavorazione, condutture per il ricambio d'aria, ecc.;
- tutte le superfici interne della cabina devono avere un elevato coefficiente d'assorbimento acustico;

- tra la cabina e la macchina deve essere evitato ogni collegamento rigido che, consentendo la trasmissione delle eventuali vibrazioni prodotte dalla macchina, potrebbe trasformare le pareti della cabina in superfici radianti.

Per realizzare una cabina acustica non esiste ovviamente una soluzione unica. Caso per caso, a seconda del livello sonoro e della distribuzione spettrale del rumore generato dalla sorgente in questione e del livello sonoro che si vuole ottenere sul posto di lavoro interessato, occorrerà progettare la struttura più appropriata sia sotto il profilo del potere fonoisolante che delle caratteristiche di funzionalità più complessiva (accessi, controlli, ...). Comunque, a titolo d'esempio, una tipica struttura di parete è costituita da tre componenti fondamentali:

- uno strato esterno fonoisolante, rigido e pesante, trattato internamente con un materiale antirombo;
- uno strato intermedio fonoassorbente di materiale poroso o fibroso;
- uno strato interno, rigido ma forato, solitamente più leggero di quello esterno.

Detto tipo di struttura assolve al duplice compito di assicurare un adeguato potere fonoisolante verso l'esterno e un buon assorbimento acustico verso l'interno, quest'ultimo necessario per evitare che dentro la cabina si creino negativi fenomeni di risonanza.

Per ridurre al minimo il passaggio delle vibrazioni dalla sorgente alla cabina, gli accorgimenti più adottati sono:

- ancoraggio della macchina a pavimento su supporti elastici;
- nel caso di tubi e condotti rigidi che attraversano le pareti della cabina acustica:
 - a) adozione, quando possibile, di raccordi flessibili;
 - b) rivestimento del tratto di tubo o di condotto passante attraverso la parete con materiale antivibrante.

A causa della loro configurazione, le coperture integrali tendono ad accumulare al loro interno calore e talvolta polveri o gas più o meno pericolosi, per cui gran parte di esse devono essere dotate di sistemi di aspirazione e/o di raffreddamento. Anche questi impianti vanno adeguatamente progettati sotto il profilo acustico affinché non si trasformino o in un punto debole nell'isolamento della cabina, o in una sorgente aggiuntiva di rumore ambientale.

Se ben realizzate le coperture integrali sono in grado di assicurare livelli di attenuazione acustica solitamente compresi tra 10 e 30 dB(A) (vedi Figura 6.6), in grado quindi di risolvere una parte considerevole dei problemi di bonifica acustica esistenti in campo industriale.

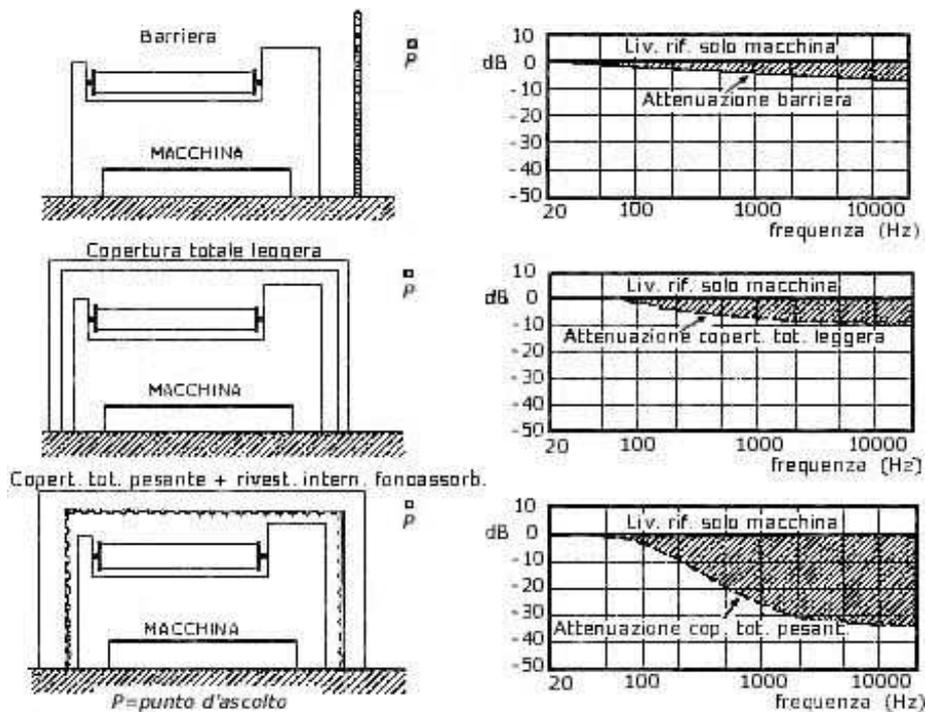


Figura 6.6: Esempi di riduzione della rumorosità trasmessa per via aerea da una macchina con l'impiego di una barriera, di una copertura integrale leggera e di una copertura pesante con rivestimento fonoassorbente interno. (Adattato da Singal, 2000)

Un tipo speciale di copertura integrale sono i cosiddetti rivestimenti o guaine isolanti, usati per avvolgere particolari componenti impiantistici quali tubi e condotti. L'intervento consiste nell'applicazione a diretto contatto con la superficie esterna radiante di uno o più strati di un materiale fonoassorbente, a sua volta ricoperto da un lamierino metallico o da un foglio di materiale plastico ad alta densità.

Tali interventi, che se ben eseguiti possono in generale assicurare buoni livelli di attenuazione acustica, sono assai meno complessi delle coperture rigide tradizionali, ma il loro impiego è comprensibilmente limitato a componenti particolari, le cui superfici non richiedono interventi di manutenzione periodici (vedi [Scheda n.17](#)).

6.2.2. Cappottature acustiche (Coperture parziali)

Nei casi in cui non sia possibile impiegare coperture integrali (di solito perché è molto frequente l'intervento dell'operatore sulla macchina) una possibile soluzione alternativa è il ricorso alle cosiddette coperture parziali.

Le coperture parziali possono riguardare sia parti importanti dell'intera macchina che parti limitate di essa, come, ad esempio il motore elettrico o la scatola ingranaggi.

In generale, questo tipo d'intervento assicura sul posto di lavoro interessato un'attenuazione inferiore a quella offerta dalle cabine acustiche.

Comunque in linea di massima si può dire che con le coperture parziali è possibile ottenere valori d'attenuazione compresi tra 5÷15 dB(A) (vedi [Scheda n.17](#)).

6.2.3. Schermi o barriere acustiche

Per schermo acustico o barriera acustica s'intende una superficie rigida, solitamente piana, di dimensioni variabili e appoggiata per terra, sistemata in modo da interrompere il percorso diretto del rumore tra il punto di emissione sonora vero e proprio ed il lavoratore esposto. L'efficacia acustica di tale interposizione è in gran parte limitata dalla diffrazione sonora che avviene ai bordi e alla sommità della barriera stessa, che tuttavia è in grado di creare, in corrispondenza della postazione di lavoro del lavoratore esposto, una zona d'ombra acustica in molti casi sufficiente ad ottenere una riduzione significativa del rumore. Operativamente, è opportuno realizzare schermi che garantiscono un angolo di almeno 30° tra la direzione sorgente-schermo e schermo-operatore (vedi Figura 6.7).

Gli schermi acustici sono solitamente impiegati sia negli stabilimenti industriali che nei grandi uffici organizzati a cosiddetto spazio aperto (*open space*).

Nel primo caso l'impiego più diffuso è quando la rumorosità prodotta da macchine/impianti/attività interessa lavoratori ad essa prossimi ma impegnati in attività non rumorose, e non è possibile separare queste due zone mediante un divisorio completo, da pavimento a soffitto e/o da parete a parete, a causa, ad esempio della presenza di un carro ponte, della necessità di permettere il passaggio di persone, veicoli, materiali, ecc. Spesso lo schermo è utilizzato anche per proteggere reciprocamente gli addetti di due o più (come nel caso di una fila di postazioni di lavoro, ad es.: addossate ad un muro) attività rumorose contigue e non separabili. Ci sono infine casi in cui gli schermi vengono realizzati in maniera dedicata per specifiche postazioni di lavoro.

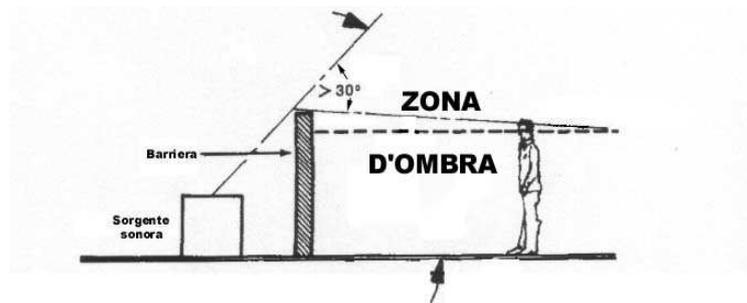


Figura 6.7: Come criterio generale, l'effetto d'attenuazione di una barriera sarà tanto maggiore, quanto maggiore di 30° sarà l'angolo relativo al punto d'ascolto situato nella zona d'ombra

Il ricorso agli schermi acustici può costituire una valida soluzione a patto che la sua adozione si accompagni al rispetto di almeno tre condizioni:

- a) la sorgente di rumore e il posto, o i posti, di lavoro da proteggere devono essere relativamente prossimi tra loro;
- b) il lato minore della barriera deve avere una dimensione pari ad almeno tre volte la lunghezza d'onda della componente in frequenza che maggiormente contribuisce a determinare il livello del rumore da schermare;
- c) l'uso di una barriera è efficace solo in condizioni ambientali di campo sonoro prossime a quelle di campo sonoro libero. Condizioni che in uno spazio chiuso si realizzano quando le pareti e il soffitto prossimi alla macchina sono rivestiti con materiali fonoassorbenti per ridurre al minimo le riflessioni delle onde sonore incidenti.

La struttura di una barriera industriale o di schermi per ufficio non richiede una progettazione particolarmente complessa. Una normale superficie rigida, costituita da pannelli monolitici o stratificati in metallo, legno o plastica e rivestiti su entrambi i lati con materiale fonoassorbente, è solitamente in grado di assicurare un potere fonoisolante e un assorbimento acustico adeguati allo scopo. Nei casi poi che ci siano particolari esigenze di visibilità e/o di illuminazione, è possibile inserire nella barriera, o alla sua sommità, lastre in policarbonato o in vetro di adeguato spessore (vedi Scheda n.19).

Comunque in linea di massima si può dire che con gli schermi è possibile ottenere valori d'attenuazione compresi tra 3÷10 dB(A).

6.2.4. Silenziatori

I silenziatori possono essere schematicamente definiti come dispositivi diretti ad attenuare la rumorosità trasmessa per via aerea da sorgenti di rumore di origine aerodinamica.

Sorgenti di questo genere, sotto forma di sistemi di movimentazione dell'aria (ventilatori, soffianti, ecc.), di scarichi pneumatici, di sistemi di raffreddamento o movimentazione di pezzi mediante aria soffiata, di sistemi di scarico gas ed altri simili, si trovano in molti ambienti di lavoro. Anche in questi casi la soluzione migliore di bonifica è un intervento diretto sulla sorgente per ridurre l'emissione sonora o l'adozione di macchine o dispositivi a minore emissione acustica, ma quando ciò non è possibile il ricorso ai silenziatori può attenuare sensibilmente la rumorosità da essi diffusa nell'ambiente.

I silenziatori possono essere raggruppati in due categorie principali:

- silenziatori dissipativi;
- silenziatori reattivi.

Il tipo più elementare di silenziatore dissipativo è quello che si realizza rivestendo le pareti interne del condotto con un materiale fonoassorbente in grado di attenuare il rumore prodotto dal ventilatore lontano, sfruttando il principio dell'assorbimento acustico. Tanto più lungo sarà il tratto di condotto rivestito, tanto maggiore sarà la riduzione del rumore.

Un'alternativa più vantaggiosa è il ricorso a silenziatori di tipo dissipativo da inserire nel condotto quanto più vicino possibile al punto di generazione del rumore. Si tratta dei cosiddetti silenziatori "a setti fonoassorbenti paralleli", costituiti da un involucro esterno di contenimento (rettangolare o circolare) all'interno del quale vengono inseriti dei pannelli di materiale fonoassorbente, affiancati ad una certa distanza l'uno dall'altro, in modo da formare una serie di passaggi rettangolari (vedi Figura 6.8) o circolari.

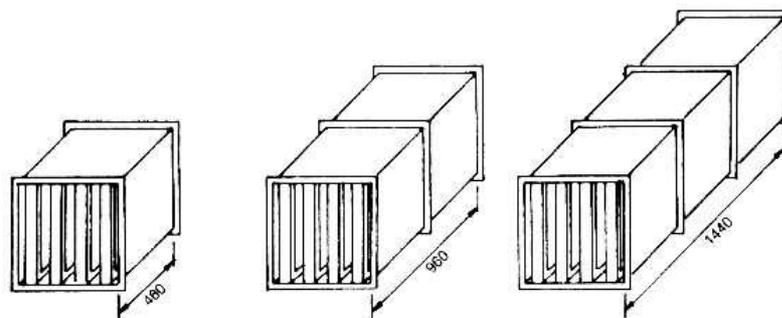


Figura 6.8: Moduli di silenziatore dissipativo a setti fonoassorbenti paralleli

In linea generale, le prestazioni di un silenziatore a setti sono determinate dalla larghezza e dalla lunghezza di ogni singolo passaggio d'aria: tanto più stretto e lungo è il passaggio, tanto più elevato è l'assorbimento acustico radente e quindi l'attenuazione del suono che lo attraversa. Ne consegue che per ottenere elevate prestazioni acustiche e non subire nel contempo significative perdite di carico, che

potrebbero essere determinate dalla riduzione della sezione utile per il passaggio dell'aria, le dimensioni del silenziatore ad inserti dovranno essere maggiori di quelle del condotto originale. A titolo puramente informativo si può dire che nei silenziatori a setti il valore di attenuazione raggiungibile in corrispondenza della frequenza di massimo assorbimento può essere compreso tra i 10 dB e i 40 dB per metro lineare di lunghezza.

Nel caso di rumore emesso da scarichi di aria compressa (tipicamente aria esausta scaricata da valvole pneumatiche), oppure da getti d'aria in pressione (utilizzati per pulizia e movimentazione di pezzi o per raffreddamento localizzato di materiali o parti di macchine), possono essere utilizzati particolari silenziatori di disegno molto più semplice e di dimensioni molto più contenute. In questo caso compito del silenziatore è principalmente quello di "regolarizzare" il getto di scarico dell'aria riducendone così la turbolenza a cui è associata la generazione di rumore in prossimità della sezione di uscita all'atmosfera.

I silenziatori di tipo reattivo si basano sul principio dell'assorbimento acustico per risonanza, o per riflessione, del rumore proveniente dalla sorgente. Ciò avviene ad esempio attraverso un condotto nel quale vi siano una serie di camere ad espansione la cui geometria sia tale da riflettere verso il punto d'origine, o da assorbire per risonanza, parte dell'energia sonora che si propaga lungo di esso. L'esempio più noto di silenziatore reattivo è la marmitta di scarico dei veicoli stradali, ma dispositivi analoghi vengono applicati sugli scarichi delle turbine e di quegli impianti che presentano gas in uscita a velocità e temperature elevate.

Le prestazioni acustiche di questo tipo di silenziatori sono fortemente dipendenti dalle caratteristiche del rumore in ingresso e da quelle termiche e dinamiche dei gas che li attraversano. La gamma di attenuazioni ottenibili è comunque molto ampia, fino a valori dell'ordine di 30 dB che possono divenire 50 ÷ 60 dB nei silenziatori di tipo misto richiamati a seguito.

Per situazioni particolarmente severe in cui sono richieste attenuazioni elevate in un largo spettro di frequenza, possono essere realizzati silenziatori di tipo misto, costituiti da una sezione reattiva e da una dissipativa, complementari l'una all'altra in termini di attenuazione acustica (vedi Schede n.22 e 23).

6.2.5. Interventi sulla propagazione per via solida

I collegamenti che la macchina ha attraverso il basamento e gli ancoraggi di stabilizzazione con le strutture edilizie dell'ambiente in cui è collocata, essendo generalmente costituiti da parti rigide, possono costituire una via di propagazione delle vibrazioni associate al funzionamento della macchina. Ciò può avere un duplice effetto negativo: in primo luogo determinare l'insorgere di danni o di disturbi nei lavoratori esposti; in secondo luogo suscitare, in ambienti anche lontani dalla sorgente, l'irraggiamento dell'energia sonora da superfici estese quali pareti, pavimenti, rivestimenti di macchine.

Gli interventi più praticati consistono nell'interposizione, tra la sorgente e le strutture da isolare, di appositi dispositivi in grado di attenuare il flusso di energia trasferita. Nella Tabella 6.4 sono compendiate le caratteristiche essenziali di alcuni dispositivi maggiormente impiegati in campo industriale.

Tabella 6.4. Principali dispositivi antivibranti impiegati in campo industriale (Spagnolo, 2001)

<i>Tipo di dispositivo</i>	<i>Campo di frequenza efficace</i>	<i>Frequenze Ottimali</i>	<i>Smorzamento</i>	<i>Limiti</i>	<i>Osservazioni</i>
Molle metalliche a compressione elicoidale	Teoricamente per tutte le frequenze	Basse frequenze (con elevata deflessione statica)	Molto debole (0,1% dello smorzamento critico)	Trasmissione di alte frequenze	Molto diffuse e facili da progettare
Molle metalliche a balestra	Basse frequenze	Basse frequenze	Mediamente buono	--	Adattabili per applicazioni particolari
Gomma	Dipende dalla composizione	Alte frequenze	Aumenta con la durezza della gomma	Limitate capacità di carico	--
Sughero	Dipende dalla densità	Alte frequenze	Basso (6% dello smorzamento critico)	Limiti pratici al conseguimento delle frequenze propria minima	Fortemente comprimibile senza espansione laterale
Feltri	Tutto il campo delle frequenze acustiche	Sopra 40 Hz	Elevato	Limiti pratici al conseguimento delle frequenze propria minima	
Gomma piuma	--	Basse frequenze	Discreto	Bassa rigidità con elevata compressibilità	Usata sotto forma di lastre o cuscinetti sagomati
Cuscini d'aria	Frequenza controllata dal volume d'aria	Basse frequenze	--	--	--
Sistemi a molla metallica e gomma	Ampio campo di frequenza	Dipende dal progetto	Basso	--	Lo smorzamento può essere migliorato trattando la molla
Combinazioni gomma-sughero	Alte frequenze	Alte frequenze	--	--	Proprietà intermedie tra gomma e sughero
Lastre di gomma a superficie rigata o a rilievi	--	Frequenze medio-basse	Dipende dalla durezza della gomma	--	Deflessione statica a quella della gomma compatta

Altro accorgimento comunemente utilizzato consiste nel collocare la macchina su di un basamento antivibrante opportunamente dimensionato ed isolato dal resto del pavimento.

Negli interventi sulla propagazione per via solida è essenziale verificare, preliminarmente, che l'applicazione dei dispositivi elastici di smorzamento non introduca alcun rischio di sbilanciamento o di oscillazione incontrollata dell'intera macchina. Inoltre, come già accennato, il montaggio di supporti antivibranti sul basamento o sulla macchina può essere in parte, o totalmente, vanificato se si trascura di eliminare ogni altra connessione rigida tra la macchina e le parti strutturali dell'ambiente in cui è sistemata. Occorrerà quindi prestare la massima attenzione al fatto che ogni eventuale collegamento elettrico, idraulico, pneumatico avvenga attraverso condutture interamente flessibili o, quando ciò non fosse possibile, sarà necessario introdurre apposite sezioni e sospensioni elastiche in grado di attenuare la propagazione delle vibrazioni (Vedi Schede n.4 e 13).

6.2.6. Interventi di controllo attivo del rumore e delle vibrazioni

Il controllo attivo del rumore e delle vibrazioni è una tecnologia recente basata sulla considerazione che la somma di segnali uguali in ampiezza e frequenza, ma in controfase, è nulla (fenomeno di interferenza distruttiva). I progressi registrati negli ultimi anni nel campo dell'elettronica e dell'analisi del segnale hanno consentito, come meglio illustrato nella Scheda n.16, un sempre più vasto sviluppo applicativo di questo principio, le cui potenzialità non sono ancora interamente dispiegate.

L'interesse attualmente rivolto alle tecniche di riduzione attiva del rumore è motivato dal fatto che, mentre gli interventi "passivi" presentano le migliori prestazioni nei campi di frequenza medio alti e comportano spessori e masse sempre crescenti con il diminuire della frequenza da controllare, i dispositivi di riduzione attiva del rumore possono – quando applicabili - fornire risultati soddisfacenti, senza tali inconvenienti, proprio nel campo delle basse frequenze, inferiori cioè a 300÷400 Hz. Va quindi sottolineato che le due tecniche, quella "passiva" e quella "attiva", non sono incompatibili ed alternative tra loro; non è raro infatti il ricorso ad entrambe per la gestione ottimale di fenomeni sonori a largo spettro (vedi Scheda n.16).

Allo stato di evoluzione attuale, le tecniche di controllo attivo del suono presentano le seguenti principali limitazioni:

- il campo sonoro da gestire deve presentare caratteristiche spaziali non complesse: tipico esempio è la situazione di propagazione del suono in un condotto;
- l'intervento presenta buone efficacia se la lunghezza d'onda del suono è elevata rispetto alle dimensioni del campo sonoro da gestire: pertanto risultano normalmente efficaci gli interventi su frequenze di poche centinaia di Hz; solo quando l'obiettivo è la riduzione in una sola ben definita direzione possono essere affrontate anche frequenze relativamente più alte.

Significative riduzioni del rumore (10-20 dB a frequenze inferiori ai 500 Hz) possono essere ottenute in spazi chiusi o limitati essenzialmente in relazione a

fenomeni ripetitivi. Il rumore emesso all'uscita di scarichi e condotti, per esempio in impianti di ventilazione, può essere ridotto con ottimi risultati.

6.2.7. Cabine per operatori

Nel caso di impianti rumorosi di grandi dimensioni, quali turbine, alternatori, caldaie, linee di laminazione, macchine tipografiche, linee di fabbricazione della carta, impianti ceramici, di macinazione ecc., un'alternativa possibile è la creazione di un ambiente acusticamente protetto, all'interno del quale operino i lavoratori. Ciò vale soprattutto in quelle situazioni in cui le mansioni da svolgere sono più di sorveglianza e di controllo, attraverso la maggiore centralizzazione possibile dei comandi, che d'intervento diretto sulla macchina. In quest'ultimo caso è importante che uscendo dalla cabina l'operatore sia sempre dotato di DPI uditivi.

L'efficienza di una cabina per operatore (normalmente 20-30 dB(A)) è direttamente correlata con il potere fonoisolante assicurato dalle pareti laterali, dal soffitto, dal pavimento e dall'isolamento di quest'ultimo dalle vibrazioni trasmesse per via strutturale. Valgono in questo caso le stesse considerazioni generali espresse per le coperture integrali delle macchine, ma con l'avvertenza che rispetto ad esse molto più critica ed estesa è la superficie costituita da porte d'accesso, finestre, condotti per il ricambio o il condizionamento dell'aria (deve infatti essere adeguatamente garantita aria di rinnovo ed il controllo dei parametri termoigrometrici; inoltre l'interno della cabina va mantenuto in sovrappressione), impianti per l'illuminazione interna, dimensioni minime rispetto al numero degli addetti contemporaneamente presenti, ecc. Particolari questi che esigono molta attenzione, sia in sede di progettazione che di montaggio, per evitare punti acusticamente deboli che possono pregiudicare l'isolamento acustico complessivo.

L'efficacia di una cabina di riposo acustico è invece determinata essenzialmente dalla percentuale di tempo che gli operatori vi possono trascorrere all'interno rispetto al tempo di esposizione giornaliero al rumore. Infatti, quando la percentuale di tempo fuori dalla cabina sia superiore al 35-40 %, la riduzione del L_{EX} si riduce a 4-5 dB(A). Anche in tale situazione, comunque, l'intervento si giustifica se non altro per la possibilità di interrompere l'uso di DPI.

Affinché la cabina operatore abbia un'efficienza acustica ottimale occorre minimizzare il tempo che l'operatore trascorre all'esterno. La massima attenzione progettuale va dunque finalizzata a:

- a) trasferire i comandi, gli strumenti ed i segnali di controllo della/e macchina/e all'interno della cabina;
- b) garantire un buon comfort climatico e di rinnovo dell'aria;
- c) realizzazione di sistemi di ispezione visiva tramite telecamere a circuiti chiuso.

Non va infine trascurato che spesso una cabina operatore, specialmente se individuale e di piccole dimensioni, può essere causa di disagio per il lavoratore in essa confinato, e ciò soprattutto per le limitazioni che essa impone nei rapporti interpersonali di lavoro e per il senso d'isolamento che deriva da un prolungato periodo di lavoro al suo interno. Vanno comunque evitate cabine operatore di

dimensioni inferiori a 10 m³ e 2 m² per addetto ed altezza inferiore a 2,40 m (vedi Scheda n.18).

6.2.8. Trattamenti fonoassorbenti ambientali

La propagazione del suono in un ambiente chiuso oltre che dalla trasmissione per via diretta è influenzata dalle caratteristiche di assorbimento acustico delle pareti, del pavimento e del soffitto. Tanto minore sarà tale assorbimento, tanto maggiore sarà la parte di energia sonora incidente che verrà riflessa, e quindi tanto maggiore sarà il contributo con cui questa parte d'energia concorrerà alla formazione del livello di rumore presente sui vari posti di lavoro. Da qui il ricorso, molto diffuso negli ambienti industriali rumorosi, al rivestimento delle pareti e dei soffitti con materiali o strutture fonoassorbenti piane, oppure, solo nel caso dei soffitti, con file di elementi fonoassorbenti sospesi (*baffles*), al fine di ridurre il fenomeno di riflessione nell'ambiente, delle onde sonore incidenti.

Le caratteristiche e le prestazioni acustiche di questi rivestimenti, la cui tipologia è estremamente variegata, sono esposte nella Scheda n.20, mentre per le considerazioni generali sull'efficacia e l'opportunità dell'adozione di questo tipo d'intervento di bonifica si rimanda alla parte dedicata alla progettazione acustica dei luoghi di lavoro ed in particolare al punto 3.2.6.

6.3. MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ

Una regolare manutenzione è una delle modalità più efficaci per non incrementare le emissioni di rumore. Si consideri anche che, poiché la generazione primaria di rumore avviene da vibrazioni, queste determinano oltretutto problemi per la vita operativa (durata) delle macchine, per la qualità del prodotto e per la sicurezza del lavoro più in generale.

La risposta corretta a questi problemi è una manutenzione di tipo preventivo. Se le operazioni di manutenzione vengono eseguite a rottura (aspettando cioè il guasto o il blocco per intervenire), si ha una maggiore frequenza di microguasti e disfunzioni. Queste situazioni, di per sé negative sotto l'aspetto produttivo, in determinate circostanze causano poi vere e proprie "emergenze" nelle quali, per la necessità di operare in tempi ristretti, gli addetti risultano particolarmente a rischio.

Il programmare periodici controlli volti alla riduzione dei giochi meccanici e degli sbilanciamenti, alla sostituzione dei cuscinetti e delle parti che si usurano, alla sostituzione o al ripristino dei silenziatori sugli scarichi di aria compressa, alla lubrificazione, sono invece alcuni tra i possibili esempi degli interventi manutentivi più efficaci a contenere il rumore. Il verificare e rinserrare gli ancoraggi dei carter e delle protezioni sulle macchine permette poi di ridurre il rischio infortunistico.

Anche gli interventi di bonifica acustica abbisognano di manutenzione. Spesso, l'intervento di bonifica acustica effettuato sulla sorgente di emissione del rumore si traduce nell'aggiunta di un'appendice ad un elemento già esistente. Questo elemento per il fatto di essere posto in opera in un secondo momento è soggetto a sollecitazioni supplementari che lo possono far divenire una sorgente addizionale di rumore o, anche, un centro di pericolo.

In presenza di insonorizzazioni di tipo passivo (cabine, schermi...) occorrerà verificarne l'integrità ai fini della tenuta acustica, particolarmente nei punti di passaggio o in quelli esposti ad impatti dovuti al transito del materiale in lavorazione, di veicoli, di addetti.

La manutenzione può quindi assumere il significato di una verifica dei problemi di funzionalità e, se del caso, di miglioramento delle bonifiche acustiche presenti. Essa può però segnalarci anche eventuali comportamenti scorretti (disattenzioni, manomissioni...) dei lavoratori o carenze di sorveglianza da parte dei quadri intermedi.

La manutenzione deve poi orientare le scelte realizzative delle bonifiche acustiche. Così, in generale, nella scelta del tipo di intervento o bonifica, gli operatori della manutenzione devono essere consultati, congiuntamente alla funzione produzione, per individuare i rispettivi interessi ed esigenze sulla macchina o impianto.

Affinché la manutenzione possa essere eseguita agevolmente, le cabine, le cappottature o schermature devono risultare, tenendo conto dei limiti imposti dal *layout*, ampie, non strettamente avvolgenti il perimetro, contorno o bordo. In molti casi l'operatore deve poter lavorare all'interno della cabina (a macchina ferma) per la revisione o sostituzione di una attrezzatura, per una semplice messa a punto.

L'accesso deve avvenire su più lati, in funzione dell'ubicazione dei differenti organi meccanici; importante è che comunque i portelli siano di facile apertura (possibilmente incernierati per evitarne l'asportazione) nonostante le dimensioni e il peso, e che siano realizzati nel rispetto delle norme antinfortunistiche.

Non esistono poi solamente le manutenzioni correnti, ma anche quelle straordinarie e in questi casi, ad esempio, occorrerà rimuovere più o meno completamente la bonifica acustica. La cosa si dimostrerà gestibile, ad esempio, in presenza di strutture portanti metalliche imbullonate e non saldate in opera, composte da pannelli modulari e numerati.

In queste situazioni è particolarmente importante la struttura della soluzione di bonifica: sia che si tratti di una cabina che di un semplice schermo, la struttura dovrà essere in ogni caso robusta e con il materiale fonoassorbente contenuto e protetto da reticolo metallico (solitamente lamierino forato). Solo in questo caso, smontaggio dopo smontaggio, manutenzione dopo manutenzione, si potranno conservare le strutture in buono stato.

Riassumendo, una bonifica acustica deve rispondere a connotazioni di efficacia, semplicità, praticità e robustezza, ma anche interferire al minimo nei confronti del processo produttivo e manutentivo.

7. COLLAUDO ACUSTICO IN OPERA DEGLI INTERVENTI DI CONTROLLO DEL RUMORE

Il problema del collaudo acustico degli interventi di bonifica effettuati direttamente su macchine ed attrezzature o sui percorsi di propagazione del rumore da esse prodotto, richiede anch'esso per la sua soluzione l'esistenza di un corretto rapporto tra Committente e Fornitore. Tale questione richiede la preparazione e l'inserimento di uno specifico capitolato di collaudo, formulato in modo competente ed accurato, all'interno del più generale capitolato d'appalto che regola la fornitura dell'intervento.

Anche il problema della verifica di efficacia di un intervento di bonifica acustica effettuato sulla linea di propagazione del rumore o sull'ambiente di lavoro in generale (inteso come involucro di contenimento), si pone normalmente nell'ambito di un rapporto corretto e trasparente tra Committente e Fornitore.

La verifica di efficacia acustica (o "collaudo acustico") è in genere costituita da una serie di misurazioni fonometriche atte a stabilire *in opera* se il manufatto, l'intervento, o il dispositivo applicato, rispetta o meno l'impegno ("garanzia acustica") che il Fornitore ha assunto in sede contrattuale con il Committente. Questa verifica viene normalmente richiesta al fornitore dell'opera. Più raramente, e soprattutto nel caso di appalti pubblici, viene demandata a tecnici competenti terzi. È di importanza primaria che la metodologia di collaudo adottata per le verifiche sia chiaramente concordata tra Committente e Fornitore in sede di contratto di acquisto, e questo ovviamente per evitare contestazioni o contenziosi *post operam*. A questo proposito appare logico, al fine di garantire la migliore tutela degli interessi di entrambe le parti, fare riferimento a procedure di collaudo coerenti con le normative tecniche disponibili UNI e/o EN e ISO.

Per quanto riguarda le macchine, la metodologia principale e più diffusa si basa sulla misura, in corrispondenza del posto di lavoro considerato, del livello sonoro equivalente, prima e dopo, l'intervento di bonifica in questione. L'efficacia di tale criterio di collaudo presuppone però il rigoroso rispetto di almeno due condizioni fondamentali:

1. tutte le misure devono avvenire in condizioni di funzionamento della macchina prestabilite ed esattamente uguali; anche le condizioni ambientali al contorno (temperatura, umidità percentuale, vicinanza di grandi oggetti solidi con superfici riflettenti) devono essere quanto più possibile simili;
2. tutte le misure devono essere effettuate in modo da evitare ogni possibile influenza del rumore di fondo ambientale sul livello sonoro equivalente rilevato sul posto di lavoro. Perché ciò avvenga è necessario, come è noto, che il livello del rumore di fondo sia stabilmente inferiore di oltre 10 dB a quello prodotto dalla macchina. Se tale differenza è minore occorre portare al livello sonoro misurato sul posto di lavoro con la macchina in funzione la correzione specificatamente prevista dalla normativa. Tenendo però anche presente che quando tale differenza è inferiore a 6 dB, la misura inizia a diventare precaria e con una differenza uguale o inferiore a 3 dB la misura non è valida ai fini del collaudo.

Nella fase di stesura del collaudo, si consiglia di non limitare i rilievi alla sola postazione di lavoro in esame, ma di estendere le misure a tutta l'area circostante alla sorgente in questione, in modo da verificare l'efficacia dell'intervento non solo rispetto alla posizione dell'addetto, ma anche rispetto ad eventuali posti di lavoro vicini.

Oltre al livello sonoro equivalente, è consigliabile rilevare, per una più approfondita e articolata verifica dell'efficacia di un intervento, è la distribuzione spettrale del segnale sonoro emesso dalla macchina, prima e dopo, o con e senza, l'intervento, sempre in corrispondenza del posto di lavoro in esame e nell'area circostante. Tale rilevazione è comunque indispensabile, in fase preliminare, per una corretta progettazione dell'intervento di bonifica.

Assai migliore, sotto il profilo della normativa tecnica di riferimento, è la definizione delle procedure di collaudo relative agli interventi di bonifica sulla propagazione del rumore per via aerea che sono trattati in dettaglio nel secondo livello secondo lo schema:

- Coperture fonoisolanti – ([Scheda n.25.1](#))
- Schermi e barriere fonoisolanti – ([Scheda n.25.2](#))
- Silenziatori – ([Scheda n.25.3](#))
- Cabine per operatore – ([Scheda n.25.5](#))

Come si è visto nel Capitolo 6, tali interventi costituiscono in effetti la stragrande maggioranza degli interventi di insonorizzazione di tipo "passivo", rivolti cioè a ridurre il rumore nei posti di lavoro agendo sul percorso di propagazione diretta.

Successivamente verranno illustrate le procedure inerenti il collaudo degli interventi di insonorizzazione dei luoghi di lavoro, secondo lo schema:

- Trattamenti fonoassorbenti ambientali – ([Scheda n.25.4](#))
- Requisiti acustici passivi degli edifici – ([Scheda n.25.6](#))
- Impianti di climatizzazione e ventilazione – ([Scheda n.25.7](#))

Per la realizzazione degli interventi di bonifica acustica e del loro collaudo è opportuno affidarsi a personale qualificato che abbia una serie di requisiti di professionalità e di esperienza in questo specifico settore quali quelli indicati nella [Scheda n.7](#) del Secondo Livello.

8. BIBLIOGRAFIA

8.1 BIBLIOGRAFIA GENERALE

1. A.Barber (edited by, 1992), *Handbook of Noise and Vibration*, Sixth Edition, Elsevier, Oxford
2. L.L. Beranek (edited by, 1988), *Noise and Vibration Control*, INCE, USA
3. L.L. Beranek , I.L. Vér (edited by, 1992), *Noise and Vibration Control Engineering*, J. Wiley & Sons, Inc, New York
4. E. Cirillo (1997), *Acustica applicata*, McGraw-Hill Libri Italia, Milano
5. M.J. Croker (edited by, 1997), *Encyclopedia of Acoustics*, Vol. II, J. Wiley & Sons, Inc, New York
6. M.J. Croker (edited by, 1998), *Handbook of Acoustics*, J. Wiley & Sons, Inc, New York
7. European Agency for Safety and Health at Work (2005), *Reducing the risk from occupational noise*, Bilbao
8. European Agency for Safety and Health at Work (2005), *Prevention of risk from occupational noise in practice*, Bilbao
9. F.A. Everest (1996), *Manuale di acustica*, HOEPLI, Milano
10. F. Fahy, (2001), *Foundations of Engineering Acoustics*, ACADEMIC PRESS, London
11. F. Fahy, J. Walker (1998), *Fundamentals of Noise and Vibration*, E&FN SPON, London and New York
12. FIOSH (Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2003), *Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control*, Berlin
13. J. E. K. Foreman (1990), *Sound Analysis and Noise Control*, Van Nostrand Reinhold, New York
14. C.M. Harris (1983), *Manuale di controllo del rumore*. Tecniche Nuove, Milano
15. C. M. Harris (1991), *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*, McGraw Hills, New York
16. HSE (1995), *Sound solutions: Techniques to reduce noise at work*, Health and Safety Executive books, Sudbury U.K.
17. HSE (2004), *Proposals for new Control of Noise at Work. Regulations implementing the Physical Agents (Noise) Directive 2003/10/EC*, Health and Safety Executive Books, Sudbury UK
18. P.A. Nelson, S.J. Elliott (1992), *Active Control of Sound*, ACADEMIC PRESS, London
19. S.P. Singal (2000), *Noise pollution and Control*, Narosa, New Delhi
20. R. Spagnolo (a cura di, 2001), *Manuale di acustica applicata*, UTET, Torino
21. M. Vigone (1985), *Progettare il silenzio*, Hoepli, Milano

8.2 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA

Capitolo 1

1. S. Casini (2002), *Calcolo del rischio di danno uditivo*, Atti del Convegno “dBA 2002”, Az.USL Modena

2. A. Bucciarelli, *Le statistiche sulle malattie professionali da agenti fisici, dalla denuncia al riconoscimento*, Atti del Convegno “dBaincontri 2008”, Az.USL Modena
3. Decreto Ministeriale 12 luglio 2000 – Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale - “Approvazione di "Tabella delle menomazioni", "Tabella indennizzo danno biologico", "Tabella dei coefficienti", relative al danno biologico ai fini della tutela dell'assicurazione contro gli infortuni e le malattie professionali”
4. INAIL, Circolare n. 22 del 07/07/1994 *Nuova tabella valutativa unica per le otopatie professionali*
5. INAIL, *Rapporto annuale 2007*, Roma 2008
6. G. Spada (2003), *Gli incentivi dell'INAIL per la riduzione delle ipoacusie professionali: quale futuro*, Atti del Convegno “dBA 2003”, Az.USL Modena

Capitolo 2

1. ASL Modena (1999), Atti del Convegno *dBAincontri99 - Rumore e vibrazioni: dalla valutazione alla bonifica*, Modena
2. ASL Modena (2002), Atti del Convegno *dBA2002 - Rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione, onde elettromagnetiche: valutazione, prevenzione e bonifica negli ambienti di lavoro*, Modena
3. ASL Modena (2003), Atti del Convegno *dBAincontri2003 – Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro*, Modena
4. ASL Modena (2008), Atti del Convegno *dBAincontri2008 – Titolo VIII del D.Lgs. 81/2008 – Prevenzione e protezione da agenti fisici negli ambienti di lavoro: facciamo il punto*, Modena
5. *Direttiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 6 febbraio 2003 sulle prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore) (diciassettesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)*, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea N. L42/38 del 15.2.2003
6. *Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 “Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*, Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Supplemento Ordinario n. 108
7. Dossier Ambiente N. 54 (2001), *Il rumore nei luoghi di vita e di lavoro*, Trimestrale dell'Associazione Ambiente e Lavoro, Milano
8. ISPESL (2001), *Linee guida per la valutazione del rischio da rumore negli ambienti di lavoro*, Dipartimento Documentazione, Informazione e Formazione, Roma
9. Coordinamento delle Regioni-ISPESL, *Prime indicazioni applicative sul Titolo VIII, Capi I, II, III e IV del D.Lgs. 81/2008 sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro*
http://www.ausl.mo.it/dsp/spsal/spsal_coord_interregionale.htm &
http://www.ispesl.it/linee_guida/Fattore_di_rischio/FAQ%20AFisici%20x%20web.pdf

10. UNI EN ISO 11690-1: 1998 *Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario – Strategie per il controllo del rumore*, UNI Milano

Capitolo 3

1. A. Briganti (1981), *Il controllo del rumore negli ambienti civili e industriali*, Tecniche Nuove, Milano
2. AA.VV. (1994), *Manuale per la prevenzione del rischio rumore nelle aziende produttrici di contenitori metallici*, 92-99, ANFIMA-Regione Emilia-Romagna, Milano
3. AIA (1998), *Atti del Convegno Nazionale La valutazione d'impatto acustico in attuazione della legge 447/95*, Lecco
4. AIA (2002), *Atti del Seminario Immissione di rumore e vibrazioni da impianti civili e stabilimenti industriali*, Modena
5. AIA (2005), *Atti del Seminario Riduzione del rumore negli stabilimenti industriali – Previsione, propagazione, disposizione delle macchine, schermature e trattamenti fonoassorbenti*, Ancona
6. A. Farina (1995), *Ramsete – a new Pyramid Tracer for medium and large scale acoustic problems*, Proc. EURONOISE '95, Lyon (France)
7. A. Farina (1999), *Propagazione del suono e previsione del rumore negli ambienti di lavoro*, Atti del Seminario dBaincontri 1999, Modena
8. ASL Modena (2001), *Atti del Convegno NIP2001 – Nuovi insediamenti produttivi: requisiti e standard prestazionali degli edifici destinati a luoghi di lavoro*, Modena
9. G. Elia, G. Geppetti (1994), *Progettazione acustica di edifici civili e industriali*, La Nuova Italia Scientifica, Roma
10. R. Gamba, G. Abisou (1992), *La protection des travailleurs contre le bruit – Les points clés. Colletion outils et Méthodes*, ANACT, Paris
11. R. Gigante (1996), *Rumore ed isolamento acustico*, Dario Flacconio Editore, Palermo
12. INRS, *Notes documentaires 30 (Noise control in specific industrial branches)*, rue Olivier Noyer, 75680 Paris Cedex 14, France
13. M. Toni (1996), *L'isolamento acustico in edilizia*, EdilStampa, Roma
14. UNI EN ISO 11690-2: 1999 *Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario – Provvedimenti per il controllo del rumore*, UNI Milano
15. UNI EN ISO 11690-3: 2000 *Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario – Propagazione del suono e previsione del rumore in ambienti di lavoro*, UNI Milano

Capitolo 4

1. AIA (1995), *Atti della Giornata di studio Rumore e ambienti scolastici*, Ferrara
2. AIA (2004), *Atti del Seminario nazionale Acustica e ambienti scolastici*, Venezia
3. AIA-ISPEL (2008), *Atti del Seminario nazionale Acustica e ambienti scolastici – La fatica di imparare e insegnare nella scuola che cambia*, Roma

4. ANPA (1997), *Verifica dei livelli sonori all'interno dei locali di intrattenimento danzante o di pubblico spettacolo*, RTI 1/97 – AMB – ACUS, Roma
5. ANPA (2001), *Linee guida applicative al D.P.C.M. n. 215 del 16 aprile 1999*, Manuali e linee guida 5/2001, Roma
6. APPA Trento (1998), *Atti Convegno nazionale Edilizia e Ambiente – Microclima, illuminazione, qualità dell'aria e rumore: scelte progettuali e impiantistiche nelle abitazioni, negli uffici e negli ambienti destinati a comunità*, Trento
7. ASL Modena (2001), *Atti del Convegno NIP2001 – Nuovi insediamenti produttivi: requisiti e standard prestazionali degli edifici destinati a luoghi di lavoro*, Modena
8. ASL Modena (2008), *Atti del Convegno dBaincontri2008 – Titolo VIII del D.Lgs.81/2008: facciamo il punto*, Modena
9. U. Ayr, E. Cirillo (1998), *Requisiti e prestazioni acustiche degli uffici*, Atti Convegno nazionale *Edilizia e Ambiente*, 477-495, Trento
10. R. Bottio, S. Novo (2003), *La progettazione acustica degli edifici*, Qualità & Competitività, Milano
11. A. Fry and staff of Sound Research Laboratories (1988), *Noise control in building services*, Pergamon Press, Oxford U.K.
12. G. Iannace, C. Ianniello, L. Maffei, *Prediction of indoor noise levels caused by the operation of Hvac Systems*, Proc. Healthy Buildings 1995, vol.3, p.1579-1584
13. M.E. Schaffer (1993), *Guida pratica al controllo del rumore e delle vibrazioni*, PEG, Milano

Capitolo 5

1. AIA (1993), *Atti del Convegno Rumore e vibrazioni: certificazione delle macchine*, Modena
2. AIA (2001), *Atti del Convegno La direttiva 2001/14/CE: inquinamento acustico prodotto da macchine e attrezzature destinate a funzionare all'aperto*, Bologna
3. B. Cammarota e altri (2002), *I livelli di rumorosità nelle sale operatorie*, *Tecnica Ospedaliera*, ottobre 2002 pp. 58-69
4. ISPESL (2002), *Linee guida per l'uso in sicurezza delle motoseghe portatili per potatura*, Dipartimento Tecnologie di Sicurezza, Roma
5. Commissione europea - *Documento di sintesi sulle linee guida per l'applicazione della direttiva 2000/14/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sul ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto*
http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/noise/pdf/021016ppwg_it.pdf
6. Commissione Europea - *Normativa Comunitaria sulle macchine. Commenti alla direttiva 98/37/CE*
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0037:19981207:it:PDF>

7. L. Nielsen, *European machinery Directive 89/392 - Clauses on noise in safety standards*, Proceedings InterNoise '96, Liverpool U.K.
8. *Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast)*, Official Journal of the European Union L157 of 9.6.2006
9. ISPESL (2008), *Guida al confronto fra la nuova Direttiva Macchine (2006/42/CE) e la Direttiva 98/37/CE*, Roma
http://www.ispesl.it/linee_guida/tecniche/LGDirrettivaMacchine.pdf
10. G.A. Sehrndt, P. Becker, *The standardization gap and the machinery noise declaration*, Proceedings InterNoise '97, Budapest
11. VDI-Richtlinie, Emissionskennwerte technischer Schallquellen (Emission values of noise sources), Beuth Verlag, Berlin
12. Applicazione del Titolo III del D.Lgs 81/08 e nuova direttiva macchine (D.Lgs 17/2010 - Indicazioni procedurali per gli operatori dei servizi di vigilanza delle ASL, Coordinamento Tecnico delle Regioni e delle Province autonome, gennaio 2012

Capitolo 6

1. AA.VV. (1979), *Le contrôle du bruit dans l'industrie*, SALEX.
2. Brüel&Kjær (1982), *Noise Control: Principles and practice*, Nærum, Denmark
3. P.A. Nelson, S.J. Elliott (1992), *Active control of sound*, Academic Press
4. FIOSH (Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2003), *Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control*, Berlin
5. Health & Safety Executive (1983), *A report from HM Factory Inspectorate: 100 Practical Applications of Noise Reduction Methods*, London
6. European Agency for Safety and Health at Work (2005), *Prevention of risk from occupational noise in practice*, Bilbao
7. M. Hodgson (1989), *Case history: factory noise prediction using ray tracing – Experimental validation and effectiveness of noise control measures*, Noise Control Engineering J., 33 (3), 87-104
8. E.A. Lindquist (1983), *Noise attenuation in factories*, Appl. Acoustics 16, 183-214
9. Modulo Uno (1978), *Incapsulaggio di sorgenti a bassa frequenza*, Inquinamento, aprile 1978
10. Modulo Uno (1978), *Riduzione di rumore delle presse*, Inquinamento, maggio 1978
11. Modulo Uno (1978), *Il silenziamento degli scarichi d'aria*, Inquinamento, giugno 1979
12. A. Sarti (1981), *Metodi ed esempi di riduzione del rumore nelle macchine per la lavorazione del legno*, Atti del Seminario del Consorzio Studi e Ricerche SCM, Rimini
13. I. Sharland (1980), *L'attenuazione del rumore*, Ed. Woods Italiana, Milano

Capitolo 7

Per questo Capitolo si rimanda alla normativa tecnica generale riportata nella Scheda 29 del Secondo livello di questo Manuale. Nello specifico, si cita la seguente pubblicazione:

CIADI-ANIMA (2003), *Procedure per il collaudo acustico*, Milano

SECONDO LIVELLO
Schede di approfondimento
(su www.lavoro.gov.it)

9. GLOSSARIO

Area di assorbimento acustico equivalente (A): assorbimento acustico in un ambiente con n superfici e superficie totale S (m²)

$$A = \alpha_1 S_1 + \dots + \alpha_n S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i = \bar{\alpha} \cdot S \quad \text{m}^2$$

ove α_i è il coefficiente di assorbimento acustico della i-esima superficie S_i e $\bar{\alpha}$ è il coefficiente di assorbimento medio dell'ambiente.

Assorbimento acustico (fonoassorbimento): capacità di un materiale di convertire l'energia sonora in calore riducendo così la frazione di energia sonora riflessa.

Baffle: dispositivo fonoassorbente, vincolato al soffitto e sospeso verticalmente in varie configurazioni geometriche (ad es. disposto in file), installato per aumentare l'assorbimento acustico in un ambiente e ridurre la riverberazione.

Banda di frequenza: intervallo tra due frequenze, superiore f_s e inferiore f_i , solitamente in una predefinita relazione tra loro.

Banda di ottava: banda di frequenza ove il rapporto tra la frequenza superiore e quella inferiore è pari a 2. Il campo dei suoni udibili comprende 10 bande di ottava standardizzate nelle frequenze centrali di banda di 31,5, 63, 125, 250; 500, 1000, 2000, 4000, 8000 e 16000 Hz.

Bonifica acustica: interventi tecnici finalizzati a ridurre l'esposizione dei lavoratori e/o della popolazione al rumore.

Cabina acustica (Copertura integrale): intervento sulla propagazione sonora consistente nel realizzare sulla sorgente una chiusura, la più completa possibile compatibilmente con le esigenze tecniche.

Cabina per operatore (o Cabina di riposo acustico): ambiente chiuso, progettato per proteggere gli operatori dal rumore, al cui interno questi stazionano svolgendo operazioni di sorveglianza e di controllo dell'impianto a distanza.

Campo sonoro: regione dello spazio sede di un sistema di onde sonore. In assenza di ostacoli alla propagazione sonora esistono solo le onde direttamente irradiate dalla sorgente (*campo libero*). In un ambiente chiuso le riflessioni sulle pareti generano un sistema complesso di onde riflesse che si propagano in molteplici direzioni (*campo riverberante*). Quando queste riflessioni, a seguito delle diffusioni ad esse associate, sono statisticamente distribuite in modo uniforme in tutte le direzioni si è in presenza di *campo diffuso*.

Cappottatura acustica (Copertura parziale): intervento sulla propagazione sonora consistente nel realizzare una chiusura di una parte, significativa ma non completa, della sorgente

Clima acustico: rumore presente nell'area in cui si trova l'insediamento ove viene svolta l'attività lavorativa.

Coefficiente di assorbimento acustico (α): descrive quantitativamente le proprietà di assorbimento acustico di un materiale ed è definito dal rapporto tra energia sonora assorbita ed energia incidente sulla superficie del materiale. I suoi valori sono compresi tra 0 (riflessione completa) e 1 (assorbimento massimo) e variano in funzione della frequenza.

Collaudo acustico: verifica sperimentale di un intervento o di un dispositivo per accertarne l' idoneità e la conformità agli obiettivi acustici di capitolato o di progetto.

Controllo attivo: tecnica che riduce il rumore e la vibrazione basandosi sull'interferenza distruttiva delle onde, ottenuta generando un segnale avente la stessa ampiezza del segnale da controllare ma fase opposta. Di contro, ogni altro intervento di controllo del rumore si definisce "passivo".

Decadimento temporale del livello di pressione sonora: diminuzione del livello di pressione sonora in funzione del tempo in una data posizione a seguito dell' interruzione dell' emissione della sorgente.

DPI uditivi (Dispositivi di Protezione Personale dell'udito): dispositivi per la protezione dell'udito a carattere strettamente individuale volti alla riduzione dell'energia sonora incidente sull'apparato uditivo; vanno utilizzati quando le altre modalità di contenimento del rischio non hanno dato esiti sufficienti. Tra i tipi più diffusi si citano le cuffie e gli inserti auricolari

Direttività (Q_θ): rapporto tra l'intensità sonora I_θ emessa nella particolare direzione θ e l'intensità sonora media I_m emessa da una data sorgente:

$$Q_\theta = \frac{I_\theta}{I_m}$$

Divergenza geometrica: attenuazione progressiva dell'ampiezza dell'onda sonora all'aumentare della distanza dalla sorgente.

Eccesso del livello di pressione sonora (DL_f): differenza tra il livello di pressione sonora ad una data distanza dalla sorgente ed il livello alla medesima distanza in campo libero.

Efficacia: effettivo raggiungimento dell'obiettivo prefissato, produzione dell'effetto che si desidera nella situazione specifica

Efficienza: capacità (potenziale) di produrre un dato effetto, di raggiungere certi risultati

Emissione acustica (Emissione sonora): insieme delle onde sonore emesse dalla sorgente in tutte le direzioni nello spazio circostante la sorgente stessa.

Frequenza (f): numero di oscillazioni nell'unità di tempo della pressione rispetto al suo valore in assenza di onde sonore. Si misura in cicli al secondo, Hertz (Hz). Il campo di frequenza dei suoni udibili convenzionalmente è compreso tra 20 e 20000 Hz. Pur non esistendo una classificazione standardizzata, solitamente le *alte frequenze* sono comprese tra 1000 e 20000 Hz, le *frequenze medie* tra 200 e 1000 Hz e le *basse frequenze* tra 20 e 200 Hz.

Immissione acustica: insieme dei suoni presenti in una data posizione e in un tempo definito.

Impatto acustico: effetto indotto e relative variazioni delle condizioni sonore preesistenti in una determinata porzione del territorio, dovuto all'inserimento di nuove sorgenti (ad es. un nuovo insediamento o un suo ampliamento, modifica del ciclo produttivo, ecc.).

Indice del livello normalizzato di rumore di calpestio in opera ($L'_{nT,w}$): come descritto nel D.P.C.M. 05/12/97, indica il valore massimo del rumore di calpestio, normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, che l'ambiente "disturbante" può indurre in un ambiente sottostante (ambiente "disturbato"). A valori decrescenti di L'_{nT} corrispondono prestazioni migliori del solaio.

Indice del potere fonoisolante apparente (R'_w): descrive l'isolamento acustico per via aerea di partizioni tra ambienti contigui, considerando oltre alla trasmissione diretta anche quella laterale.

Indice di articolazione (*AI, Articulation Index*): grandezza correlata alla intelligibilità della comunicazione tra parlatore e ascoltatore posti frontalmente ad una certa distanza. Il valore varia da 0 (intelligibilità nulla) a 1 (intelligibilità massima). È applicabile in ambienti poco riverberanti.

Indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza (DL_2): diminuzione del livello di pressione sonora per ogni raddoppio della distanza dalla sorgente. In campo libero la diminuzione è di 6 dB per ogni raddoppio della distanza da una sorgente sferica.

Indice di intelligibilità del parlato (*SII, Speech Intellegibility Index*): descrittore dell'intelligibilità del messaggio verbale, derivato e sostanzialmente identico all'indice di trasmissione del parlato STI.

Indice di isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione ($D_{2m,nT,w}$): descrive l'attenuazione alla trasmissione di rumore per via aerea da parte delle pareti perimetrali nei confronti sia dell'immissione di rumori esterni sia dell'emissione di rumori interni verso ricettori esterni.

Indice di trasmissione del parlato (*STI, Speech Transmission Index*): descrittore che valuta l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sulla riduzione dell'intelligibilità del messaggio verbale. Assume valori compresi tra 0 (intelligibilità nulla) e 1 (intelligibilità massima).

Indice rapido di trasmissione del parlato (*RASTI, RApid Speech Transmission Index*): metodo che valuta l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sulla riduzione dell'intelligibilità del messaggio verbale.

Intelligibilità del messaggio verbale: solitamente espressa in termini di percentuale di parole o frasi correttamente comprese dall'ascoltatore rispetto alla totalità delle frasi pronunciate dal parlatore.

Interferenza acustica: complesso dei fenomeni che si generano in presenza di due o più onde sonore interagenti.

Isolamento acustico (D): differenza tra i valori medi del livello di pressione sonora in dB rilevati in due ambienti adiacenti, uno contenente la sorgente sonora L_1 e l'altro di ricezione L_2 :

$$D = L_1 - L_2 \text{ dB}$$

Livello continuo equivalente (Livello equivalente sonoro, L_{eq}): livello di pressione sonora di un suono continuo e costante avente, in un determinato intervallo di tempo T, la medesima pressione quadratica media del suono variabile nello stesso intervallo T:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB}$$

ove $T = t_2 - t_1$, $p(t)$ è il valore della pressione sonora efficace (r.m.s.) (Pa) del suono variabile nell'intervallo di tempo T e $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ la pressione sonora di riferimento.

Livello continuo equivalente ponderato A (Livello equivalente sonoro, L_{Aeq}): livello di pressione sonora di un suono continuo e costante, in un determinato intervallo di tempo T, che si considera abbia lo stesso effetto sull'orecchio umano del suono variabile nello stesso intervallo T:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB}$$

ove $T = t_2 - t_1$, $p_A(t)$ è il valore della pressione sonora efficace (r.m.s.) (Pa) del suono variabile nell'intervallo di tempo T ponderato secondo la curva di ponderazione "A" che rappresenta la sensibilità media dell'orecchio umano in funzione della frequenza e $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ la pressione sonora di riferimento.

Livello corretto del rumore di impianto (L_{ic}): livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A prodotto dal solo impianto di riscaldamento, condizionamento o ventilazione e corretto per tenere conto delle eventuali componenti impulsive e/o tonali e delle caratteristiche fonoassorbenti dell'ambiente di misura come da UNI 8199:1998.

Livello di esposizione personale (L_{EX}): livello continuo equivalente in dB(A) rilevato al posto operatore o a 10-40 cm dal suo orecchio in condizioni operative, durante il normale svolgimento dell'attività lavorativa per un tempo rappresentativo dello svolgimento della propria mansione.

Livello di interferenza sul parlato (SIL, *Speech Interference Level*): descrittore dell'intelligibilità del messaggio verbale, pari alla differenza tra il livello del messaggio verbale nella posizione dell'ascoltatore e la media aritmetica del livello di pressione sonora nelle bande di ottava a 500, 1000, 2000 e 4000 Hz del rumore di fondo ivi presente. E' applicabile in ambienti poco riverberanti.

Livello di picco (L_{picco}): livello di pressione sonora misurato con costante temporale "Peak"; esso viene solitamente ponderato con curva di ponderazione lineare del fonometro "Lin" o con curva di ponderazione "C" ($L_{picco,C}$).

Livello di potenza sonora (Livello di potenza acustica, L_W): descrittore dell'emissione di una sorgente sonora definito come:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad \text{dB}$$

ove W è la potenza sonora in watt della sorgente e $W_0 = 10^{-12}$ la potenza sonora di riferimento.

Livello di potenza sonora garantito (dichiarato): livello di potenza sonora comprendente sia le incertezze derivanti dalla variabilità della produzione della sorgente sia quelle insite nella procedura metrologica.

Livello di pressione sonora (L_p): descrittore della pressione sonora definito come:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad \text{dB}$$

ove p è la pressione sonora efficace (r.m.s.) in Pascal e $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ la pressione sonora di riferimento. A seconda della costante di tempo di integrazione r.m.s. selezionata: *slow* (1 s), *fast* (125 ms), *impulse* (35 ms), si definiscono, rispettivamente, i livelli L_{pS} , L_{pF} , L_{pI} .

Livello di pressione sonora al posto operatore: livello a cui è esposto il lavoratore addetto alla macchina. I produttori di macchine certificano questo dato in condizioni di campo libero.

Normativa: provvedimento di natura tecnica ad adesione volontaria.

Nuovo insediamento produttivo (NIP): condizione progettuale, preliminare alla realizzazione dell'opera, che riguarda gli edifici destinati ad una qualunque attività produttiva (agricola, commerciale, di servizio, industriale...). Dal punto di vista acustico è questa la condizione ottimale per prevedere e risolvere i problemi nel rispetto dei principi di prevenzione del D.Lgs.81/2008.

Obiettivi acustici: valori tecnici che indicano le prestazioni da raggiungere quando si avvia un processo per la realizzazione di un nuovo insediamento produttivo o di una sua ristrutturazione, di una nuova macchina, di una bonifica acustica. Possono essere definiti da leggi (requisiti acustici), da norme (standard prestazionali) o da valutazioni tecniche specifiche.

Ponderazione in frequenza: ponderazione delle ampiezze delle componenti in frequenza di un suono secondo una predeterminata funzione (curva). Le più utilizzate sono le curve "A", che approssima la curva di isosensazione sonora a 40 phon, e la "C" assimilabile alla curva di isosensazione sonora a 100 phon.

Provvedimento legislativo: provvedimento emanato dallo Stato o dalle altre Istituzioni nazionali con potere legislativo.

Rapporto di Valutazione del rischio rumore: documento redatto dal datore di lavoro che, presa visione dei risultati della valutazione del rischio effettuata dal personale competente, indica le misure che verranno adottate per il mantenimento e miglioramento delle condizioni di esposizione al rischio e la periodicità delle successive valutazioni,.

Requisiti acustici: prestazioni acustiche prescritte da un disposto legislativo; sono da intendersi come valori di minima da rispettare sempre (nei casi previsti dalla legge)

Ricettore: posizione in corrispondenza di spazi utilizzati da persone e comunità nella quale può essere misurato il disturbo da rumore.

Rischio uditivo: rischio di abbassamento permanente della soglia di udibilità a seguito dell'esposizione prolungata ad elevati livelli sonori durante l'attività lavorativa.

Riverberazione: suono che permane in un ambiente chiuso dopo l'interruzione della sorgente sonora a seguito delle molteplici riflessioni e diffusioni sulle pareti delimitanti l'ambiente.

Rumore di calpestio: rumore prodotto dalla sollecitazione meccanica di un solaio sottoposto all'impatto di passi, oggetti, ecc. che si trasmette per via solida raggiungendo gli ambienti sottostanti.

Rumore di fondo: insieme di suoni presenti in una data posizione ad esclusione di quello di specifico interesse.

Schermo acustico (barriera acustica): dispositivo per la riduzione del rumore interposto sul percorso di propagazione diretta per via aerea del suono dalla sorgente al ricettore. Quando lo schermo è posizionato negli spazi esterni normalmente si parla di barriera acustica.

Silenziatori dissipativi: dispositivi per la riduzione del rumore, basati su rivestimenti delle pareti interne dei condotti con materiali fonoassorbenti.

Silenziatori reattivi: dispositivi per la riduzione del rumore, basati sul principio dell'assorbimento acustico per risonanza o per riflessione del rumore proveniente dalla sorgente.

Smorzamento: dissipazione dell'energia in un sistema oscillante sia nel tempo che nello spazio.

Sorgenti primarie: elementi meccanici o fluidi che, in relazione a specifici fenomeni fisici, generano onde sonore (ad es. corpi che si urtano o vibrano, gas o liquidi aventi un flusso irregolare).

Sorgenti secondarie: elementi meccanici che di per sé non costituiscono sorgenti sonore ma che, a causa della trasmissione di onde sonore o vibratorie provenienti attraverso l'aria, un liquido o una struttura meccanica, possono irradiare energia acustica (ad es. tubazioni, carter, ecc.).

Spettro acustico (Spettro in frequenza): determinazione delle componenti in frequenza del suono.

Standard acustici: prestazioni acustiche previste da norme tecniche o dati di letteratura; sono valori che descrivono lo stato dell'arte per un determinato argomento e sono da rispettare in quanto interpretano esigenze genericamente manifestate da provvedimenti legislativi.

Suono diretto: suono che raggiunge una data posizione seguendo un percorso di propagazione diretta per via aerea dalla sorgente al ricettore senza alcuna riflessione.

Tempo di riverberazione (T_{60}): tempo in secondi occorrente affinché il livello di pressione sonora ad una data frequenza e posizione si riduca di 60 dB rispetto al livello iniziale dopo l'interruzione dell'emissione sonora.

Tono puro: suono avente uno spettro costituito da una unica frequenza.

Trasmissione del suono per via aerea: propagazione libera delle onde sonore nell'aria in assenza di ostacoli solidi.

Trasmissione del suono per via solida (strutturale): propagazione delle onde sonore attraverso strutture solide tramite vibrazioni elastiche. La propagazione strutturale termina quando le vibrazioni giungono ad una struttura che, a contatto con l'aria, dà origine alla propagazione per via aerea.

Trasmissione sonora diretta: trasmissione dell'energia sonora nell'ambiente di ricezione esclusivamente attraverso il componente di specifico interesse.

Trasmissione sonora laterale: trasmissione dell'energia sonora nell'ambiente di ricezione attraverso le strutture adiacenti al componente di specifico interesse.

Trattamento fonoassorbente ambientale: intervento tecnico che riduce l'esposizione al rumore migliorando le caratteristiche fonoassorbenti di un ambiente.

Turnazioni: misura di carattere organizzativo che consiste in rotazioni del personale volte ad evitare che un dato lavoratore risulti esposto a livelli di rumore eccessivi. Il contenimento del rischio per quel soggetto comporta però l'incremento del rischio per chi viene chiamato a sostituirlo.

Valore limite di esposizione personale: valore previsto dalla legislazione il cui superamento deve essere impedito mediante tutte le misure tecniche, organizzative e procedurali concretamente attuabili.

Valori limite assoluti di immissione: valori massimi di rumore che possono essere immessi da una o più sorgenti sonore nell'ambiente esterno in prossimità dei ricettori.

Valori limite assoluti di emissione: valori massimi di rumore che possono essere immessi da una sorgente sonora, misurati in prossimità della sorgente stessa.

Valutazione del rischio rumore: processo tecnico di conoscenza del rischio finalizzato alla sua prevenzione o protezione mediante misure tecniche (bonifiche acustiche), organizzative e procedurali, misure protettive individuali, verifica della salute uditiva degli esposti, loro informazione e formazione. Va effettuata da personale competente.

Zonizzazione acustica (Classificazione acustica del territorio): suddivisione del territorio comunale in classi acustiche previste dal D.P.C.M. 14 novembre 1997 al fine di ridurre al minimo i problemi di vicinanza tra ricettori con esigenze diversificate.

CREDITS

Il testo del Manuale di buona pratica redatto nel 2004 dal Gruppo di lavoro delle Regioni e dell'IspeSl è stato rivisto e aggiornato dal sottogruppo Agenti Fisici del Comitato 9 composto da:

Pietro Nataletti (INAIL) con il ruolo di Coordinatore
Omar Nicolini (Az. USL Modena)
Diego Annesi (INAIL)
Marco Bottazzi (INCA CGIL)
Manuela Maria Brunati (CNA)
Salvatore Curcuruto (ISPRA)
Fabiola Leuzzi (Confindustria)
Alessandro Pantano (Confagricoltura)
Paolo Paraluppi (Az. USL Pavia)
Marco Persotti (UGL)
Simone Pinata (CNA)
Giuseppe Rosci (INAIL)