

**Metodologie e interventi tecnici
per la riduzione del rumore
negli ambienti di lavoro**

Pubblicazione realizzata da

INAIL

Settore Ricerca
Dipartimento Igiene del Lavoro
Direttore Dott. Sergio Iavicoli

COORDINAMENTO SCIENTIFICO

Pietro Nataletti¹

AUTORI

Pietro Nataletti¹, Omar Nicolini², Diego Annesi¹, Marco Bottazzi³, Manuela Maria Brunati⁴, Salvatore Curcuruto⁵,
Fabiola Leuzzi⁶, Alessandro Pantano⁷, Paolo Paraluppi⁸, Marco Persotti⁹, Simone Pinata⁴, Giuseppe Rosci¹⁰

COLLABORAZIONE ALLA REDAZIONE

Barbara Todini¹, Pasquale Capone¹

- 1 INAIL - Ricerca - Dipartimento Igiene del Lavoro
- 2 Azienda USL di Modena
- 3 INCA CGIL - Istituto Nazionale Confederale di Assistenza, confederazione Generale Italiana del Lavoro
- 4 CNA - Confederazione Nazionale dell'Artigianato e della piccola e media impresa
- 5 ISPRA - Istituto Superiore per la protezione e la Ricerca Ambientale
- 6 Confindustria
- 7 Confagricoltura
- 8 Azienda USL Pavia
- 9 UGL - Unione Generale del Lavoro
- 10 INAIL - Contarp Lazio

Edizione 2013

CONTATTI

INAIL - Dipartimento Igiene del Lavoro
Via Fontana Candida, 1 - 00040 Monte Porzio Catone (Roma)
Tel. +39 06 95181 310 / +39 06 94181 311
Fax +39 0694181 419
r.dil@inail.it
www.inail.it

© 2013 INAIL

La pubblicazione viene distribuita gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo.
È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

*In copertina: la prima immagine raffigura un Reparto scroll (zona in cui i fogli di banda stagnata vengono tagliati a striscie),
posizionato a valle del Reparto di produzione capsule (chiusure metalliche per contenitori in vetro) che risente dell'influenza
del rumore prodotto. Nella seconda immagine è raffigurata la schermatura eretta a protezione dei lavoratori dal rumore.
Foritore delle fotografie e progettista dell'Opera Eurofins Consulting Srl Torino*

ISBN 978-88-7484-284-1

Tipolitografia INAIL - Milano, aprile 2013

Il testo del Manuale di buona pratica redatto nel 2004 dal Gruppo di lavoro delle Regioni e dell'INAIL - Ricerca è stato rivisto e aggiornato dal sottogruppo Agenti Fisici del Comitato 9 composto dalla Commissione consultiva permanente ex art. 6 D.lgs. 81/2008:

Pietro Nataletti (INAIL - Ricerca) con il ruolo di Coordinatore

Omar Nicolini (Az. USL Modena)

Diego Annesi (INAIL - Ricerca)

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 - CONTARP Lazio)

Prefazione

Il Dipartimento Igiene del Lavoro dell'INAIL, Settore Ricerca, sin dall'emanazione della prima legge italiana sull'esposizione professionale a rumore, il D.lgs. 277/91, è stato sempre in prima linea nell'attività di ricerca e sperimentazione in materia di misura, valutazione e controllo di questo agente di rischio, che attualmente costituisce ancora la terza causa di malattia professionale denunciata all'INAIL. Nella conseguente attività di trasferimento delle conoscenze e di produzione normativa, sin dal 2000 in stretto raccordo e collaborazione con le Regioni, le Università, l'UNI e le associazioni scientifiche, il Dipartimento Igiene del Lavoro ha stimolato la pubblicazione di una serie di linee guida, buone prassi e norme tecniche sulla misura, valutazione e controllo del rischio rumore in tutti gli ambienti di lavoro, anche in quelli non tradizionali dei servizi come ad esempio la musica e i call center.

Il Manuale operativo "Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro", approvato dalla Commissione consultiva permanente per la salute e sicurezza sul lavoro prevista dall'art. 6 del D.lgs. 1/2008, su proposta del Comitato 9 "Agenti chimici, fisici e biologici" di cui il Dipartimento Igiene del Lavoro esprime la segreteria tecnica, costituisce lo stato dell'arte italiano in materia di controllo del rumore tramite gli interventi di prevenzione tecnica primari e secondari e, in sinergia con la recente Norma UNI/TR 11347, costituisce un supporto metodologico e operativo per gli adempimenti previsti dal capo II del Titolo VIII del D.lgs. 81/2008 volti all'eliminazione o riduzione al minimo del rischio rumore sulla base dell'attuale stato dell'arte della tecnologia.

Il Manuale si rivolge in primis ai datori di lavoro e, più in generale, a tutti i soggetti della prevenzione (RSPP, consulenti, progettisti, costruttori ecc.) e agli organi di vigilanza, come utile supporto operativo disponibile sia su internet, ai siti del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali www.lavoro.gov.it e dell'INAIL www.inail.it, sia su stampa tramite la presente pubblicazione.

Il Direttore del Dipartimento
Igiene del Lavoro
Dott. SERGIO IAVICOLI

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 sia fra le giovani generazioni in quanto futuri lavoratori e futuri imprenditori. Le attività di informazione, formazione, documentazione e 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, e a due temi ad essa direttamente correlati e spesso trascurati: la progettazione acustica ex novo degli insediamenti produttivi e 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 (ora Settore Ricerca dell'Inail) 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 e 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 e 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 resi disponibile solo in formato elettronico.

Il testo del 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 e 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 (*il testo del Manuale di buona pratica redatto nel 2004 dal Gruppo di lavoro delle Regioni e dell'ex Ispesl è stato rivisto e aggiornato dal sottogruppo Agenti Fisici del Comitato 9 composto dalla Commissione consultiva permanente ex art. 6 D.lgs. 81/2008*), 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.

Indice Generale

Primo Livello

Manuale operativo *(disponibile anche su www.lavoro.gov.it)*

1. Obiettivi e destinatari del manuale	17
2. Dalla valutazione del rischio alle strategie per la sua riduzione	17
2.1 Valutazione del rischio rumore	18
2.2 Strategie per la riduzione del rischio	19
3. Prestazioni acustiche	22
3.1 Riduzione del rischio per i lavoratori	23
3.1.1 <i>Individuazione e caratterizzazione delle sorgenti di rumore</i>	24
3.1.2 <i>Spazi e caratteristiche geometriche dello stabilimento</i>	25
3.1.3 <i>Stima dei livelli di esposizione negli ambienti di lavoro</i>	27
3.1.4 <i>Definizione degli obiettivi acustici da raggiungere</i>	27
3.1.5 <i>Interventi sul lay-out</i>	28
3.1.6 <i>Trattamenti fonoassorbenti ambientali</i>	31
4. Prestazioni acustiche e criteri di progettazione e bonifica per specifici luoghi di lavoro	34
4.1 Parametri da controllare e valori di riferimento	36
4.1.1 <i>Uffici</i>	38
4.1.2 <i>Attività commerciali</i>	39
4.1.3 <i>Ambienti scolastici</i>	41
4.1.4 <i>Strutture sanitarie</i>	43
4.2 Sintesi dei requisiti e degli standard acustici	45

5	5 Criteri acustici di acquisto di macchine, attrezzature e impianti	47
5.1	Requisiti acustici previsti dalla legislazione	47
5.1.1	<i>Provvedimenti legislativi di carattere generale</i>	47
5.1.2	<i>Provvedimenti legislativi di carattere specifico</i>	49
5.2	Specifiche di acquisto e di accettazione	52
5.3	Indicazioni per la vigilanza e controllo delle ASL	53
6	6 Bonifica acustica di macchine, attrezzature e impianti	54
6.1	Controllo del rumore alla sorgente	56
6.1.1	<i>Elementi metodologici per la bonifica</i>	58
6.1.2	<i>Bonifica delle sorgenti sonore primarie</i>	59
6.1.3	<i>Bonifica delle sorgenti sonore secondarie</i>	59
6.1.4	<i>Esame di un caso</i>	61
6.2	Interventi sulla trasmissione e sulla propagazione del rumore	62
6.2.1	<i>Cabine acustiche (Coperture integrali)</i>	64
6.2.2	<i>Cappottature acustiche (Coperture parziali)</i>	66
6.2.3	<i>Schermi e barriere acustiche</i>	66
6.2.4	<i>Silenziatori</i>	68
6.2.5	<i>Interventi sulla propagazione per via solida</i>	69
6.2.6	<i>Interventi di controllo attivo del rumore e delle vibrazioni</i>	71
6.2.7	<i>Cabine per operatori</i>	72
6.2.8	<i>Trattamenti fonoassorbenti ambientali</i>	73
6.3	Manutenzione e controllo della rumorosità	73
7	7 Collaudo acustico in opera degli interventi di controllo del rumore	75
8	8 Bibliografia	76
8.1	Bibliografia generale	76
8.2	Bibliografia specifica	77
9	9 Glossario	82

Secondo Livello

Schede di approfondimento *(disponibili anche su www.lavoro.gov.it)*

1	Propagazione del rumore in ambienti chiusi: aspetti fisici	93
2	Propagazione del rumore in ambienti industriali: modellizzazione	97
3	Isolamento acustico: aspetti fisici	101
4	Isolamento al calpestio e basamenti galleggianti	111
5	Comprensione del messaggio verbale e dei segnali di pericolo	113
6	Capitolato di acquisto di una macchina	119
7	Criteri per la scelta del personale qualificato in acustica	123
8	Urti e impatti: emissione sonora e criteri di bonifica	125
9	Microurti: emissione sonora e criteri di bonifica	128
10	Attrito e inerzia	130
11	Moto di liquidi: turbolenza, cavitazione, colpo d'ariete. Emissione sonora e criteri di bonifica	133
12	Risonanza meccanica	135
13	Materiali e tecnologie per l'isolamento e lo smorzamento delle vibrazioni	139
14	Trasmissione del rumore per via aerea e per via strutturale	147
15	Radiazione acustica di superfici vibranti	151
16	Controllo attivo del rumore e delle vibrazioni	154
17	Coperture totali e parziali di sorgenti sonore	162
18	Cabine silenziose per operatori	166
19	Schermature di sorgenti sonore e di aree rumorose	169
20	Trattamenti fonoassorbenti	172
21	Propagazione del rumore nelle condotte d'aria	178
22	Silenziatori dissipativi e reattivi	186
23	Silenziatori per getti d'aria	189
24	Misura e valutazione del livello di potenza sonora	193
25	Criteri generali di collaudo di una bonifica acustica	199
25.1	Coperture fonoisolanti	203
25.2	Schermi e barriere fonoisolanti	205
25.3	Silenziatori	208
25.4	Trattamenti fonoassorbenti ambientali	210
25.5	Cabine fonoisolanti per operatori	214
25.6	Requisiti acustici passivi degli edifici	216
25.7	Impianti di climatizzazione e ventilazione	225
26	Modulistica per la raccolta d'informazioni acustiche nei nuovi insediamenti produttivi o nelle loro ristrutturazioni	228
27	Riduzione dell'impatto acustico di stabilimenti industriali	230
28	Modello di segnalazione di presunta non conformità ai RES da parte delle ASL	235
29	Normativa di legge e tecnica essenziale	241
30	Esempi di interventi tecnici di riduzione del rumore realizzati sul campo	244

**Metodologie e interventi tecnici
per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro**

**Primo Livello
Manuale operativo**

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_{cpicco}).

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 ineren-

te 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 prevenzio-

ne (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.

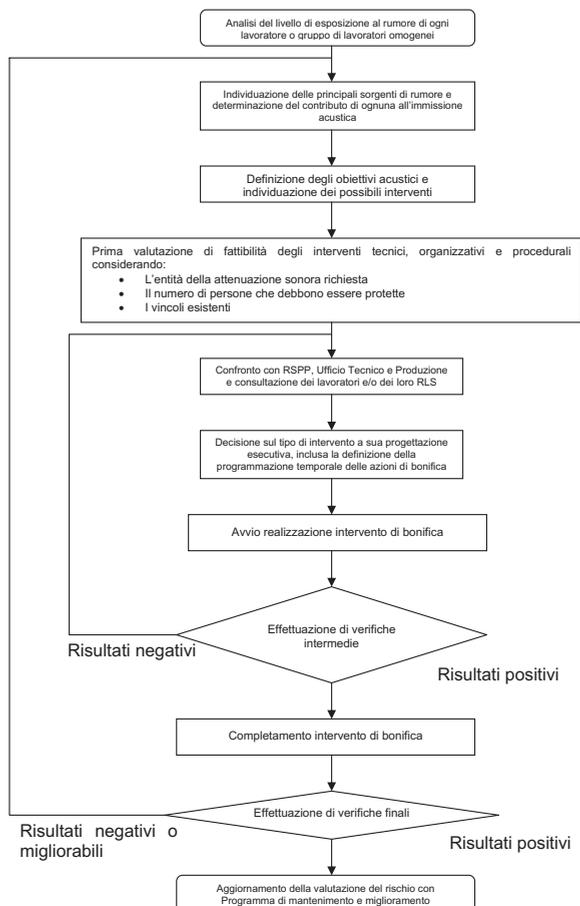


Figura 2.1: Processo di pianificazione e realizzazione delle opere di bonifica acustica nel caso di superamento dei valori superiori di azione (85 dB(A) di L_{Ex} e/o 137 dB(C) di $L_{C(\text{picco})}$)

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 lavora-

tori. 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.

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

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.

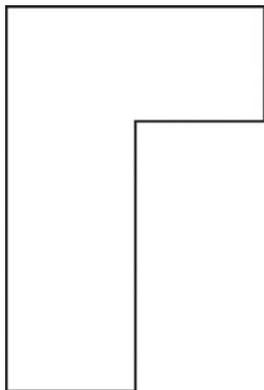


Figura 3.1a: Pianta di stabilimento a L

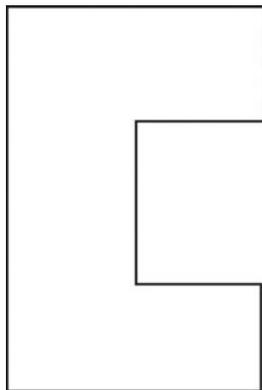


Figura 3.1b: Pianta di stabilimento a C

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).

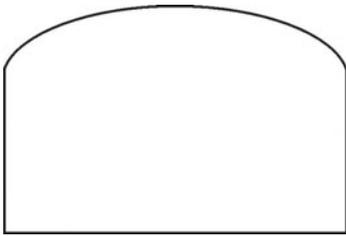


Figura 3.2a: Soffitto a volta

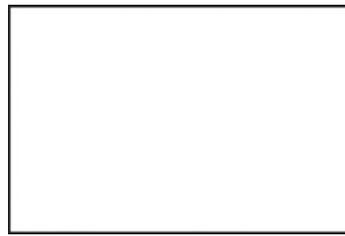


Figura 3.2b: Soffitto piano orizzontale

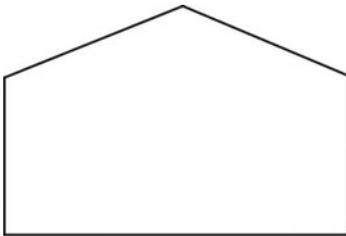


Figura 3.2c: Soffitto a doppia falda

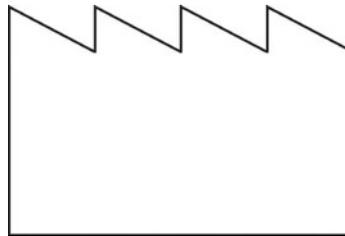


Figura 3.2d: Soffitto a denti di sega (*sheds*)

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_θ , delle caratteristiche assorbenti del locale e delle sua geometria (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).

3.1.5. 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 rea-

lizzato 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**.

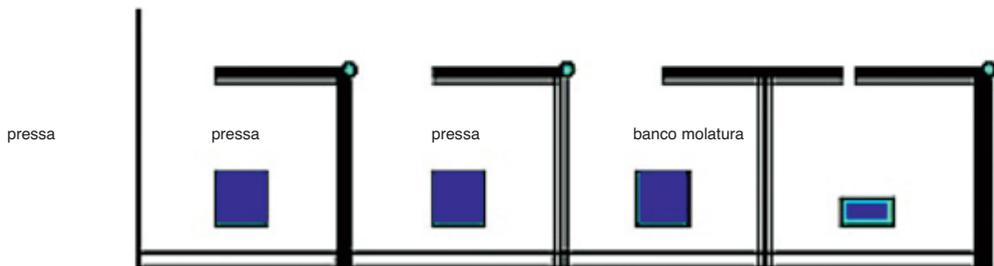


Figura 3.3: Schemi a forma di L o T

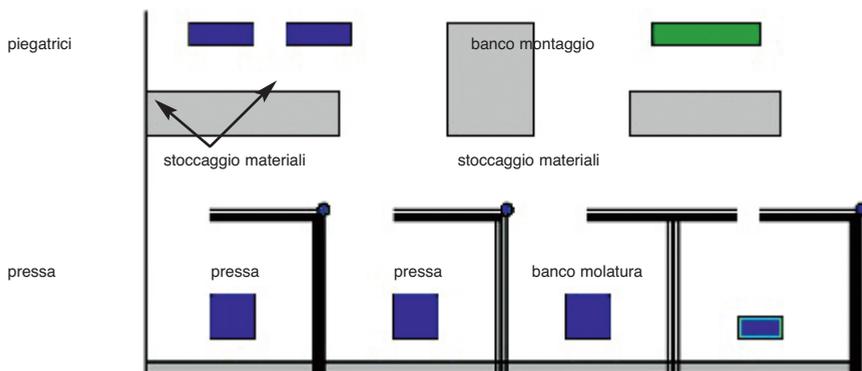


Figura 3.4: Aree di stoccaggio dei materiali utilizzate come schermi

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 risconteranno 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.

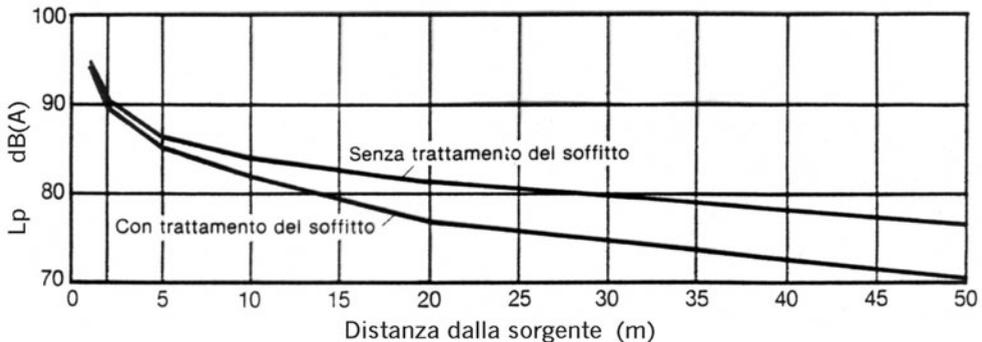


Figura 3.5: Curve di decremento del livello sonoro in funzione della distanza dalla sorgente misurate in un capannone industriale prima e dopo il trattamento del soffitto con pannelli fonoassorbenti sospesi (*baffles*)

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.

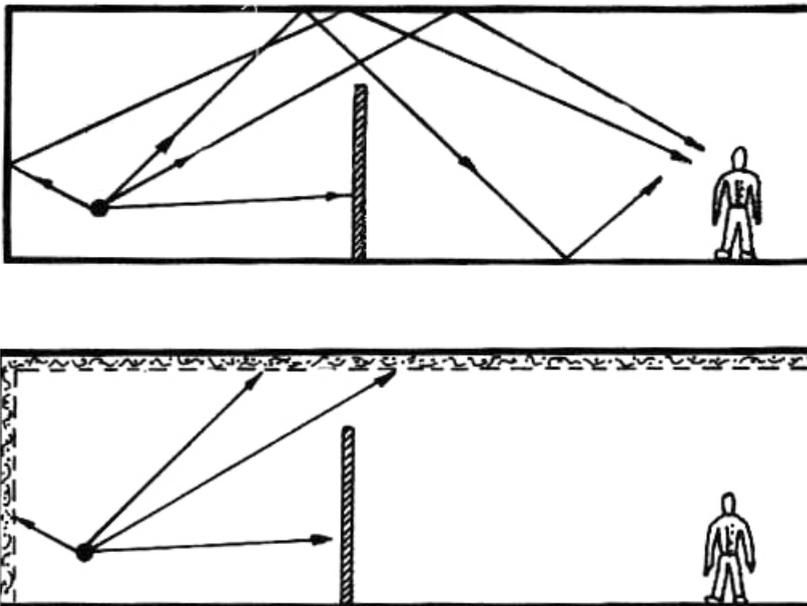


Figura 3.6: Schematizzazione dell'effetto dei trattamenti fonoassorbenti superficiali nel caso di impiego di barriere fonoisolanti in uno spazio chiuso

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:

- a) 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*;
- b) 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);
- c) livello corretto del rumore di impianto L_{c} 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);
- d) 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_c 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 aeraulici, 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 scolastica"*)².

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_c , 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.

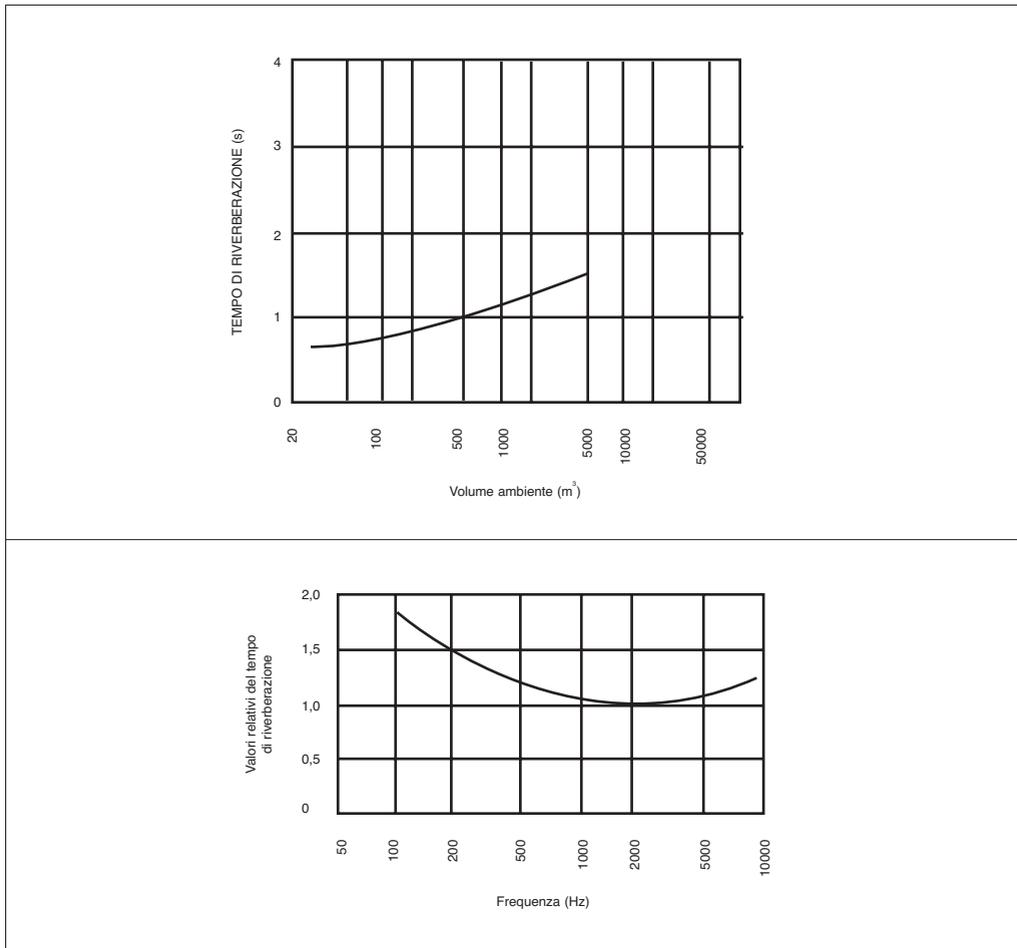


Figura 4.1: Diagrammi per il calcolo dei tempi di riverbero secondo il D.M. 18/12/75³

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

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.

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) $L_{pA_{max}}$;
- 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 aeraulici 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:

- 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);
- 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);
- 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;
- 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

SETTORE DI ATTIVITÀ Tipologia d'uso del locale	Isolamento facciata D _{2m,nT,w} (dB)	Potere fonoisolante R'W / D (dB)	Caratteristiche fonoassorbenti T ₆₀ (s) / DL ₂ (dB)	Livello di calpestio L' _{nT,w} (dB)	Rumore di impianti L _{ic} dB(A)	Rumore di fondo L _{Aeq} dB(A)	Condizioni espositive 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 ATTIVITÀ 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 ^(4,2)	55	45 ⁽³⁾	45	65-75-80 ⁽⁸⁾
ATTIVITÀ 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
ATTIVITÀ 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 T₆₀ / Hz e T₆₀ / 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:

- 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;
- in aggiunta al precedente anche il livello di potenza acustica (L_{WA}) emesso dalla macchina, quando il livello di pressione acustica continuo equivalente 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;
- 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 CONFORMITA'
CE DECLARATION OF CONFORMITY

Il fabbricante / the manufacturer :

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

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

tipo (vedi allegato) / type (see annex) : A.A.A.A.A.A
Numero / number : BBBBB
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 90/27/CEE;
- bassa tensione / low voltage 73/23/CEE;
- compatibilità elettromagnetica / electromagnetic compatibility 89/338/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

WWW/WW 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. / The
CE declaration is consisting of one page and one annex of two pages and it is reproducible like only in full.

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

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.

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

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.

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.

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.

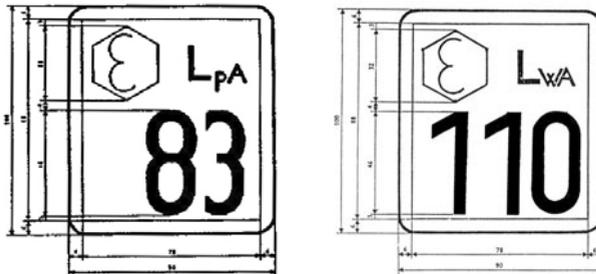


Figura 5.2: Targhette di informazione del livello di pressione sonora al posto di lavoro L_{pA} (sinistra) e di potenza sonora L_{WA} (destra) previste dalla normativa vigente fino al 31/12/02 per alcune macchine funzionanti all'aperto.

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).

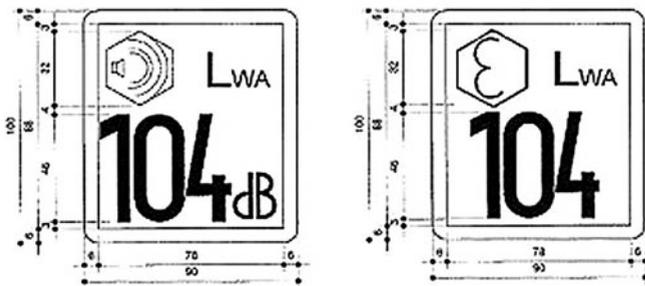


Figura 5.3: Targhette riportanti il livello di potenza sonora per una macchina o attrezzatura rispondente alla nuova normativa 2000/14/CE (sn) e a quella precedente (dx).

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 verifichino 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).

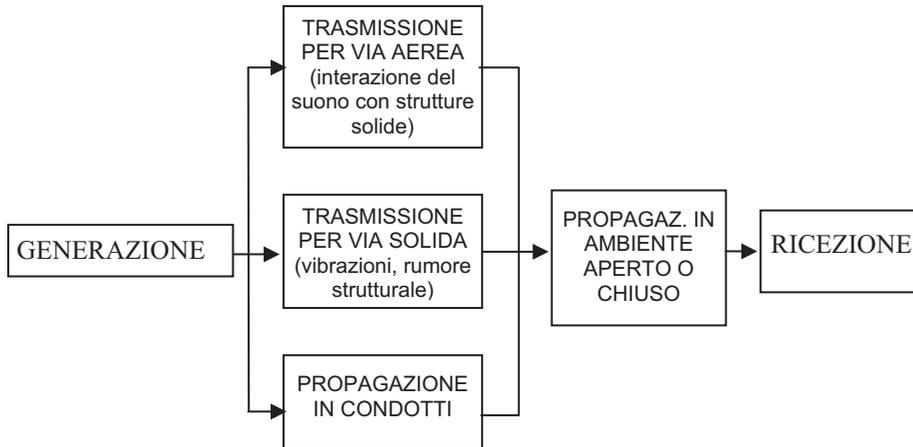


Figura 6.1: Schema generale della emissione ed immissione acustica.

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".

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 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.

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 ricomprensione 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 lamiera 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 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.

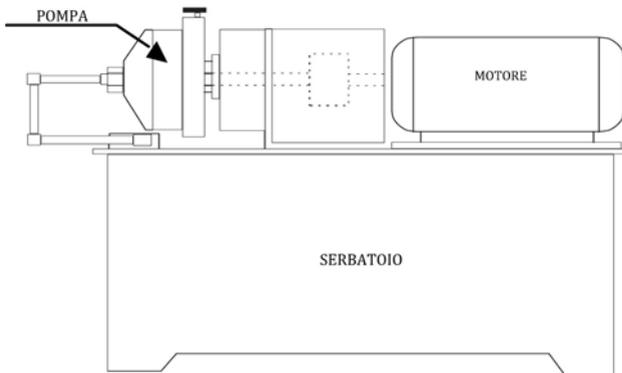
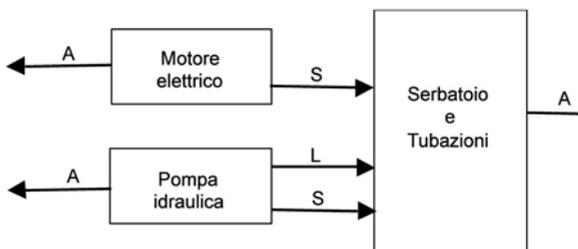


Figura 6.3: Sorgenti di rumore di una centralina idraulica.

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;

- b) 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:

- l'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.

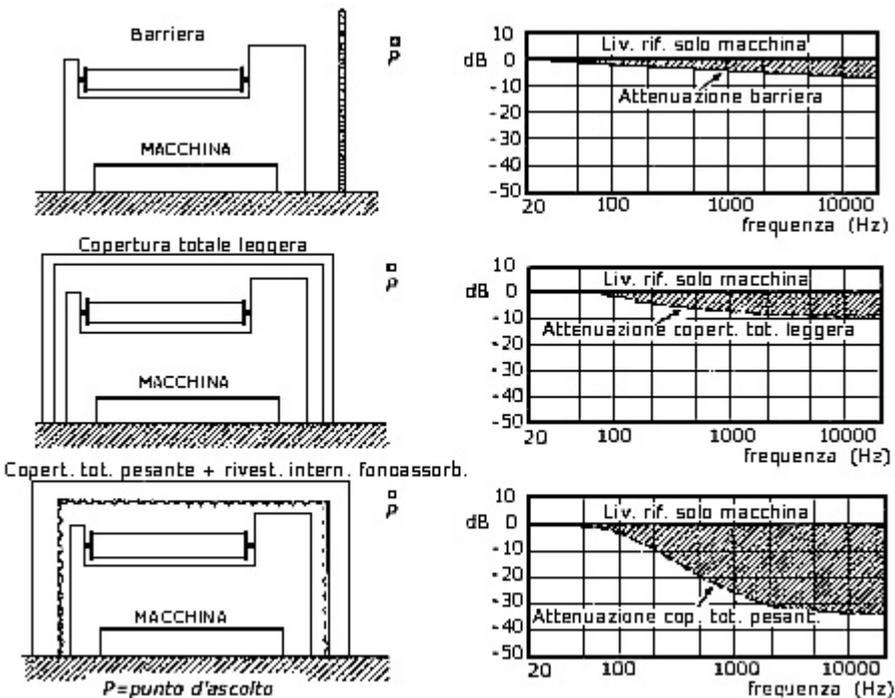


Figura 6.6: Esempi di riduzione della rumorosità trasmessa per via aerea da una macchina con l'impiego di una barriera, di una copertura integrale leggera e di una copertura pesante con rivestimento fonoassorbente interno. (Adattato da Singal, 2000).

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 per-

sone, 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.

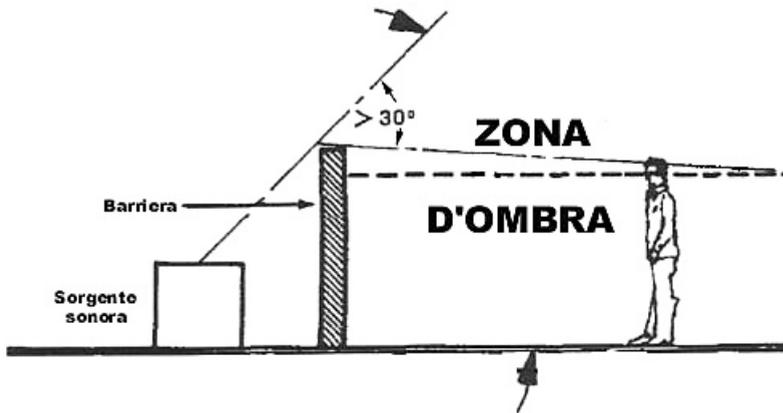


Figura 6.7: Come criterio generale, l'effetto d'attenuazione di una barriera sarà tanto maggiore, quanto maggiore di 30° sarà l'angolo relativo al punto d'ascolto situato nella zona d'ombra.

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

- la sorgente di rumore e il posto, o i posti, di lavoro da proteggere devono essere relativamente prossimi tra loro;
- 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;
- 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 $3 \div 10$ 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.

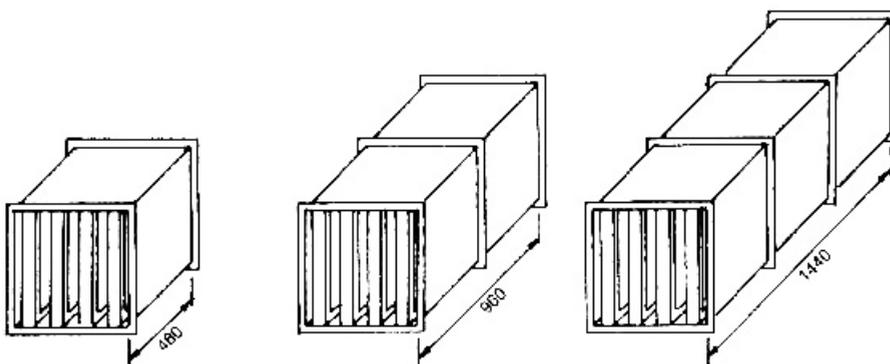


Figura 6.8: Moduli di silenziatore dissipativo a setti fonoassorbenti paralleli

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)

Tipo di dispositivo	Campo di frequenza efficace	Frequenze Ottimali	Smorzamento	Limiti	Osservazioni
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 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 della frequenza 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 buona 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 espone 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

ne, 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 posta-

zione 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, 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/FAQAgFisici081218C1C2C3C4_ok.pdf
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/LGDirettivaMacchine.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

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_i): 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 (DL2): 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 Intelligibility 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 L1 e l'altro di ricezione L2:

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

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:

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

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 :

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

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.

**Metodologie e interventi tecnici
per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro**

**Secondo Livello
Schede di approfondimento**

Scheda 1

Propagazione del rumore in ambienti chiusi: aspetti fisici

All'aperto il suono emesso da una sorgente raggiunge il punto di ricezione mediante il solo suono diretto (condizione denominata di "campo libero").

In un ambiente chiuso il suono emesso da una sorgente raggiunge il punto di ricezione non solo mediante il suono diretto ma anche attraverso le innumerevoli riflessioni che le onde sonore compiono sulle pareti dell'ambiente e che raggiungono con ritardi di tempo crescenti il medesimo ricevitore.

Nella posizione di ricezione, come in tutti gli altri punti interni all'ambiente, il suono subisce due modificazioni fondamentali:

- i suoni sono percepiti con una coda riverberante;
- il livello sonoro è maggiore rispetto al campo libero (a parità di distanza dalla sorgente sonora).

Entrambi questi due effetti sono fisicamente descrivibili facendo ricorso alle proprietà acustiche delle superfici delimitanti l'ambiente ed al volume dell'ambiente stesso.

In particolare ad ogni superficie dell'ambiente (o ad ogni porzione di essa) S_i si associa una grandezza denominata "assorbimento acustico" (α_i) che descrive le proprietà fisiche della superficie rispetto al suono su di essa incidente. Un valore pari all'unità, ($\alpha_i = 1$), corrisponde al massimo assorbimento acustico, mentre un valore prossimo a zero ($\alpha_i = 0$) indica scarso assorbimento e, conseguentemente, la proprietà della superficie di riflettere quasi integralmente le onde sonore.

Il tempo di riverberazione nell'ambiente, indicato con T_{60} o anche con RT , espresso in secondi, è calcolabile mediante la formula di Sabine espressa dalla relazione:

$$T_{60} = 0.16 \frac{V}{\sum_i \alpha_i S_i + \sum_j x_j} \quad [s] \quad (1)$$

dove V è il volume dell'ambiente; la sommatoria Σ_i è estesa a tutte le superfici fisse di contorno, pavimento e soffitto inclusi, mentre la sommatoria Σ_j tiene conto dell'assorbimento di tutte le superfici mobili comprese le persone (se presenti).

Dal punto di vista sperimentale T_{60} è definito come il tempo impiegato dall'intensità sonora a ridursi fino ad un milionesimo del suo valore iniziale (ovvero di 60 dB). Questo parametro è misurabile secondo tecniche diverse: rumore interrotto, rumore impulsivo, *sweep* sinusoidale. In un ambiente di lavoro una maggiore riverberazione determina un rumore di livello più elevato e quindi va considerata in termini negativi.

Per gli ambienti chiusi è stata formulata la seguente relazione:

$$L_p = L_w + 10 \text{Log} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

con $R = \frac{\bar{\alpha} S_t}{1 - \bar{\alpha}}$ (3)

in cui il livello sonoro L_p in una posizione interna all'ambiente è messo in relazione con il livello di potenza sonora che caratterizza la sorgente (L_w), con la sua direttività Q e con le caratteristiche acustiche delle superfici di contorno R .

Nella (2) r è la distanza tra la sorgente ed il ricevitore, nella (3) S_t è la superficie totale interna dell'ambiente e $\bar{\alpha}$ è una media pesata dei coefficienti di assorbimento. La quantità R è denominata costante dell'ambiente.

L'andamento del livello sonoro determinato dalla relazione (2) è riportato per diversi valori della costante dell'ambiente R nella Figura 1.1.

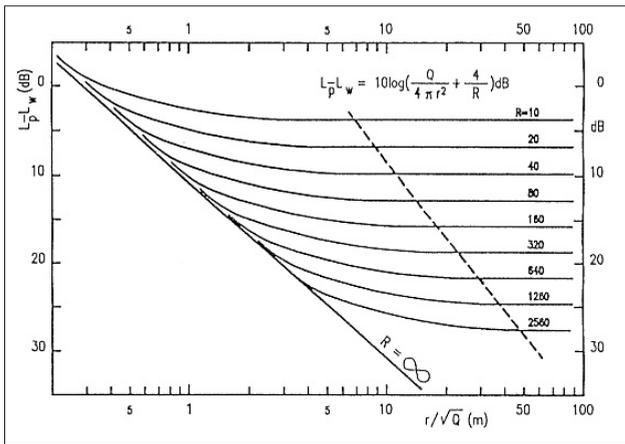


Figura 1.1: Andamento della differenza tra livello di potenza della sorgente e livello sonoro a distanza r per valori crescenti della costante ambientale.

Nella zona vicina alla sorgente sonora (“campo vicino”) prevale il livello del suono diretto dalla sorgente al ricevitore. Questo corrisponde al primo termine in parentesi nell’equazione

(2) $\left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$ che implica un decremento del livello sonoro di 6 dB per un raddoppio di

distanza dalla sorgente. Allontanandosi dalla sorgente acquista rilevanza il “campo riverberante”, ovvero il contributo al livello totale dato dall’accumularsi successivo delle riflessioni sonore. Questo contributo, che è descritto nel secondo termine in parentesi dell’equazione

(2) $\left(\frac{4}{R} \right)$ non dipende dalla distanza sicché, oltre una definita distanza (raggio critico), esso

è preminente. Il raggio critico separa quindi il campo diretto da quello riverberante e a grandi distanze il campo complessivo risulterà costante.

Le formule previsionali per il tempo di riverberazione (1) e per il livello sonoro (2) sono valide per ambienti le cui dimensioni (altezza, lunghezza, larghezza) non siano troppo dissimili tra loro e nei casi in cui l'assorbimento acustico sia distribuito in maniera uniforme sulle diverse superfici (ambienti sabiniani). Viene inoltre trascurato l'assorbimento dell'aria, che va considerato invece in ambienti di grandi dimensioni.

In realtà, esistono ambienti industriali che differiscono dalle ipotesi sabiniane, ad esempio:

1. ambienti bassi e vasti (ad esempio, stabilimenti tessili): in essi le riflessioni multiple si indirizzano sull'asse ortogonale al pavimento ed al soffitto;
2. ambienti lunghi (tunnel o corridoi): in questi le riflessioni si distribuiscono nel piano ortogonale all'asse maggiore;
3. ambienti con pavimento e soffitto fortemente assorbenti (ad esempio, sale da conferenza): in questo caso le riflessioni provengono principalmente dalle pareti laterali.

Per queste tipologie di ambienti sono state sviluppate diverse metodiche previsionali che si discostano in maniera più o meno marcata da quelle caratteristiche degli ambienti sabiniani. Negli ambienti industriali l'allestimento interno (macchine, impianti, ecc.) può di volta in volta favorire la propagazione del rumore o sfavorirla. Per caratterizzare il livello sonoro sono generalmente riportati due parametri noti come DL_1 e DL_2 . Il primo misura l'aumento del livello sonoro rispetto al livello prodotto dalla medesima sorgente in campo libero, mentre il secondo costituisce il decremento del livello sonoro per il raddoppio della distanza. Tramite questi due parametri si riesce a descrivere una curva misurata sperimentalmente nell'ambiente, nota come "curva di propagazione del suono", che riporta il livello sonoro misurato in ragione della distanza dalla sorgente sonora (Figura 1.2).

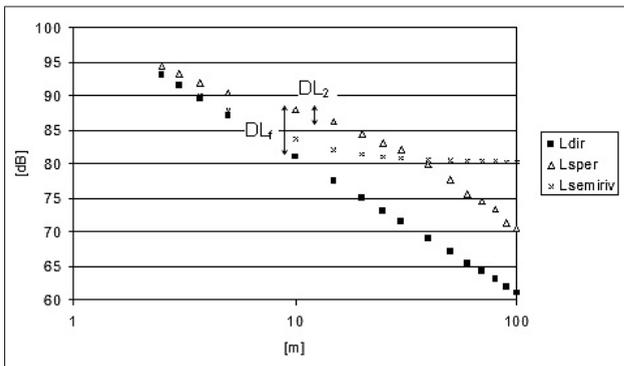


Figura 1.2: Decremento del livello sonoro con la distanza in un ambiente industriale.

Nel caso in cui si possa tracciare una curva valida per tutto l'ambiente, i valori dei parametri DL_1 e DL_2 rientrano solitamente tra quelli riportati nella Tabella 1.1.

Tabella 1.1: Valori tipici per i parametri DL_1 e DL_2 negli ambienti industriali

	Campo vicino	Distanze medie	Campo lontano
DL_1	~ 0 dB	2 ~ 10 dB	< 5 ~ 10 dB
DL_2	5 ~ 6 dB	2 ~ 5 dB	> 6 dB

Inoltre secondo la norma UNI EN ISO 11690-3:2000 a grandi distanze dalla sorgente l'effetto di schermatura, densità e assorbimento degli allestimenti può in alcuni casi produrre un $DL_2 < 0$ dB. Negli ambienti industriali vi è quindi una zona a distanza intermedia, in cui il livello sonoro è maggiore di quello previsto dalle formula del campo semi-riverberante (formula 2), mentre per grandi distanze tale livello è decisamente inferiore rispetto a quello previsto.

Per prevedere il livello sonoro negli ambienti industriali in vista della loro bonifica acustica sono state sviluppate diverse formule sia analitiche che empiriche o semi-empiriche, più o meno complesse. In particolare è prassi comune considerare che gli elementi interni all'ambiente contribuiscano a rendere le riflessioni sonore "diffuse". Questo vale sia per il pavimento dove sono installati i macchinari e dove permangono i materiali, sia per il soffitto nel caso esso sia di profilo irregolare. Tra le molte formule derivate si ricorda specialmente quella dovuta a Kuttruff:

$$L_p = L_w + 10 \text{Log} \left\{ \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{(1-\bar{\alpha})}{\pi h^2} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{r^2}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} + b \frac{(1-\bar{\alpha})}{\bar{\alpha}} \frac{1}{\left(b^2 + \frac{r^2}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right] \right\} \quad (4)$$

dove Q è la direttività della sorgente, h è l'altezza dell'ambiente, r è la distanza sorgente-ricevitore, $\bar{\alpha}$ è il coefficiente di assorbimento medio tra pavimento e soffitto e b si ricava dai dati seguenti:

Tabella 1.2: Valori sperimentali del parametro b da inserire nella formula (4) al variare di $\bar{\alpha}$ (tratto da Kuttruff H., *Sound propagation in working environments*, Proc. 5th FASE Symposium, Thessaloniki 1985)

$\bar{\alpha}$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
b	3.03	2.165	1.843	1.665	1.551

Questa formula è in grado di prevedere con sufficiente precisione i valori del livello sonoro in un'ampia casistica di ambienti industriali.

Scheda 2

Propagazione del rumore in ambienti industriali: modellizzazione

La modellizzazione acustica degli ambienti chiusi può essere sviluppata mediante programmi di simulazione acustica. Si tratta di modelli tridimensionali (CAD acustici) che considerano le proprietà acustiche dei materiali di contorno e che consentono di inserire nel modello sorgenti sonore e ricevitori. Un modello di questo tipo è mostrato nella Figura 2.1.

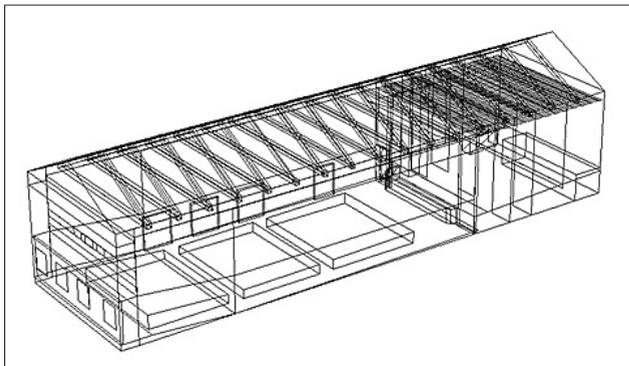


Figura 2.1: Modello di una sala sviluppato su CAD acustico.

In questi modelli le componenti architettoniche del locale sono descritte con un grado di dettaglio che trascura in genere le parti più minute: questo succede sia per limitare il tempo di calcolo sia per le approssimazioni insite negli algoritmi di calcolo. Questi possono essere di natura geometrica o statistica (o entrambe). Per il loro funzionamento è necessario conoscere (o assegnare) i coefficienti di assorbimento di tutte le superfici che compongono il modello, descrivere fisicamente la sorgente sonora riguardo a potenza emessa e direzionalità e sistemare i ricevitori in punti significativi.

In diversi casi, l'inserimento dei dati acustici relativi ai materiali di contorno delle superfici ed agli equipaggiamenti è spesso arduo poiché è assai difficile disporre di dati attendibili. Anche l'effetto schermante e diffondente delle attrezzature deve essere accuratamente verificato prima dell'immissione dei relativi dati nel modello di calcolo. In mancanza di una verifica si può incorrere in errori grossolani.

In Figura 2.2 è riportato un confronto tra dati di simulazione (ottenuti mediante il software Ramsete) e quelli sperimentali.

Per il motivo sopra indicato i modelli di simulazione sono più affidabili per le modifiche piuttosto che per la progettazione ex-novo. Nel primo caso infatti il modello di calcolo può essere tarato sui dati di misura aggiustando alcuni coefficienti dei materiali o intervenendo su coefficienti ad hoc.

È bene tenere presente che la predisposizione di un modello per un tipico ambiente industriale risulta onerosa in termini di tempo.

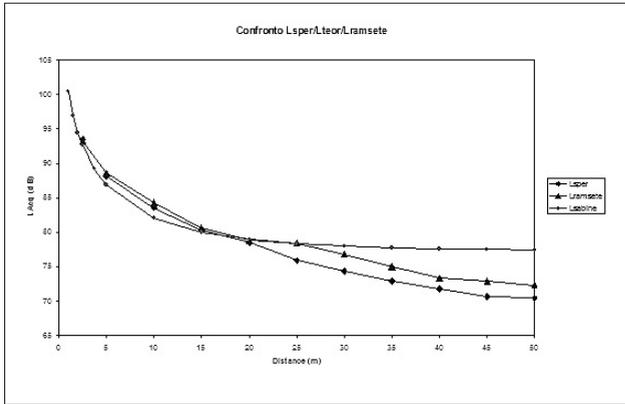


Figura 2.2: Confronto tra i dati di simulazione e quelli sperimentali.

Come prodotto della simulazione, dai modelli di calcolo si ottiene la risposta all'impulso energetica dell'ambiente. Questa funzione, diversa da punto a punto, caratterizza completamente le condizioni acustiche dell'ambiente. Da essa sono poi estratti i parametri quali il tempo di riverberazione, il livello di pressione sonora ed altri che in ciascun punto specificano nei dettagli le diverse condizioni di ricezione.

Nella Figura 2.3 è riportata la risposta energetica all'impulso in una posizione al centro della sala simulata allo stato di fatto e di progetto. Nel secondo caso si vede come la coda sonora sia più distesa con la conseguenza di un più lungo tempo di riverberazione.

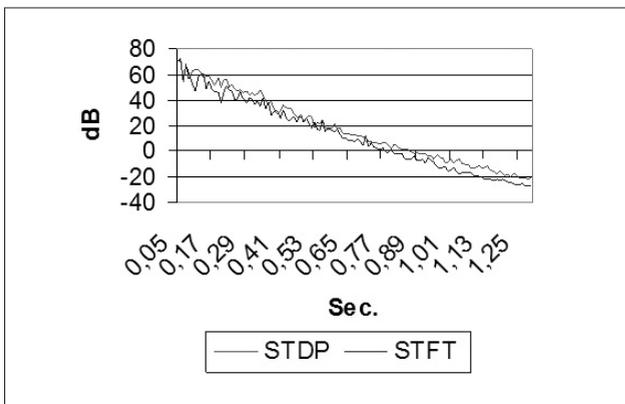


Figura 2.3: Risposta energetica all'impulso simulata nello stato di fatto (STFT) e nello stato di progetto (STPG).

Programmi di simulazione commerciali

In commercio sono presenti alcuni programmi di simulazione (vedi sezione B4 del Terzo Livello).

In genere i software di modellizzazione di ambienti confinati si basano sulla tracciatura di raggi (*ray tracing*) o piramidi (*pyramid tracing*) o sul metodo delle sorgenti immagine, oppure su meto-

di ibridi. In alcuni casi è possibile tener conto dell'effetto di diffrazione sul bordo libero delle schermature o degli ostacoli e considerare la quota di energia che attraversa le superfici.

L'ambiente che si intende simulare può essere definito importando i dati geometrici disponibili in formato dxf (da AutoCAD 3D). In alternativa può essere definito ricostruendo la struttura dell'ambiente mediante CAD interno, lavorando contemporaneamente su più finestre (con vista in pianta, sezioni ed assonometria) ed introducendo i principali elementi geometrici (pavimento, pareti, tetti, porte, finestre, ecc., sorgenti e ricevitori); alle sorgenti direttive può essere assegnato un orientamento. È possibile inserire anche porte, finestre, aperture per ricambi d'aria, ecc. (Figura 2.4).

Per quanto riguarda le sorgenti (Figura 2.5) possono essere importate direttamente le misure utili per la determinazione della loro potenza sonora. Si può determinare e visualizzare la direttività delle sorgenti.

Per quanto riguarda i materiali di rivestimento e di isolamento vengono fornite librerie contenenti i dati acustici di svariati materiali alle diverse bande di frequenza; tali librerie possono accogliere i dati specifici inseriti dall'utente.

Modificando i materiali di rivestimento è possibile valutare direttamente l'adeguatezza degli interventi di trattamento fonoassorbente delle pareti. Si possono simulare interventi acustici di insonorizzazione delle sorgenti mediante coperture integrali o parziali (sorgenti monopermeabili).

La visualizzazione interattiva mostra la geometria, i materiali e la posizione delle sorgenti in un ambiente tridimensionale (3D). Ad ogni superficie può essere assegnato un colore diverso in base al differente coefficiente di assorbimento.

Per quanto riguarda i risultati, essi possono essere molteplici:

- risposta singola, sorgente – ricevitore;
- risposta multipla, sorgenti – ricevitori;
- tempo di riverberazione basato su ipotesi e formule differenti;
- visualizzazione dinamica e tridimensionale dei raggi di riflessione durante il calcolo;
- livelli sonori in banda larga (Lin o A) o per bande di ottava in qualsiasi punto dell'ambiente;
- mappa dei livelli sonori basata su una griglia di punti (Figura 2.6).

È possibile calcolare numerosi parametri: Livello di Pressione Sonora lineare (SPL) e ponderato A (SPL(A)), *Rate of Spatial Decay* (DL_2), Tempo di Riverberazione (T_{90}), *Early Decay Time* (EDT), *Speech Transmission Index* (STI), *Centre Time* (CT), Livello riferito a 10 m in campo libero (G).

I risultati possono essere stampati, copiati sulla clipboard di Windows, esportati in molti formati numerici (WMF, EMF, BMP, GIF, JPG). I risultati, inclusi i parametri calcolati, i dati di riflessione, le curve, ecc., possono essere esportati in formato ASCII.

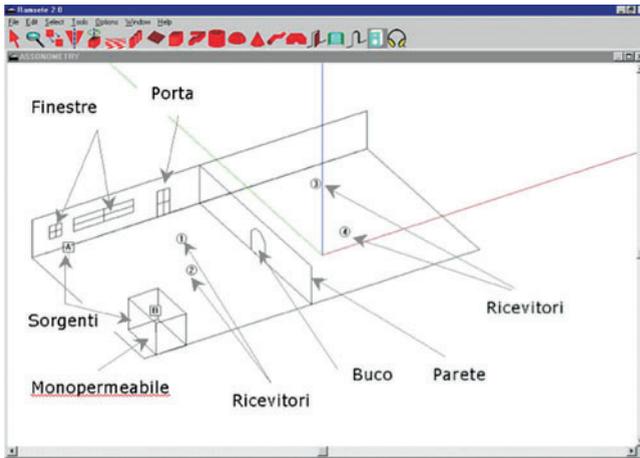


Figura 2.4: Modellizzazione semplificata di uno stabilimento industriale.

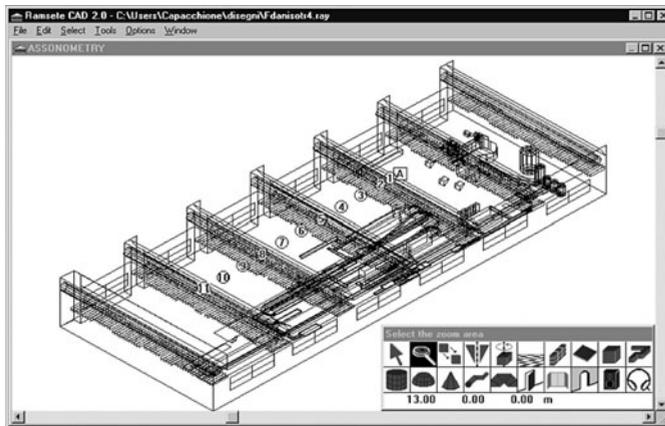


Figura 2.5: Modello CAD acustico di uno stabilimento industriale con sorgenti e ricevitori.

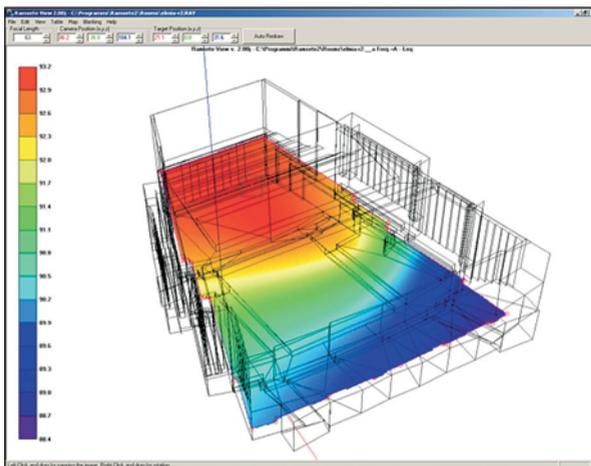


Figura 2.6: Visualizzazione di una mappatura acustica.

Scheda 3

Isolamento acustico: aspetti fisici

Se si pone una sorgente sonora in un locale (emittente) separato da un altro (ricevente) mediante una parete divisoria, una parte dell'energia sonora emessa dalla sorgente colpisce la parete divisoria.

Dell'energia incidente la parete (W_1), una parte viene riflessa all'indietro verso la sorgente, una parte viene assorbita dalla parete durante il suo attraversamento ed una parte viene trasmessa (W_2) al locale adiacente.

La trasmissione avviene in quanto la parete, investita da onde successive di pressione e depressione, viene da queste posta in vibrazione diventando essa stessa un generatore sonoro, capace di trasmettere energia nel locale ricevente.

Naturalmente la quantità di energia trasmessa sarà tanto minore, quanto maggiore è la resistenza opposta dalla parete ad essere posta in vibrazione, ossia quanto maggiore è la sua capacità isolante.

Il rapporto fra energia trasmessa ed energia incidente viene definito *coefficiente o fattore di trasmissione*:

$$1) \quad \tau = \frac{W_2}{W_1}$$

La capacità di isolare acusticamente posseduta dalla parete è invece il *potere fonoisolante* espresso in decibel dalla relazione:

$$2) \quad R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

La trasmissione quindi dell'energia sonora da un locale all'altro attraverso la parete comune viene definita *trasmissione diretta* (vedi Figura 3.1 linea 1) e dipende sia dal potere fonoisolante della stessa che dalla sue dimensioni; cioè, a parità di potere fonoisolante, una superficie divisoria doppia di un'altra trasmette il doppio dell'energia sonora nel locale ricevente.

Tuttavia nei casi più comuni la trasmissio-

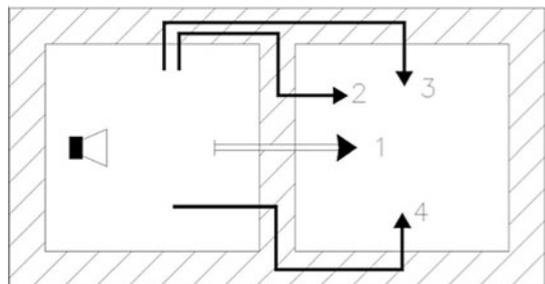


Figura 3.1: Vie di trasmissione diretta e laterale del rumore.

ne dell'energia sonora da un locale ad un altro ad esso adiacente non avviene soltanto attraverso la parete di separazione, ma anche attraverso le pareti laterali o le solette dei locali (vedi Figura 3.1 linee 2, 3, 4); si parla allora di *trasmissione laterale o secondaria*.

Tale tipo di trasmissione dipende dalla natura delle pareti stesse e dai collegamenti fra queste e la parete di separazione.

Pertanto quello che normalmente si misura fra due locali è un *potere fonoisolante apparente* pari a:

$$3) \quad R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3}$$

Essendo W_1 potenza sonora incidente sulla parete
 W_2 potenza sonora trasmessa attraverso il divisorio
 W_3 potenza sonora trasmessa attraverso gli elementi laterali.

In entrambi i casi esaminati tuttavia il livello sonoro che si determina nell'ambiente ricevente non dipende soltanto dal potere fonoisolante e dalle dimensioni della parete divisoria, ma anche dalle caratteristiche di assorbimento acustico delle superfici interne del locale stesso. Il parametro strettamente correlato all'assorbimento acustico interno di un locale è il *tempo di riverberazione* T_{60} .

Se l'emissione della sorgente è infatti prolungata nel tempo, e la durata della riverberazione nel vano ricevente è elevata, l'energia direttamente trasmessa attraverso il divisorio si somma a quella trasmessa poco prima, e ancora in parte presente per effetto delle riflessioni interne delle pareti del locale ricevente. Quanto minore è quindi il tempo di riverberazione, o analogamente, quanto maggiore è l'assorbimento acustico del locale ricevente tanto minore è l'energia riflessa e di conseguenza minore è il livello sonoro nel locale ricevente.

Si ricorda che il tempo di riverberazione in un ambiente è per definizione, quello necessario perché il livello sonoro in esso esistente, decresca di 60 dB a partire dall'istante in cui cessa la causa che lo determina.

Tale tempo di riverberazione, espresso in secondi, secondo la formula di Sabine è pari a:

$$4) \quad T_{60} = 0,16 \frac{V}{A}$$

Essendo:

V volume dell'ambiente ricevente (m^3)
A area di assorbimento acustico equivalente dell'ambiente ricevente in (m^2)

A sua volta:

$$5) \quad A = \alpha_m \cdot S$$

dove:

α_m coefficiente di assorbimento acustico medio del locale ricevente
S superficie complessiva delle pareti interne del locale in m^2 .

Nel caso le misure per la determinazione del potere fonoisolante di pareti divisorie o componenti di edifici (finestre o porte) vengano effettuate in laboratorio, qui, mediante particolari accorgimenti (realizzazione di camere acustiche con strutture murarie non rigidamente collegate fra loro), viene reso minimo l'effetto delle trasmissioni secondarie.

In tale caso il potere fonoisolante dell'elemento in prova viene definito dalla quantità R espressa in decibel e normalmente fornita in bande di frequenza di ottava o terzi di ottava:

$$6) \quad R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

dove:

- L_1 livello medio di pressione sonora nell'ambiente emittente (dB)
- L_2 livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente (dB)
- S superficie della parete o dell'elemento in prova (m^2)
- A area di assorbimento acustico equivalente nella camera ricevente (m^2)

Quest'ultima grandezza viene determinata tramite la 4) mediante la misura del tempo di riverberazione.

Nel caso invece che vi siano anche trasmissioni secondarie, si ha, come si è visto, un potere fonoisolante apparente pari a:

$$7) \quad R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

con le stesse notazioni dei simboli.

È evidente dal confronto della 6) con la 7), che se le trasmissioni secondarie non sono nulle ($W_3 \neq 0$), il livello nell'ambiente ricevente L_2 è più elevato che nel primo caso e quindi il potere fonoisolante apparente è, a parità di tutte le altre condizioni (superficie in prova e assorbimento equivalente), inferiore a quello del caso precedente.

Ciò spiega perché le prestazioni di fonoisolamento misurate in laboratorio sono sempre più elevate di quelle rilevate sul campo.

In proposito si pone in evidenza che il D.P.C.M. del 5/12/1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici", stabilisce, insieme ad altri parametri (*isolamento acustico standardizzato di facciata e livello di rumore di calpestio di solai normalizzato*) i valori del potere fonoisolante apparente R' minimo richiesto per le pareti di separazione fra due distinte unità immobiliari, a seconda della categoria di edifici (residenze; uffici; alberghi e pensioni; ospedali e case di cura; attività scolastiche; attività ricreative e di culto; attività commerciali) cui esse appartengono.

In base alle considerazioni sopra riportate si definisce *isolamento acustico*, la grandezza D espressa in decibel (calcolata in bande di ottava o terzi di ottava):

$$8) \quad D = L_1 - L_2$$

dove:

- L_1 livello medio di pressione sonora nell'ambiente emittente (dB)
- L_2 livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente (dB)

Si definisce *isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico*, la grandezza D_n , espressa in decibel e normalmente fornita in bande di ottava o terzi di ottava:

$$9) \quad D_n = D - 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

dove:

- D isolamento acustico in dB
 A area equivalente di assorbimento acustico nell'ambiente ricevente in m²
 A₀ area equivalente di assorbimento acustico di riferimento (per ambienti di abitazioni viene assunto A₀ = 10 m²)

Si definisce *isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione*, la grandezza D_{nT} , espressa in decibel e normalmente fornita in bande di ottava o terzi di ottava:

$$10) \quad D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ dB}$$

dove:

- D isolamento acustico in decibel
 T tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente in secondi
 T₀ tempo di riverberazione di riferimento (per ambienti di abitazioni viene assunto T₀ = 0,5 s)

Legge di massa e frequenza

Come si è già visto in precedenza, quando un'onda sonora colpisce una parete divisoria, una parte dell'energia da essa posseduta viene trasmessa al di là della parete ed essa è tanto minore quanto più grande è la resistenza che la parete oppone ad essere posta in vibrazione. Tale resistenza è proporzionale alla massa per unità di superficie (kg/m²) della parete.

Quindi una parete pesante, a parità di onda sonora incidente, trasmette meno energia, (o in maniera analoga ha un potere fonoisolante superiore), rispetto ad una parete più leggera.

Un'altra caratteristica del potere fonoisolante di una parete è che esso, a parità pressione sonora (livello sonoro in decibel), è tanto maggiore quanto più elevata è la frequenza dell'onda incidente; le frequenze gravi vengono cioè trasmesse più facilmente che non le frequenze acute.

Il potere fonoisolante di una parete è quindi tendenzialmente crescente con la frequenza del suono incidente.

Questa doppia dipendenza dalla massa e dalla frequenza è espressa nella relazione del potere fonoisolante di una parete per incidenza normale (direzione di propagazione dell'onda sonora perpendicolare alla parete):

$$11) \quad R_0 \cong 20 \log \frac{\pi \cdot f \cdot m}{\rho \cdot c} \text{ dB}$$

dove:

- R₀ potere fonoisolante (dB)
 f frequenza del suono (Hz)
 m massa superficiale (kg/m²)
 ρ densità dell'aria (kg/m³)
 c velocità del suono nell'aria (m/s)

La 11) può essere scritta in maniera semplificata assegnando alle costanti il loro valore, sotto la forma:

$$11') \quad R_0 \cong 20 \log (f \cdot m) - 42.3 \text{ dB}$$

La relazione 11) indica che a parità di massa, il potere fonoisolante di un pannello cresce di 6 dB per ogni raddoppio di frequenza del suono incidente, ed analogamente, a parità di frequenza del suono incidente, il potere fonoisolante di un pannello cresce di 6 dB per ogni raddoppio della sua massa.

La relazione 11), rappresentata su un diagramma semilogaritmico è una retta avente pendenza di 6 dB/ottava.

Se l'incidenza dell'onda sonora è invece diffusa, e la parete può essere quindi colpita da tutte le possibili angolazioni, si ha invece:

$$12) \quad R = R_0 - 10 \log (0,23 R_0) \text{ dB}$$

Le relazioni 11) e 12) descrivono tuttavia il comportamento molto semplificato di una parete divisoria quando viene colpita da un suono avente incidenza normale o diffuso.

In realtà a questo tipo di comportamento si sovrappongono altri effetti che modificano in maniera sostanziale l'isolamento acustico.

Il primo fenomeno, che interessa soprattutto le basse frequenze è dovuto all'effetto della rigidità della parete; quest'ultima ad una determinata frequenza, dipendente appunto dalla sua rigidità della parete, dalla massa e dalle condizioni di vincolo, entra in risonanza con il suono incidente e quindi il suo isolamento acustico decade a valori prossimi a zero.

Al di sotto di tale frequenza fondamentale di risonanza l'isolamento è regolato soltanto dalla rigidità ed è addirittura crescente al diminuire della frequenza (vedi Figura 3.2).

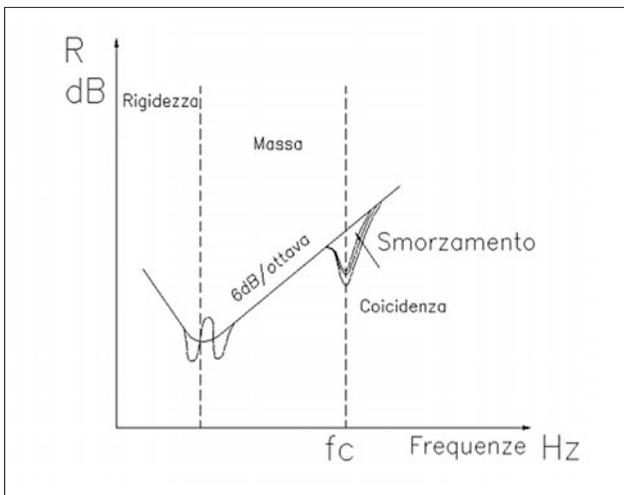


Figura 3.2: Diagramma della legge di massa di una parete singola.

Tuttavia nella maggior parte delle costruzioni la frequenza fondamentale di pareti divisorie o di solette è dell'ordine di 5-20 Hz e l'isolamento acustico a tali frequenze assume scarsa importanza pratica essendo fuori o al limite del campo di udibilità.

A tale proposito si ricorda che la gamma acustica considerata nella misura normalizzata del potere fonoisolante è quella dei terzi di ottava compresi fra 100 e 5000 Hz.

A frequenze superiori a quella di risonanza l'andamento dell'isolamento segue essenzialmente la legge di massa.

Un secondo fenomeno che provoca un notevole scostamento dalla legge di massa ed un forte decadimento dell'isolamento di un pannello è l'effetto di *coincidenza*, che in termini semplici può essere così spiegato: l'onda sonora che colpisce la parete con un angolo di incidenza non normale, induce nella parete stessa delle vibrazioni flessionali aventi lunghezza d'onda dipendente dalla velocità di propagazione del suono nel materiale di cui essa è costituita. Se le creste dell'onda di pressione dell'onda incidente coincidono con quelle dell'onda di flessione del pannello, si ha risonanza con conseguente maggiore trasmissione di energia sonora sull'altra faccia del pannello e perdita di isolamento.

La frequenza a cui si verifica questa coincidenza dipende dall'angolo di incidenza dell'onda sonora sulla parete.

Per ogni parete e per ogni rumore vi è una frequenza minima alla quale avviene il fenomeno della coincidenza; al di sotto di tale frequenza non vi può essere coincidenza per qualsiasi angolo di incidenza del suono. Tale frequenza, definita *frequenza critica*, dipende dalla massa e dalla rigidità del materiale di cui la parete è costituita.

Per pannelli di materiale omogeneo la frequenza critica può essere determinata mediante la relazione:

$$13) \quad f_c = \frac{c^2}{1,8 b} \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

Dove:

- c velocità dell'onda sonora nell'aria (m/s)
- b spessore della parete (m)
- ρ densità del materiale costituente la parete (kg/m³)
- E modulo di elasticità del materiale costituente la parete (N/m²)

Per determinare la frequenza critica per altri spessori basta dividere quella relativa ad 1 cm per lo spessore effettivo del materiale espresso in cm.

Nelle pareti divisorie o solai usati nelle comuni costruzioni, l'effetto di coincidenza riduce l'isolamento in prossimità della frequenza critica, anche di 10-20 dB rispetto alla legge di massa.

L'entità della caduta di isolamento per effetto di coincidenza dipende essenzialmente dal tipo di materiale e precisamente dal fattore di smorzamento (perdite interne), cioè dalla capacità intrinseca del materiale di ridurre per attrito interno, più o meno velocemente, le vibrazioni indotte da una causa esterna.

La gomma, il sughero ed il piombo sono ad esempio materiali a forte perdita interna; il polistirolo, il calcestruzzo il gesso ed il legno hanno perdite interne medie, mentre l'acciaio l'alluminio il vetro ed il mattone pieno hanno delle perdite interne molto ridotte.

In conclusione l'andamento tipico della curva di isolamento di una parete semplice è quello schematizzato in Figura 3.2 in cui sono visibili le varie zone governate rispettivamente dalla rigidità, dalla massa e dalla risonanza per coincidenza.

La profondità delle cadute di isolamento, sia alla frequenza di risonanza che a quella di coincidenza è regolata dall'entità dello smorzamento interno del materiale.

Tabella 3.1: Dati caratteristici di alcuni materiali da costruzione che permettono di calcolare la frequenza critica mediante la formula (13)

Materiale	ρ (kg/m ³)	$E \times 10^9$ N/m ³
Acciaio	7800	180 ÷ 250
Calcestruzzo	2300	25
Alluminio	2700	70
Rame	8900	110
Vetro	2500	70

Tabella 3.2: Frequenze critiche di alcuni materiali da costruzione più comuni.

Materiale	Massa (kg/m ³)	Frequenza critica per uno spessore di 1 cm (Hz)
Gomma	1000	85000
Sughero	250	18000
Polistirolo espanso	14	14000
Acciaio	7850	1000
Alluminio	2700	1300
Piombo	10600	8000
Vetro	2500	1200
Mattone pieno	2000 ÷ 2500	2500 ÷ 2500
Calcestruzzo	2300	1800
Gesso	1000	4000
Legno (abete)	600	6000 ÷ 18000

Nei casi reali, cioè di pareti divisorie di edifici, la trasmissione del suono da un ambiente ad un altro contiguo, non avviene, come si è visto soltanto per via diretta, ma anche per via indiretta attraverso soffitti e pareti laterali; per tale ragione nelle zone dello spettro governate dalla massa, la pendenza della curva di isolamento di pareti semplici può scendere dai 6 dB/ottava teorici a circa 4-5 dB/ottava.

Se si vuole aumentare l'isolamento della parete divisoria, si è visto che un raddoppio della sua massa sposta verso l'alto la curva di isolamento soltanto di 4-5 dB. Pertanto se si vogliono ottenere isolamenti molto elevati non risulta conveniente agire soltanto sulla massa del divisorio ma è consigliabile l'impiego di pareti multiple o "sandwich", che assicurano isolamenti decisamente superiori a quello fornito da una parete semplice avente uguale peso complessivo.

La parete multipla più semplice è quella costituita da due pareti semplici separate da uno strato d'aria (vedi Figura 3.3a). Il complesso considerato è equivalente ad un sistema meccanico costituito da due masse collegate da una molla (vedi Figura 3.3b). Tale sistema possiede una sua frequenza propria che entra in risonanza se sollecitato da una vibrazione esterna avente frequenza uguale a quella di risonanza.

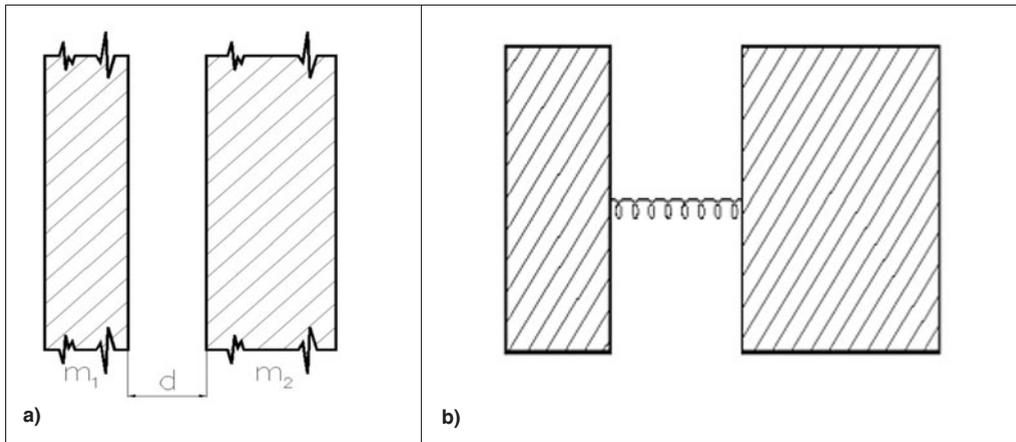


Figura 3.3: Parate doppia a) e sua modellizzazione b).

Tale frequenza di risonanza, nel caso di parete colpita da onde sonore ad incidenza qualsiasi, è pari a:

$$14) \quad f_r = 840 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

dove:

d spessore dell'intercapedine d'aria (cm)

m_1, m_2 massa per unità di superficie di ciascuno dei due elementi costituenti la parete (kg/m²)

Se la frequenza del suono incidente è minore di quella di risonanza della parete, lo strato d'aria, costituente la molla, rimane inattivo e tutto l'insieme si comporta come se i due pannelli fossero rigidamente collegati fra loro; la parete si comporta cioè se fosse semplice avente massa uguale alla somma delle due singole masse; in tal caso quindi l'isolamento segue la legge di massa.

Alla frequenza di risonanza, la vibrazione trasmessa ad uno dei due pannelli da una causa esterna, per effetto della risonanza del sistema viene trasmessa amplificata all'altro pannello; in tal caso il potere fonoisolante fornito dalla parete doppia risulta inferiore a quello fornito da una parete semplice di pari massa complessiva.

Se però il suono incidente ha frequenza superiore a quella di risonanza, l'elasticità della molla fa sì che le vibrazioni di un pannello vengano mal trasmesse all'altro pannello ed in tal caso il potere fonoisolante è decisamente superiore a quello di una parete semplice.

L'efficacia della parete è tanto maggiore quanto più elevato è il rapporto fra la frequenza del suono incidente e quella di risonanza.

Teoricamente l'isolamento aumenta di 12 dB per ogni raddoppio della frequenza (12 dB/ottava; vedi Figura 3.4).

Nel caso reale di pannelli doppi divisori delle normali costruzioni edili, vi è sempre, per ragioni costruttive, un certo numero di punti di contatto fra il primo ed il secondo pannello che costituendo dei "ponti acustici" trasmettono l'energia sonora per via solida e quindi limitano la prestazione di isolamento teorico; tale fatto combinato con quello delle trasmissioni indirette di cui si è discusso in precedenza, fa sì che pendenza della curva di isolamento reale sia di 6-10 dB/ottava, in funzione dello spessore dell'intercapedine, del tipo di materiale con cui essa è eventualmente riempita, dalle caratteristiche e dal numero di ponti acustici..

Anche in questo caso si verifica l'effetto di coincidenza nei singoli pannelli che compongono la parete doppia.

Se i due pannelli hanno la stessa frequenza critica, essi vibrano all'unisono e danno risonanza, accentuando il difetto di isolamento dei singoli pannelli.

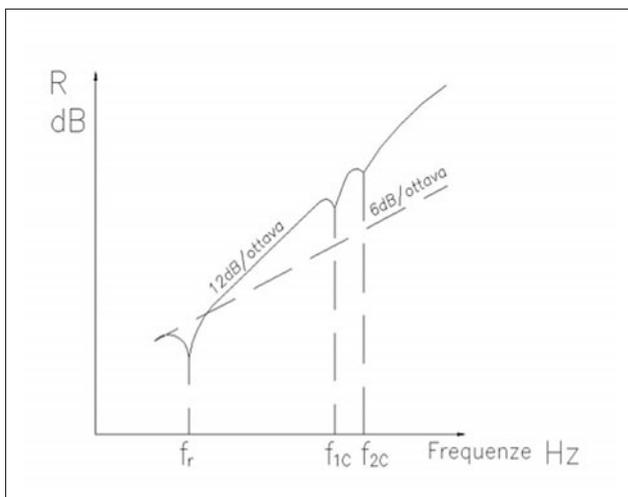


Figura 3.4: Diagramma della legge di massa per una parete doppia.

Se invece i due pannelli hanno frequenza critica diversa (agendo sulle masse e le rigidità dei materiali) la curva di isolamento in funzione della frequenza presenta due difetti, ma ciascuno di questi è minore di quello che si avrebbe nella parete semplice, in quanto quando un pannello non isola, l'altro mantiene la sua efficienza.

Per ottimizzare quindi il campo di impiego di una parete doppia sembra logico mirare ad ottenere una curva di isolamento avente risonanza in bassa frequenza (minore di 80 Hz) alla quale l'orecchio umano è poco sensibile e sfruttare così al massimo la elevata pendenza della curva (12 dB/ottava) oltre la risonanza; si ottengono così i valori di isolamento più elevati nella gamma di frequenze di maggiore sensibilità.

Applicazioni dei principi sopra esposti sono le cosiddette *contropareti*, normalmente costituite da una lastra sottile e leggera, generalmente in cartongesso, accoppiata ad una normale parete in muratura (costituita da mattoni forati intonacati, o da blocchetti di cemento vibrato, o da calcestruzzo, ecc). Per il sostegno della controparete, può venire impiegata una intelaiatura in profili a C in lamiera zincata di tipo leggero ed elastico cui la lastra viene fissata. L'intercapedine fra le due strutture viene riempita totalmente o parzialmente con pannelli di lana di vetro. L'efficacia dell'insieme è tanto maggiore, quanto minore è il numero di contatti rigidi fra la prima e la seconda parete. Un sistema ancora più efficace, è quello che utilizza una lastra di cartongesso preincollata ad un pannello di lana di vetro che a sua volta viene

incollato in opera alla parete da doppiare. Naturalmente questo tipo di controparete non permette l'ancoraggio di oggetti molto pesanti sulla lastra esterna (ad esempio mensole portanti, staffe per termosifoni, ecc.); in tali casi l'ancoraggio va fatto direttamente sul muro retrostante, a discapito, come si è già detto, della prestazione acustica a causa della creazione di "ponti acustici", fra i due elementi della controparete.

In Figura 3.5 sono riportati alcuni grafici, tratti da schede tecniche divulgative della ISOVER, che illustrano i risultati di prove di laboratorio effettuate su contropareti realizzate con lastre di cartongesso (nome commerciale Calibel) di spessore 10 mm accoppiate mediante incollaggio di un pannello di lana (spessori 30, 50, 70 mm) a strutture murarie di vario tipo. Come si può notare dall'esame dei grafici, gli incrementi di potere fonoisolante ottenuti rispetto al muro nudo sono piuttosto significativi.

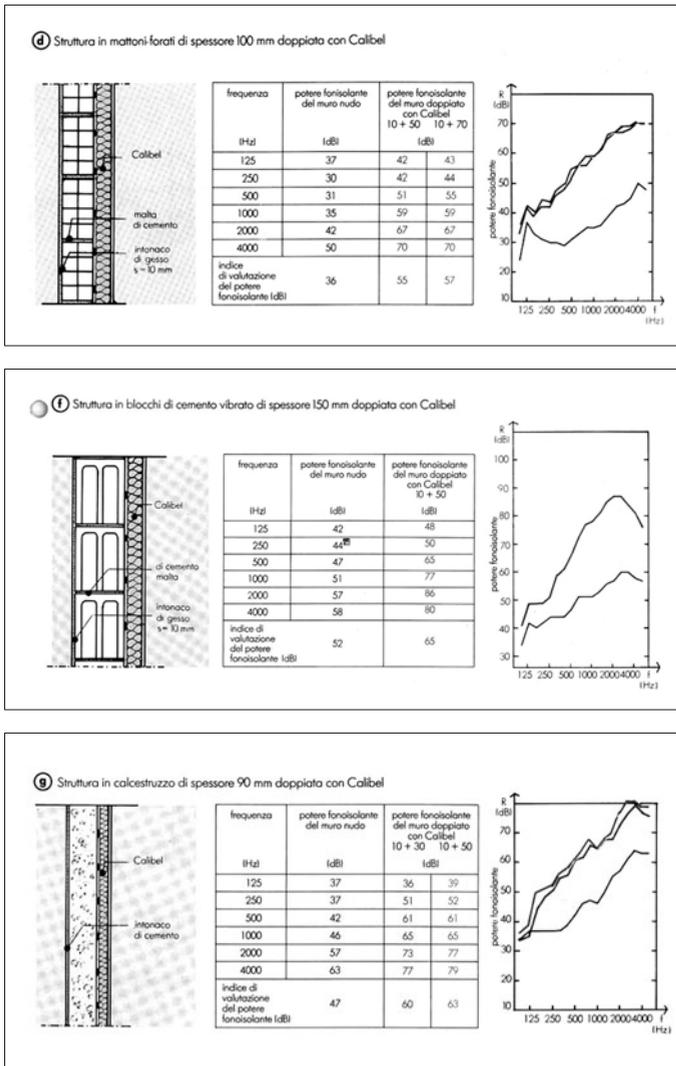


Figura 3.5: Incrementi del potere fonoisolante per apposizione di controparti sul muro nudo.

Scheda 4

Isolamento al calpestio e pavimenti galleggianti

Per rumore di calpestio si intende il rumore causato dai passi delle persone o dalla caduta di oggetti sul pavimento o da altri tipi di impatti. Tali rumori sono trasmessi essenzialmente per via strutturale e interessano il complesso pavimento-solaio. Il requisito acustico che caratterizza il comportamento di questo componente edilizio nei confronti dei rumori impattivi è il livello di rumore di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico espresso in dB.

In proposito si pone in evidenza che il D.P.C.M. del 5/12/1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici", stabilisce, insieme ad altri parametri (*potere fonoisolante apparente fra ambienti, isolamento acustico standardizzato di facciata*) il livello di rumore di calpestio normalizzato L_n massimo richiesto per solai fra due distinte unità immobiliari, a seconda della categoria di edifici (residenze; uffici; alberghi e pensioni; ospedali e case di cura; attività scolastiche; attività ricreative e di culto; attività commerciali) cui esse appartengono.

Tale parametro viene valutato attraverso la misura del livello di pressione sonora nell'ambiente di ricezione quando sul pavimento-solaio sovrastante agisce una macchina normalizzata generatrice di rumori impattivi.

La valutazione del rumore di calpestio può essere effettuata in laboratorio ed in opera. Le relative metodologie di misura sono riportate nelle norme UNI EN ISO 140-6:2000 per quanto riguarda il laboratorio e UNI EN ISO 140-7:2000 per quanto riguarda i componenti in opera. Nella Figura 4.1 è riportata la disposizione tipica delle apparecchiature di misura.

Le misure in laboratorio prevedono due tipi di prove: una per il solaio completo e l'altra per l'insieme rivestimento superficiale - massetto - materassino antivibrante, da allestire su un solaio standardizzato.

Nel primo caso viene rilevato il valore del livello di rumore di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico (L_n) definito dalla relazione:

$$L_n = L - 10 \log \frac{A_0}{A} \quad [\text{dB}]$$

dove:

- L è il valore medio della pressione sonora misurato nell'ambiente di ricezione quando sul solaio in esame è in funzione il generatore di calpestio;

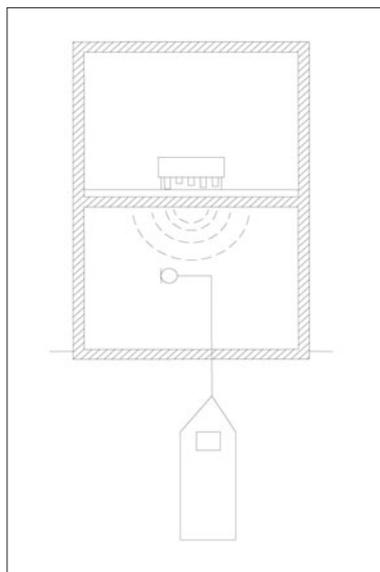


Figura 4.1: Schema di misura del livello di rumore di calpestio.

- A è l'area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente di ricezione rilevata mediante la misura del tempo di riverberazione;
- A_0 è l'area equivalente di assorbimento acustico di riferimento, pari a 10 m^2 .

Le misure in opera vengono eseguite in edifici finiti e riguardano il pavimento-solaio. La procedura di misura è analoga a quella adottata in laboratorio e fornisce il livello di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico (L'_n) o il livello di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione (L'_{nT}) definiti rispettivamente da:

$$L'_n = L - 10 \log \frac{A_0}{A} \quad [\text{dB}]$$

$$L'_{nT} = L - 10 \log \frac{T_{60}}{T_0} \quad [\text{dB}]$$

dove:

- T_{60} rappresenta il tempo di riverberazione dell'ambiente di ricezione;
- T_0 il tempo di riverberazione di riferimento pari a 0,5 s.

La grandezza che descrive, in forma sintetica, il comportamento acustico del complesso pavimento-solaio, è l'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio ($L'_{n,w}$ o $L'_{nT,w}$). Tale valore si ottiene sovrapponendo alla curva sperimentale la curva di riferimento tabulata e trasladando la stessa a passi di 1 dB, in modo che la somma degli scostamenti sfavorevoli della curva sperimentale rispetto a quella di riferimento (curva sperimentale sopra alla curva di riferimento) divisa per il numero totale di bande considerate sia inferiore o uguale, ma comunque il più vicino possibile, al valore di 2 dB.

Il valore assunto dalla curva di riferimento a 500 Hz rappresenta l'indice di valutazione del livello di calpestio.

Per ridurre il livello di calpestio si può intervenire in due modi.

Il pavimento può essere rivestito superficialmente mediante materiali elastici, quali gomma, linoleum, asfalto, ecc. Tali materiali hanno la capacità di ridurre l'energia trasmessa alla struttura e quindi la potenza sonora trasmessa nell'ambiente sottostante il solaio.

È inoltre possibile realizzare i cosiddetti "pavimenti galleggianti", ottenuti interponendo tra solaio e pavimento uno strato di materiale elastico smorzante come indicato nella Figura 4.2. La scelta del materiale elastico dovrà

tenere conto dei carichi statici e dinamici che possono insistere sul pavimento. È importante osservare che per una buona riuscita del "galleggiamento" del pavimento è indispensabile che lo strato isolante venga prolungato fino all'altezza del battiscopa.

Qualora le tubazioni degli impianti venissero installate a pavimento è consigliabile inserirle in uno strato di calcestruzzo interposto tra il solaio e il materiale elastico.

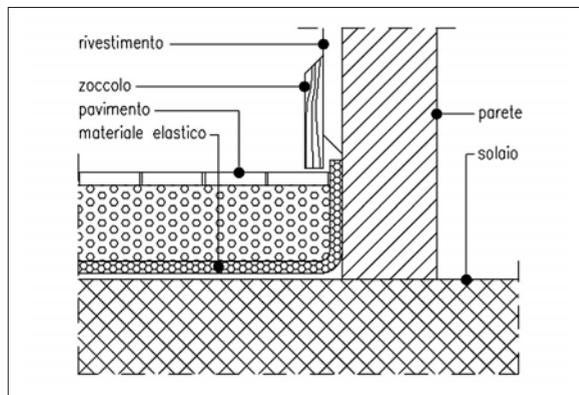


Figura 4.2: Schema di realizzazione di un pavimento galleggiante

Scheda 5

Comprensione del messaggio verbale e dei segnali di pericolo

Comprensione del messaggio verbale

Con questo termine, o con il suo sinonimo intelligibilità, si intende la percentuale di parole o frasi correttamente comprese da un ascoltatore normoudente rispetto alla totalità di parole o frasi costituenti il messaggio parlato, sia esso ascoltato direttamente dal parlatore ovvero indirettamente mediante un sistema elettroacustico (telefono, altoparlante).

Assicurare la corretta comprensione del parlato è un'esigenza fondamentale non solo nei luoghi di lavoro, per le sue implicazioni sulla sicurezza (avvisi di rischio e/o di pericolo) e l'efficienza lavorativa, ma anche negli ambienti comunitari (mense, ristoranti, supermercati, bar, sale di attesa, ecc.) ove può risultare sensibilmente deteriorata la fruibilità degli ambienti stessi.

Il fenomeno è assai complesso dipendendo da numerosi fattori di diversa natura: acustici, psicofisiologici, linguistici, culturali, ecc.. Entro certi limiti la conoscenza del linguaggio, ossia la struttura grammaticale della lingua, e della sua semantica, ossia il senso generale del messaggio, consente di compensare il degrado subito dal messaggio parlato a seguito delle caratteristiche acustiche dell'ambiente (riverberazione e rumore) e dell'eventuale sistema elettroacustico di trasmissione. Inoltre, nell'ascolto diretto, la visione dell'ascoltatore e la sua gestualità possono contribuire alla comprensione del significato del messaggio parlato anche se non tutte le parole sono correttamente riconosciute.

Principali fattori influenti la comprensione del parlato

Caratteristiche e modalità di emissione della voce umana

La voce umana presenta fluttuazioni di livello di pressione sonora molto ampie, dell'ordine di 30 dB, escluse le pause di silenzio. I suoni vocalici sono più intensi e di durata maggiore (30÷300 ms) rispetto a quelli prodotti dalle consonanti (10÷100 ms), che possono essere anche mute e assumere caratteristiche impulsive. I livelli più elevati sono attribuibili ai suoni vocalici, mentre quelli più bassi alle consonanti sonore che contribuiscono maggiormente alla comprensione del messaggio verbale. Ai fini dell'intelligibilità è importante che le caratteristiche acustiche dell'ambiente siano tali da non aumentare la durata dei suoni vocalici al punto da mascherare i fonemi consonantici, più brevi. Le frequenze di maggiore interesse ai fini di una buona intelligibilità sono quelle comprese fra 300 e 3000 Hz. La maggior parte dell'energia sonora (circa l'80%) è concentrata a frequenze inferiori a 500 Hz (suoni vocalici). La potenza vocale media a lungo termine (> 10 s) con livello di voce normale è dell'ordine di 20 μ W, corrispondente ad un livello di pressione sonora, a 1 m di distanza dalla bocca del parlatore in direzione frontale e in campo acustico libero, di circa 62 dB. In genere il parlatore adatta

l'intensità della sua voce inversamente a come detta intensità è percepita dal suo stesso udito (effetto Lombard); in presenza di rumore superiore a 50 dB(A) un parlatore normoudente solitamente aumenta l'intensità della sua voce da 3 a 6 dB per ogni incremento di 10 dB del rumore mascherante il messaggio verbale. Inoltre, per l'ascoltatore la comprensione del messaggio verbale è possibile se giunge alle sue orecchie ad una intensità che superi il rumore di fondo di almeno 10dB.

È da notare che la voce urlata risulta più difficile da comprendere, a prescindere dal livello di ascolto, a causa di importanti modifiche nella fonazione e nell'intonazione che intervengono a livelli superiori a 75 dB. In considerazione di ciò, il livello di pressione sonora del messaggio verbale, qualora superiore a 75 dB(A) a 1 m dal parlatore in direzione frontale e in campo libero ($L_{S,A,1m}$), viene ridotto della quantità $\Delta L = 0,4 (L_{S,A,1m} - 75)$ dB nel calcolo dei descrittori dell'intelligibilità del parlato. È difficile, inoltre, per il parlatore mantenere elevate intensità della voce per tempi lunghi senza incorrere in grave rischio di abuso vocale, salvo sia stato adeguatamente preparato ad un uso protratto della voce, parlata o cantata, ad alti livelli di intensità.

Tabella 5.1: Valori del livello di pressione sonora a 1 m di distanza dal parlatore (voce maschile) in direzione frontale e in campo acustico libero per diverse intensità di voce [UNI EN ISO 9921:2004]

Intensità della voce	Livello di pressione sonora
	$L_{S,A,1m}$ dB(A)
Bassa	54
Normale	60
Sostenuta	66
Forte	72
Urlata	78

Posizione parlatore-ascoltatore

In termini di orientamento è ben noto che la posizione frontale (faccia a faccia) tra parlatore e ascoltatore sia la configurazione geometrica corrispondente alla migliore intelligibilità del messaggio verbale, anche per l'ausilio derivante dalla visione dell'ascoltatore (movimento delle labbra, espressione del volto) e dalla sua gestualità. È a questa configurazione che naturalmente tendono gli interlocutori soprattutto in presenza di rumore interferente con la comunicazione verbale. Orientamenti diversi da detta configurazione, fino alla situazione peggiore di ascoltatore con le spalle rivolte al parlatore, comportano una diminuzione dell'intelligibilità del parlato. Quest'ultima, inoltre, a parità di altri fattori diminuisce all'aumentare della distanza ascoltatore-parlatore. A distanze non superiori a 2 m in ambienti aperti o chiusi il livello del messaggio verbale nella posizione dell'ascoltatore $L_{S,A,L}$ è dato dalla relazione:

$$(1) \quad L_{S,A,L} = L_{S,A,1m} - 20 \log \left(\frac{r}{r_0} \right) \quad \text{dB(A)}$$

ove r (m) è la distanza ascoltatore-parlatore e $r_0 = 1$ m. La relazione (1) è valida per $r \leq 8$ m per ambienti poco riverberanti ($T_{60} < 2$ s a 500 Hz).

Tabella 5.2: Valori preferibili della distanza minima corrispondente ad una buona intelligibilità di una conversazione a livello di voce normale e parlatore frontale

Livello di rumore nell'ambiente dB(A)	Distanza preferibile Ascoltatore-parlatore (m)
45	0,85
55	0,65
65	0,5
75	0,4

Rumorosità nell'ambiente

Il livello e lo spettro acustico del rumore presente nell'ambiente ove avviene la trasmissione del messaggio verbale contribuiscono a deteriorare la comprensione di quest'ultimo. Per caratterizzare questa influenza si utilizza il rapporto segnale/rumore (S/N), definito come la differenza in dB tra il livello della voce umana e quello del rumore di fondo presenti nella posizione in esame. All'aumentare di quest'ultimo, quindi per valori S/N progressivamente decrescenti, si osserva che ascoltatore e parlatore tendono ad ottimizzare la loro posizione reciproca (riduzione della distanza e disposizione frontale) e/o il parlatore tende ad aumentare progressivamente il livello della propria voce, spesso aumentando involontariamente anche la frequenza fondamentale, con perdita di un'ergonomia ottimale dell'emissione.

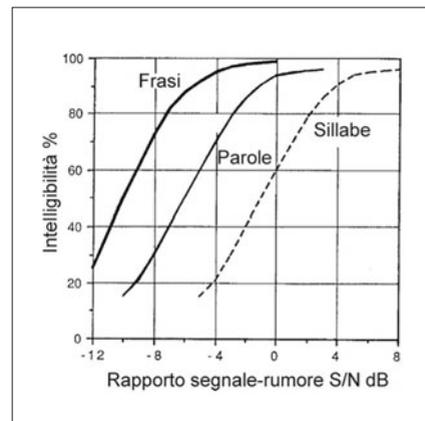


Figura 5.1: Intelligibilità del messaggio verbale in funzione del rapporto segnale/rumore.

Riverberazione dell'ambiente

Un ambiente eccessivamente riverberante influisce negativamente sulla intelligibilità del parlato, come mostrato nel grafico seguente che illustra la percentuale di intelligibilità in funzione del tempo di riverberazione T_{60} in s per diversi rapporti S/N.

Descrittori della intelligibilità del parlato

Per valutare l'intelligibilità del parlato in un ambiente occorrerebbe procedere a una serie di test soggettivi di intelligibilità con parlatori ed ascoltatori usando frasi o parole pre-selezionate secondo protocolli sperimentali consolidati, come quelli descritti nella norma UNI EN ISO 9921:2004. Essendo la procedu-

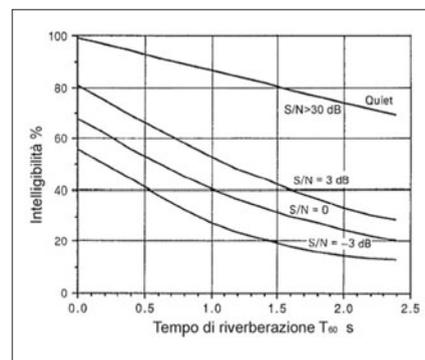


Figura 5.2: Intelligibilità del messaggio verbale in funzione del tempo di riverberazione e del rapporto segnale/rumore.

ra laboriosa e richiedente tempi lunghi di esecuzione, più frequentemente si ricorre a descrittori oggettivi agevolmente misurabili o calcolabili, codificati anche in norme specifiche.

Livello di interferenza sul parlato (SIL:norma UNI EN ISO 9921:2004)

Metodo applicabile in ambienti poco riverberanti ($T_{60} < 2$ s a 500 Hz) e in assenza di sistemi di amplificazione e trasmissione della voce. Il livello di interferenza sul parlato L_{SIL} è definito come la media aritmetica del livello di pressione sonora del rumore di fondo (ossia in assenza del messaggio verbale) nella posizione dell'ascoltatore in corrispondenza delle quattro bande di frequenza di ottava con frequenza centrale a 500, 1000, 2000 e 4000 Hz. Nelle situazioni più frequenti in genere si può ritenere valida la relazione $L_{SIL} = L_A - 8$ dB, essendo L_A il livello di pressione sonora in dB(A). L'indice SIL nella posizione dell'ascoltatore è dato dalla differenza:

$$(2) \quad SIL = L_{S,A,L} - L_{SIL} \quad \text{dB} \quad \text{dB}$$

e deve assumere valori superiori a 10 dB affinché sia garantita una intellegibilità accettabile (vedi Tabella 5.3).

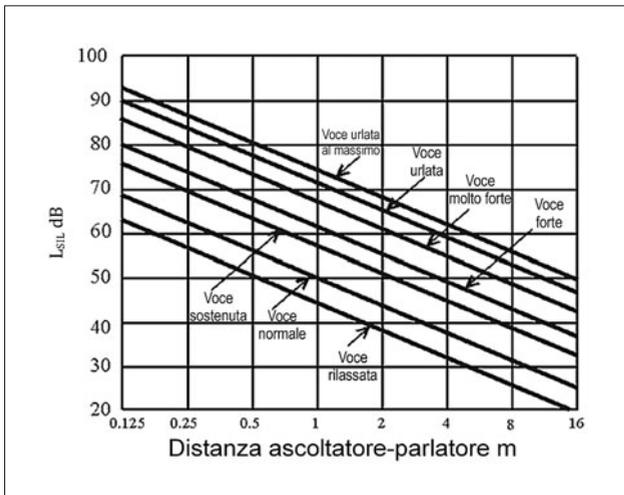


Figura 5.3: Distanza ascoltatore-parlatore per una buona comprensibilità della comunicazione verbale in funzione di L_{SIL} e per diverse intensità di voce.

Indice di trasmissione del parlato (STI: norma IEC 60268-16:1998)

Quantifica l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sulla intelligibilità del parlato e si basa sulla considerazione che la voce umana, la cui intensità varia nel tempo, può essere considerata un segnale modulato in ampiezza (0,5÷16 Hz). La voce rimane comprensibile se percepita in condizioni tali da mantenere invariate le sue caratteristiche di modulazione, esprimibili con l'indice di modulazione. La misura dell'indice STI, avente valori compresi tra 0 e 1 (vedi Tabella 5.3), consiste, pertanto, nel determinare la riduzione del-

l'indice di modulazione di un segnale di prova lungo il percorso emissione-ricezione. A tale scopo si impiega una specifica sorgente sonora collocata nella posizione del parlatore e sono disponibili sistemi automatici di misurazione sia dello STI, sia della sua versione semplificata denominata *RApid Speech Transmission Index RASTI*.

Indice di articolazione (AI: norma ANSI S3.5-1969) e Indice di intelligibilità del parlato (SII: norma ANSI S3.5-1997)

L'indice di articolazione è uno dei primi descrittori dell'intelligibilità del parlato ed è basato sul presupposto che la risposta di un sistema di comunicazione verbale possa essere suddivisa in 20 bande, ciascuna recante uno specifico contributo alla intelligibilità, e che il totale di quest'ultima sia pari alla somma dei contributi parziali delle singole bande. La procedura di calcolo è alquanto laboriosa tenendo conto del diverso contributo del rapporto S/N in funzione della frequenza. I valori di AI sono compresi tra 0 (intelligibilità nulla) e 1 (intelligibilità perfetta). In linea generale ad ogni raddoppio della distanza ascoltatore-parlatore si ha una riduzione di 0,15 per AI; stessa riduzione si registra per una rotazione di 90° dell'ascoltatore rispetto al parlatore; una diminuzione di 5 dB(A) per il rumore di fondo comporta, a parità di altri fattori, un aumento di 0,17 per AI.

Più recentemente è stato introdotto l'indice di intelligibilità del parlato SII, derivato e sostanzialmente identico all'indice STI (vedi Tabella 5.3).

Tabella 5.3: Confronto tra i descrittori della intelligibilità del parlato

Intelligibilità	Nulla	Cattiva	Scarsa	Accettabile	Buona	Eccellente
SIL dB		< 3	3 ÷ 10	10 ÷ 15	15 ÷ 21	> 21
STI	0	< 0,30	0,30 ÷ 0,45	0,45 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,75	> 0,75
AI	0	0,1	0,2 ÷ 0,3	0,4 ÷ 0,5	0,6 ÷ 0,7	> 0,7
SII			< 0,45		> 0,75	

Comprensione dei segnali di pericolo (norma UNI EN 457:2003)

I segnali di pericolo sono impiegati per attirare l'attenzione in modo affidabile su un rischio o una situazione pericolosa, senza peraltro causare una reazione di paura, anche in presenza di uso dei mezzi individuali di protezione dell'udito.

In funzione del grado di urgenza e dei potenziali effetti sulle persone si distinguono i segnali acustici di avvertimento (indicanti possibilità o presenza di una situazione di pericolo) da quelli di sfollamento d'emergenza (indicanti l'inizio o la presenza di un'emergenza).

Le caratteristiche del segnale acustico (udibilità, discriminabilità e inequivocabilità) devono essere tali che qualsiasi persona nell'area di ricezione del segnale possa riconoscerlo e reagire nel modo convenuto. A tale scopo il segnale deve essere chiaramente udibile e, quindi, superare la soglia di mascheramento dovuta alla presenza contemporanea del rumore ambientale. Di solito l'udibilità è buona per valori del livello di pressione sonora ponderata A del segnale superiori a 65 dB(A) e maggiori di almeno 15 dB rispetto al livello del rumore

ambientale in dB(A). Se quest'ultimo è maggiore di 110 dB è opportuno associare al segnale acustico anche un segnale ottico di pericolo. Per minimizzare le reazioni di paura evitare eccessivi transienti di attacco del segnale di pericolo (ad esempio incrementi superiori a 30 dB in 0,5 s).

Dei tre parametri che influenzano la discriminabilità del segnale (livello di pressione sonora, distribuzione temporale e combinazione delle frequenze), almeno due devono differire nettamente nell'area di ricezione da quelli di altri segnali e dal rumore ambientale. Le frequenze del segnale devono essere comprese nell'intervallo 300÷3000 Hz con un'energia sufficiente a frequenze inferiori a 1500 Hz per garantire il riconoscimento del segnale anche da parte di persone con perdite uditive o che usano protettori auricolari.

In genere i segnali acustici pulsanti sono da preferire a quelli costanti nel tempo. La frequenza di ripetizione dell'impulso deve essere compresa tra 0,2 e 5 Hz. I profili temporali dei diversi segnali acustici di pericolo deve differire sensibilmente tra loro per assicurare l'inequivocabilità degli stessi.

È necessario garantire che, al massimo 1 s dopo l'inizio del segnale, questo soddisfi i requisiti sopra esposti per una durata minima di 2 s.

Scheda 6

Capitolato di acquisto di una macchina

Le normative cardine (D.lgs. 17/2010 per i fabbricanti e D.lgs. 81/2008 per gli utilizzatori) hanno stabilito i seguenti obblighi:

- il fabbricante ha l'obbligo di progettare e produrre una macchina avente il minor livello possibile di emissione di rumore aereo tenuto conto del progresso tecnico, e della possibilità di limitare il rumore, in particolare alla fonte.
Il fabbricante ha altresì l'obbligo di rilevare alcune grandezze relative all'emissione acustica del macchinario che devono necessariamente essere contenute nel libretto d'uso e manutenzione associato; al suo interno dovranno figurare indicazioni¹ relative al:
 - a) livello di pressione acustica continuo equivalente ponderato A (L_{Aeq}) nei posti di lavoro se supera i 70 dB(A). In caso contrario è sufficiente che sia 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 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 ponderato C, in pratica il picco sonoro nelle macchine che producono rumori impulsivi) nelle postazioni di lavoro, se supera i 130 dB(C);
 - d) eventuali prescrizioni di montaggio volte a ridurre il rumore.

I macchinari destinati a funzionare all'aperto sono soggetti a specifica certificazione acustica a cura del fabbricante (D.lgs. 262/02); per essi si rinvia al paragrafo 5.1.2 del 1° Livello del Manuale.

- Il datore di lavoro in qualità di utilizzatore ha l'obbligo, al momento dell'acquisto, 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.

Prima di acquistare un nuovo macchinario o impianto è opportuno che l'utilizzatore segua una procedura ben precisa, idonea al conseguimento degli obiettivi di riduzione dell'esposizione

¹ Viene raccomandato al produttore di determinare i valori da riportare sulla documentazione utilizzando i metodi descritti dalle norme armonizzate per la determinazione delle grandezze acustiche; in caso contrario i dati acustici dovranno essere misurati utilizzando il codice 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.

al rumore nei luoghi di lavoro. La procedura comprende i passi indicati nel seguito, in accordo con quanto raccomandato dalla norma UNI EN ISO 11690-1:1998.

- a) Analisi delle informazioni disponibili sul rumore ambientale nel luogo di lavoro in cui la macchina andrà in funzione, oppure, se non esistono, in altri luoghi di lavoro di simile tipologia.
- b) Analisi delle informazioni disponibili presso l'azienda sull'emissione di rumore per macchinari simili a quello che verrà installato.
- c) Individuazione dei livelli di rumorosità ambientale da rispettare presso l'area di lavoro ove verrà installato il macchinario e presso gli altri ambienti di lavoro potenzialmente interessati dalla emissione acustica del macchinario stesso, anche alla luce di azioni programmate di riduzione del rumore e bonifica acustica che l'azienda intende mettere in atto.
- d) A seguito delle analisi cui ai punti a) - c), individuazione delle informazioni da richiedere ai fornitori in relazione alla rumorosità emessa dal macchinario da acquistare.
- e) Individuazione di particolari requisiti acustici da richiedere ai fini della riduzione della rumorosità emessa dal macchinario da acquistare, in relazione alla fattibilità pratica degli stessi.

Le informazioni fondamentali da verificare, ed eventualmente richiedere se mancanti, in fase di acquisto del macchinario comprendono, come previsto dalla direttiva macchine - D.lgs. 17/2010, sono i seguenti dati sull'emissione del rumore.

- a) Livello dichiarato di potenza sonora ponderato A, L_{WA} ;
- b) Livelli dichiarati di pressione sonora nei posti di lavoro, L_{pA} , e il livello massimo di picco ponderato C, $L_{pC,picco}$ se la macchina produce apprezzabili rumori impulsivi;
- c) Riferimento alla norma tecnica della procedura per prove di rumorosità utilizzata nella dichiarazione dei valori cui ai punti a), b), oppure, se non esiste tale norma, descrizione completa del metodo di misurazione adottato per la determinazione dell'emissione di rumore del macchinario.

L'allegata scheda tecnica riporta un esempio di lista di riscontro relativa all'emissione di rumore che può essere utilizzata per richiedere al produttore/distributore del macchinario i dati relativi alla rumorosità da questo prodotta.

Se esiste una procedura per prove di rumorosità per la famiglia di macchine in questione, le suddette grandezze di emissione di rumore devono rispettare quanto prescritto da tale procedura di prova. Se la procedura per prove di rumorosità offre diverse alternative, riguardo alle condizioni di funzionamento, di montaggio, alle posizioni di misura, ecc., la dichiarazione di emissione di rumorosità deve fornire tutte le informazioni necessarie alla definizione di una chiara dichiarazione di rumorosità.

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

Prima di concludere questa scheda 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".

Segue: **Scheda tecnica per l'acquisto di apparecchiature (UNI EN ISO 11690-1:1998)**

4	Valori dichiarati In alternativa: valore dichiarato con numero unico <input type="checkbox"/> con doppio numero <input type="checkbox"/>			
4.1	Valore di emissione di rumore dichiarato con singolo numero	Senza carico	Con carico	Utilizzo previsto
4.1.1	Livello di potenza sonora, L_{WA}	dB	dB	dB
4.1.2	Livello di pressione sonora nel posto di lavoro, L_{pA}	dB	dB	dB
4.2	Valore di emissione di rumore dichiarato con doppio numero			
4.2.1	Livello di potenza sonora, L_{WA} Incertezza, K_{WA}	dB dB	dB dB	dB dB
4.2.2	Livello di pressione sonora nel posto di lavoro, L_{pA} Incertezza, K_{pA}	dB dB	dB dB	dB dB
4.3	Livello di pressione sonora di picco ponderato C nel posto di lavoro $L_{pC,picco}$	dB	dB	dB

Scheda 7

Criteria di scelta del personale qualificato in acustica

Il legislatore italiano non ha affrontato il problema della qualificazione professionale del personale qualificato in acustica; infatti, il D.lgs. 81/2008 parla solo di personale qualificato nell'ambito del Servizio di Prevenzione e Protezione in possesso di specifiche competenze in materia.

Si ricorda che, nell'ipotesi di utilizzo di un servizio interno, il datore di lavoro può avvalersi di persone esterne alla azienda in possesso delle conoscenze professionali necessarie, per integrare, ove occorra, l'azione di prevenzione e protezione del servizio

L'istituzione degli elenchi dei tecnici competenti (regionali o provinciali) riguarda esclusivamente l'acustica ambientale².

Gli elementi più ovvi da valutare per la scelta del consulente acustico sono:

- appartenenza ad albo professionale (per attività professionali generiche tipo ingegnere, architetto, perito, geometra, altro, in quanto non esiste alcun albo dei consulenti in acustica);
- referenze sui lavori analoghi svolti;
- curriculum formativo e professionale.

L'accertamento della professionalità può anche essere effettuato con criteri differenti che considerino:

- titolo di studio di livello minimo congruo rispetto all'attività svolta;
- specifica esperienza, maturata attraverso un tirocinio professionale predeterminato;
- specifica cultura accertata attraverso esami, a conclusione di un ciclo didattico di qualificazione professionale.

Occorre pertanto definire in termini squisitamente pratici i criteri di scelta, tenendo conto che il datore di lavoro deve decidere a priori se un consulente potrà risolvere in maniera soddisfacente il proprio problema.

Per quanto riguarda la formazione del personale qualificato, si ricorda che alcune Facoltà di atenei italiani propongono Scuole di Acustica o Master in acustica di I o II livello aventi l'obiettivo di fornire conoscenze di base e nozioni tecniche necessarie ad affrontare i compiti di analisi, valutazione, progettazione e controllo nei settori dell'inquinamento acustico industriale ed ambientale, nonché dell'acustica architettonica.

² Attualmente in vigore è la legge n. 447 "Legge quadro sull' inquinamento acustico" del 26 ottobre 1995, pubblicata nella G.U. n 125 del 30-10-1995, la quale all'art. 2 commi 6 e 7 definisce il "tecnico competente" in materia di acustica ambientale.

Inoltre, alcune associazioni scientifiche, professionali, enti di formazione o organismi di certificazione italiani propongono dei percorsi di formazione e certificazione nel campo dell'acustica. A tale proposito si ricorda che la certificazione del personale rientra nel campo della volontarietà; in nessun modo la certificazione del professionista può essere un'autorizzazione all'esercizio di una professione. Tale compito è assegnato dal legislatore a strutture all'uopo create (Ordini e Albi professionali, elenchi ministeriali o regionali di abilitati, ecc.); la certificazione professionale è però uno strumento che garantisce delle alte capacità professionali ed organizzative nel settore specifico e che impegna il singolo al rispetto di un codice deontologico.

In conclusione, le caratteristiche che si intende suggerire in questo Manuale per scegliere il personale qualificato in acustica, anche interno al SPP, sono le seguenti:

- Esperienza specifica dimostrata in attività analoga per tipologia ed entità di lavoro.
- Conoscenza specifica, ad esempio acquisita mediante la partecipazione a corsi di formazione universitaria o professionale.
- Conformità della strumentazione utilizzata ai requisiti normativi.

Scheda 8

Urti e impatti: emissione sonora e bonifica acustica

La potenza sonora che viene generata dall'urto è proporzionale all'energia cinetica che possiede il corpo in movimento al momento dell'urto; di conseguenza essa è proporzionale:

- alla massa del corpo;
- al quadrato della sua velocità di impatto (e quindi, per un corpo che cade per gravità, all'altezza di caduta).

Quindi, dimezzando la massa del corpo o la sua altezza di caduta, si può orientativamente ritenere che diminuisca di 3 dB il livello di potenza sonora (a parità di altre condizioni).

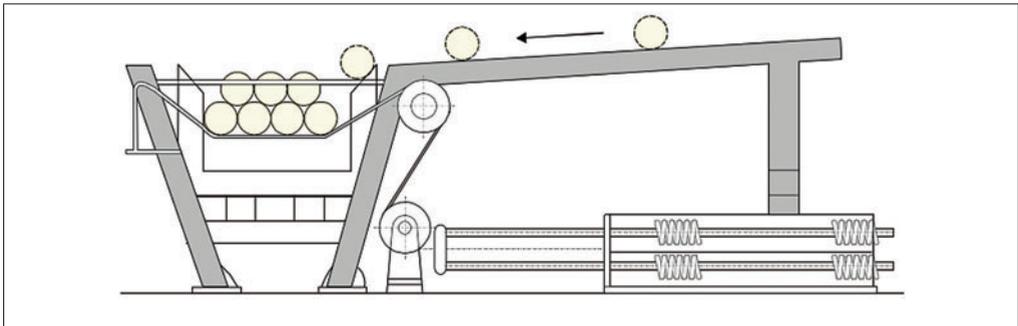


Figura 8.1: Dispositivo per la riduzione dell'altezza di caduta di tubazioni metalliche.

Nell'esempio in Figura 8.1, il sistema elastico bilancia, tramite la reazione delle molle, il progressivo incremento del peso dei tubi che si accumulano; l'altezza di caduta dei tubi risulta sempre molto contenuta.

La potenza sonora è poi inversamente proporzionale al tempo che il corpo impiega a fermarsi dal momento in cui è iniziato l'impatto.

Pertanto, corpi costituiti da materiale elastico (almeno nel punto di contatto) producono, a seguito di un impatto, una minore rumorosità rispetto a corpi di materiale aventi maggior rigidità. Analogamente, se un'operazione che avviene repentinamente, viene sostituita da una analoga, ma che si distribuisce su un periodo temporale più esteso, si consegue una minore emissione acustica.

In un'altro esempio riportato in Figura 8.2, un nastro di lamiera, sfilandosi da un aspo, viene avviato ad una pressa per la tranciatura in pannelli. Essendo l'operazione intermittente, si ha la formazione di un'onda di vibrazione lungo la lamiera prima della tranciatura. Dopo l'opera-

zione, avviene un rapido avanzamento della lamiera, e l'onda si abbassa di colpo, producendo un rumore impulsivo. Il sistema realizzato sostituisce la caduta violenta con un movimento graduale regolato da un braccio oscillante.

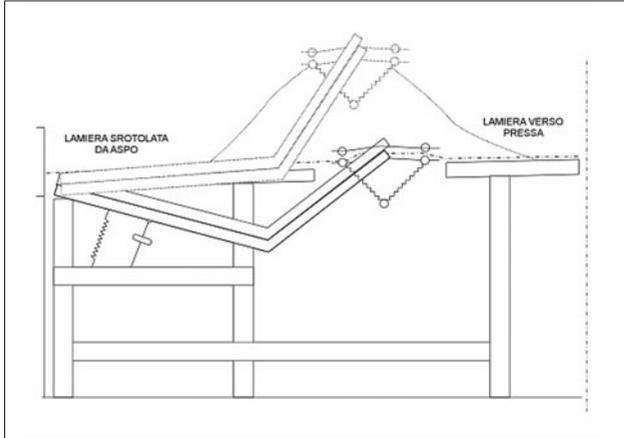


Figura 8.2: Dispositivo di attenuazione del rumore prodotto dalla linea di alimentazione di una tranciatrice.

Il rumore emesso in conseguenza di un impatto dipende poi da una serie di altri fattori:

- la massa del corpo che subisce l'impatto: tanto più essa è grande, tanto minore è l'emissione acustica che si determina;
- le caratteristiche meccaniche dei due corpi, a cui sono associati fenomeni di risonanza meccanica (Scheda 12). Particolare interesse ha, fra tali caratteristiche, lo smorzamento, che dipende sia dai materiali, sia da aspetti costruttivi: aumentando lo smorzamento si possono generalmente conseguire importanti attenuazioni sonore (vedi Schede 9, 10 e 13).

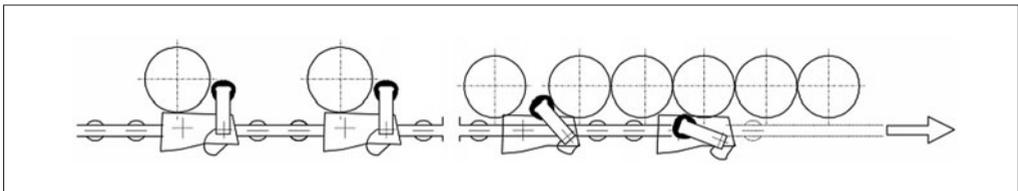


Figura 8.3: Dispositivo di riduzione della rumorosità causata dalla movimentazione di tubi.

In questo ulteriore esempio riportato in Figura 8.3, per ridurre la rumorosità causata dall'urto dei tubi in discesa libera lungo un piano inclinato, il sistema, costituito da alcuni elementi mobili, ricoperti di materiale viscoelastico nella zona di contatto, raccoglie singolarmente i tubi e li accompagna alla zona di accumulo.

Alcune operazioni, caratterizzata da accentuata impulsività, possono essere eliminate applicando una differente tecnologia: ad esempio l'utilizzazione del taglio laser in sostituzione della trancitura meccanica o l'adozione, nelle lavorazioni in cascata, di movimentazione su nastri di trasporto in alternativa all'uso di cassoni trasferiti da una macchina alla successiva (vedi Figura 8.4).

La composizione in frequenza del rumore dovuto ad impatto rivela generalmente uno spettro a larga banda, amplificato o attenuato a determinate frequenze dai citati fenomeni di risonanza. La distribuzione delle forze di impatto su un tempo più lungo produce anche uno spostamento dell'emissione verso le basse frequenze.

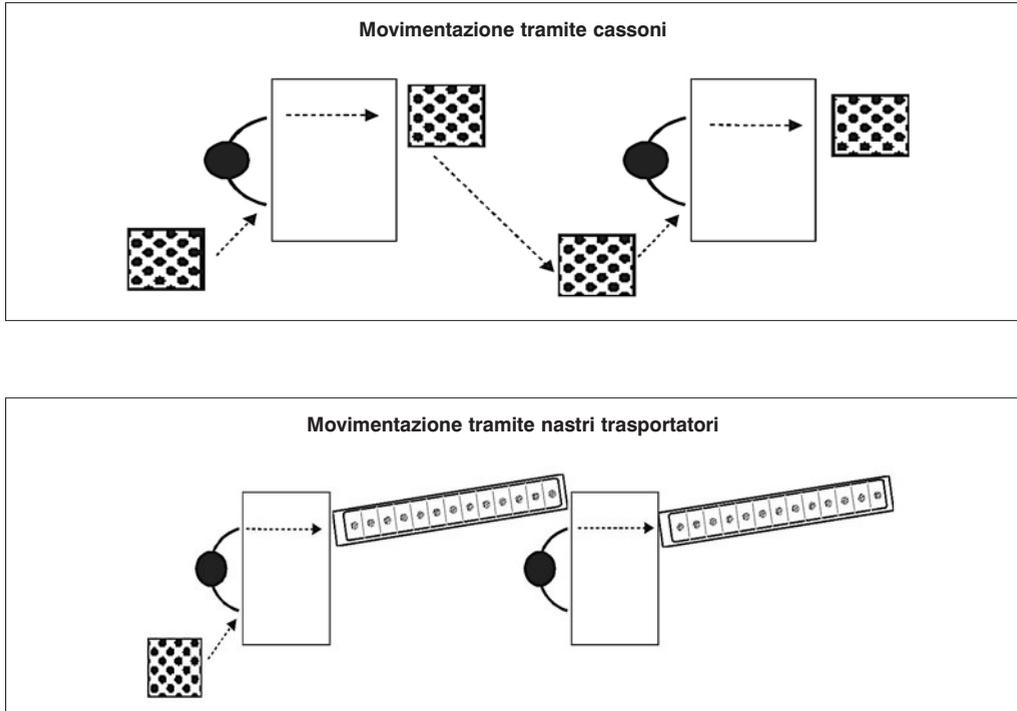


Figura 8.4: Esempio di riduzione del rumore tramite utilizzo della movimentazione con nastri trasportatori.

Scheda 9

Microurti: emissione sonora e criteri di bonifica

Alcune sorgenti di rumore sono caratterizzate da una serie di urti fra loro ravvicinati, tanto da percepire il rumore come stazionario nel tempo.

Un tipico caso è rappresentato dagli ingranaggi a ruote dentate. Con ruote dentate a denti diritti l'ingranamento fra i denti delle ruote avviene repentinamente e altrettanto rapidamente avviene il rilascio. Quindi nell'unità di tempo (1 sec) si succede un numero di impulsi pari a:

$$f = N_1 \cdot n_1 = N_2 \cdot n_2$$

in cui N_1 (N_2) è il numero di denti della ruota 1 (2) e n_1 (n_2) è la velocità angolare (giri / sec) della ruota 1 (2).

Per ridurre l'emissione acustica si può operare:

- distribuendo l'impatto su un tempo più ampio, ad esempio ricorrendo a ruote a denti elicoidali, anziché a denti diritti;
- smorzando la vibrazione determinata dai microurti attraverso l'uso di materiali ad elevato smorzamento interno (oltre che ovviamente ad elevata resistenza all'usura); l'utilizzazione di ingranaggi in materiale plastico garantisce quindi una emissione sonora molto più contenuta, anche a spese di una rilevante diminuzione della coppia meccanica ammissibile.

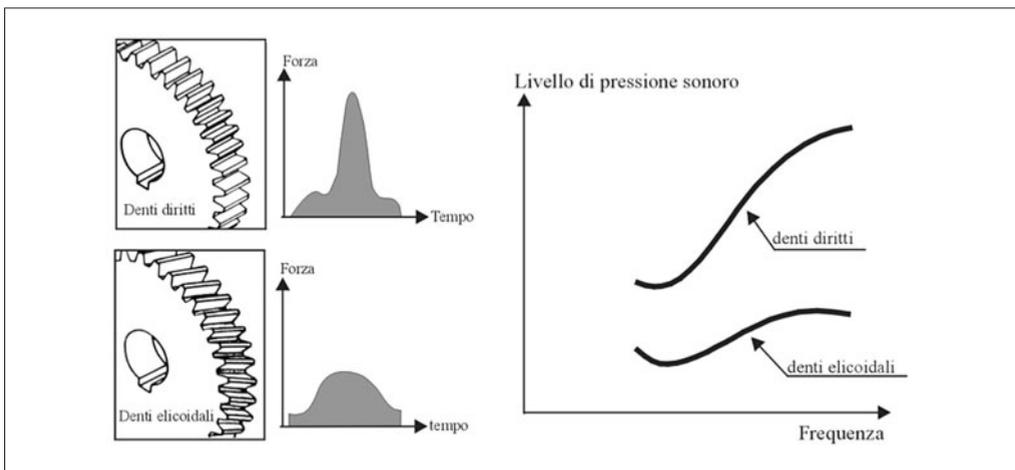


Figura 9.1: Distribuzione temporale e spettro del livello di pressione sonora durante l'ingranamento di due denti.

Il numero di microurti al secondo determina la frequenza fondamentale di eccitazione dell'intero sistema. Pertanto, se si intende ad esempio aumentare tale frequenza senza cambiare la velocità di rotazione, si deve aumentare proporzionalmente il numero di denti.

L'uso di ingranaggi può essere sostituito dall'impiego di altri sistemi di trasmissione che evitano o riducono la presenza di microurti, anche se possono introdurre nuove cause di emissione acustica:

- trasmissioni a frizione, in cui il contatto fra i due dischi è continuo e quindi non si manifestano urti fra organi in movimento;
- trasmissioni a cinghie; nel caso di cinghie piatte (di sezione rettangolare o trapezoidale) gli urti sono esclusi, mentre permangono se le cinghie sono dentate: in ogni caso il materiale smorzante di cui è costituita la cinghia garantisce una minore emissione sonora rispetto a ruote dentate metalliche.

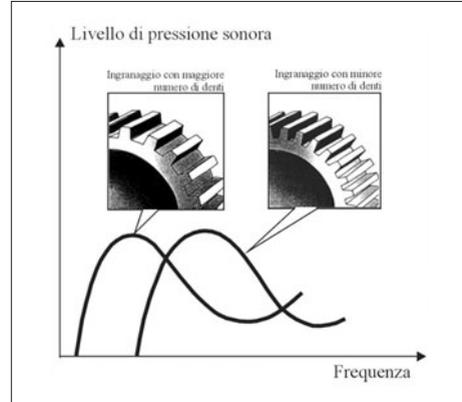


Figura 9.2: Effetto del cambiamento del numero di denti sulla frequenza di eccitazione delle ruote dentate

Nel caso in cui si voglia considerare la possibilità di una trasmissione a catena, la rumorosità generata dipende da numerosi parametri, e non è comunque detto, neppure in termini generali, che essa si riveli più silenziosa di un ingranaggio.

Anche taluni utensili (ad es. nel caso delle pialle a spessore) debbono la loro rumorosità in considerevole parte all'urto netto e periodico dei coltelli contro il pezzo in lavorazione. Per dilatare nel tempo tale contatto possono essere utilizzati utensili aventi i coltelli disposti, anziché longitudinalmente rispetto al cilindro portautensili, secondo uno sviluppo elicoidale.

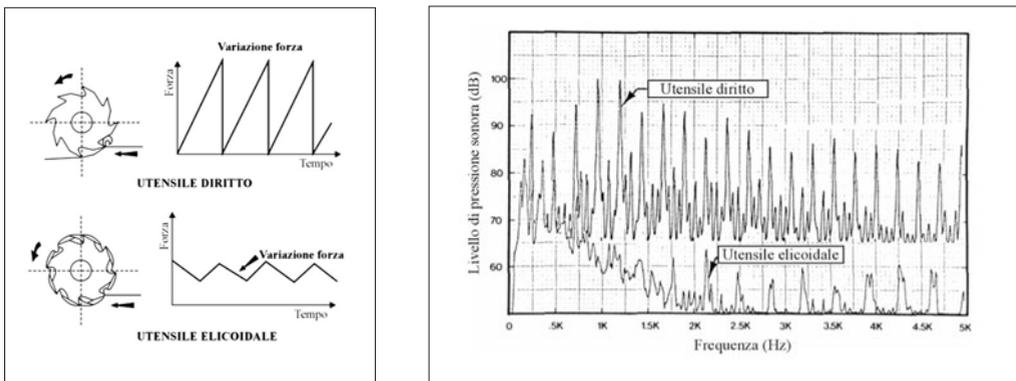


Figura 9.3: Utensili a coltelli longitudinali e a coltelli con sviluppo elicoidale: variazione della forza nel tempo e spettro in frequenza.

Scheda 10

Attrito e inerzia

Il movimento relativo fra due componenti meccanici a contatto determina fenomeni di attrito cui è associata un'emissione acustica. Fra gli esempi più significativi di organi in cui l'attrito presenta grande rilievo citiamo ad esempio i cuscinetti, gli ingranaggi, le cerniere. In generale i sistemi di trasmissione sono accompagnati da questo fenomeno, anche se esso non pare sempre molto evidente.

Se consideriamo ad esempio un cuscinetto a strisciamento, vi sono cause di rumorosità strettamente correlate con l'attrito; in particolare:

- i materiali costituenti il perno e il cuscinetto;
- la rugosità superficiale;
- lo stato della lubrificazione;
- il carico cui è sottoposto;
- le tolleranze costruttive.

Nel caso in cui vi sia un difetto di lubrificazione, o un sovraccarico, è possibile che si determini un assottigliamento del film d'olio tale da determinare un contatto diretto fra perno e cuscinetto, e conseguentemente un incremento della vibrazione e della radiazione sonora.

Anche l'eccentricità di rotazione può causare sovraccarico di parti del cuscinetto, da cui deriva un incremento dell'attrito e l'eccitazione di vibrazioni.

In generale l'attrito determina la generazione di rumorosità ad alta frequenza, ma l'eccitazione induce un'emissione sonora che dipende dalle caratteristiche fisiche e geometriche del componente: per cui se esso possiede frequenze proprie di risonanza a bassa o media frequenza, l'emissione sonora può essere consistente anche a tali frequenze.

La rumorosità dovuta all'attrito può essere controllata anzitutto attraverso una corretta progettazione dei componenti meccanici, ma anche per mezzo di una loro costruzione accurata.

Di particolare importanza è poi l'installazione; nel caso dei cuscinetti molti problemi di rumorosità sono dovuti ad un montaggio inadeguato (sono da evitare in particolare sistemi di montaggio impattivi, preferendo invece metodi a pressione).

Infine risulta essenziale, al fine di evitare un progressivo degrado degli organi meccanici che porti ad un incremento dell'attrito, una corretta utilizzazione degli stessi (seguendo le indicazioni fornite dal fabbricante) e in particolare:

- verificando che la lubrificazione sia sempre efficiente;
- verificando lo stato di usura (ad esempio, per gli organi rotanti, attraverso analisi delle vibrazioni o altri metodi di manutenzione su condizione; lo stesso fonometro può essere utile per tale verifica, anche se generalmente non evidenzia i fenomeni di degrado in modo molto precoce).

Come evidenziato nella Scheda 9 a proposito del rumore dovuto ai microurti, in taluni casi l'e-

missione acustica può essere contenuta scegliendo materiali aventi elevato smorzamento interno: lo stesso principio può essere applicato nel caso del rumore dovuto all'attrito.

Anche le forze e i momenti di inerzia possono essere all'origine di vibrazioni e rumorosità di entità consistente. In particolare questo aspetto è evidente nelle macchine rotanti in cui le masse in rotazione non sono ben bilanciate.

È esperienza comune che un autoveicolo, in cui le ruote non siano adeguatamente equilibrate, è sede, in particolare a determinati regimi di giri, di vibrazioni che si percepiscono in modo considerevole sul volante ed anche, come ulteriore effetto, di una maggior emissione sonora. Tali vibrazioni dipendono dalle forze (di tipo centrifugo) che si generano quando l'asse principale di inerzia dell'organo rotante non coincide con l'asse di rotazione.

La tecnica più semplice che consente di controllare tale fenomeno consiste nel contrastare le forze e le coppie di forze, applicando delle masse in posizione opportuna per equilibrare le cause dello sbilanciamento.

Come si può osservare dalla Figura 10.1, l'aggiunta di una sola massa su un albero sbilanciato comporta in generale la compensazione della forza centrifuga (bilanciamento statico), ma può determinare la generazione di una coppia di forze (sbilanciamento dinamico).

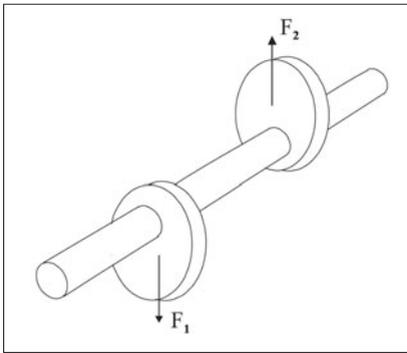


Figura 10.1: L'aggiunta del disco 2 equilibra le forze ma non i momenti (bilanciamento statico ma non dinamico).

Il problema può essere superato aggiungendo due masse tali da determinare l'equilibrio delle forze e dei momenti.

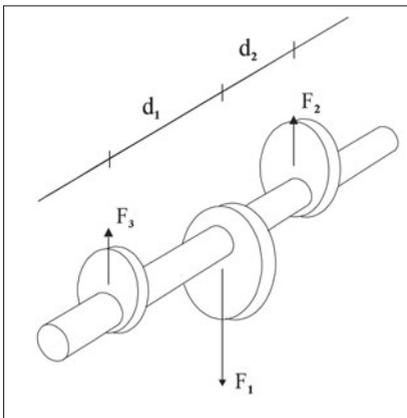


Figura 10.2: L'aggiunta dei due dischi a opportune distanze determina anche l'equilibrio dinamico.

Sistemi più complessi (organi rotanti connessi a organi alternativi) richiedono criteri di equilibratura più complessi.

Una seconda tecnica, indubbiamente meno risolutiva, consiste nell'isolare gli elementi vibranti a causa dello sbilanciamento, attraverso connessioni o supporti dotati di buone caratteristiche elastiche e smorzanti.

Una terza modalità consiste nel bilanciare le forze e le coppie eccitanti la vibrazione incrementando lo smorzamento dell'organo rotante o compensandole attraverso un assorbitore di vibrazione accordato sulla principale frequenza di vibrazione: si tratta cioè di inserire un elemento meccanico avente una frequenza propria di risonanza coincidente con la frequenza della vibrazione, in modo da assorbirne parte dell'energia.

In ogni caso l'equilibratura delle masse rotanti è un aspetto di grande importanza nell'ambito della manutenzione (e non solo per gli aspetti connessi al rumore e alle vibrazioni) e da cui spesso dipende anche il mantenimento nel tempo delle caratteristiche di emissione sonora di una macchina.

Scheda 11**Moto di liquidi: turbolenza, cavitazione, colpo d'ariete.
Emissione sonora e criteri di bonifica**

Il flusso di liquidi in tubazioni può produrre rumorosità. Le cause principali sono la turbolenza del moto nelle tubazioni, la cavitazione e il colpo d'ariete.

Il regime di moto del flusso nei tubi dritti dipende dal numero di Reynolds

$$Re = v \cdot D \cdot \rho / \mu$$

con v = velocità del flusso
 D = diametro della tubazione
 ρ = densità del liquido
 μ = viscosità assoluta

Se il valore di $Re > 5000$ il moto è turbolento. Nei normali tubi di impiego con velocità dell'acqua tra 0,4 e 0,5 m/s il regime di moto è già turbolento. La turbolenza è, inoltre, aumentata dalla presenza di giunti, variazioni di sezione, valvole, gomiti, diramazioni, ecc. Le forze fluttuanti connesse alla turbolenza eccitano la vibrazione dei tubi che irradiano direttamente, e/o indirettamente, rumore nell'aria.

Il fenomeno della cavitazione insorge in quelle regioni del liquido dove la velocità aumenta e la pressione diminuisce, come accade - ad esempio - a valle di una valvola non completamente chiusa che strozza la corrente.

Se la pressione si riduce al di sotto di quella di saturazione alla temperatura dell'acqua nei tubi, parte del liquido diventa aeriforme (per l'acqua a 16°C la pressione di saturazione è circa 18 kPa).

Le bolle di vapore, trasportate a valle dalla corrente, raggiungono una zona in cui la pressione è più alta ed implodono determinando delle intense fluttuazioni della pressione locale. Queste, eccitando la vibrazione dei tubi, sono causa di rumorosità nell'aria intorno.

L'innesco del fenomeno della cavitazione è di difficile previsione in quanto dipende dalla velocità di efflusso del liquido, dalla pressione statica, dalla temperatura e dalla configurazione geometrica del sistema.

Il colpo d'ariete è quel fenomeno a cui è associato

quel rumore intenso, piuttosto impulsivo, che si percepisce quando un flusso continuo in un

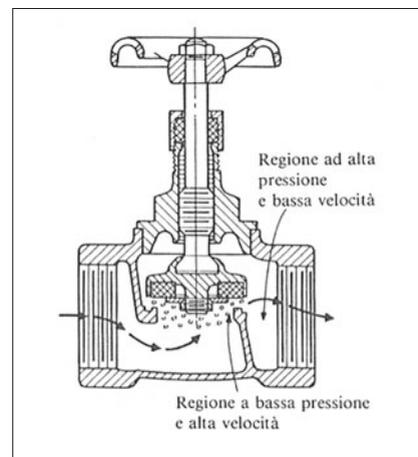


Figura 11.1: Cavitazione generata da una valvola.

impianto viene interrotto bruscamente. Se la chiusura rapida di una valvola blocca il flusso che interessa una parte non piccola dell'impianto, la variazione della quantità di moto dell'acqua in corsa dà luogo ad un impulso di pressione molto intenso che si propaga dalla valvola verso monte. Questa onda di pressione, spazialmente concentrata, si estingue riflettendosi numerose volte durante la propagazione nell'impianto.

Soluzioni:

Molta della rumorosità di un impianto per il trasporto di liquidi è causata dalla pressione dell'impianto che, compatibilmente con le esigenze imposte, dovrebbe essere ridotta.

Per limitare la turbolenza e la cavitazione è richiesta una cura del *lay-out* che minimizzi il numero di gomiti, di cambi bruschi di sezione, di giunti a T e a Y.

È conveniente distribuire le portate necessarie a velocità più bassa aumentando il diametro dei tubi. Passando da tubazioni da ½ pollice a tubazioni da ¾ di pollice è possibile conseguire riduzioni di livello della pressione sonora da 3 a 5 dB.

È molto importante che i tubi non siano connessi rigidamente a strutture che risultano essere efficienti radiatori di suono. Il moto della superficie del tubo, trasferito nel punto di attacco ad una parete o ad un pannello, sostiene in queste strutture un campo di vibrazione che è ben accoppiato all'aria circostante.

L'isolamento dei tubi dalle strutture dell'edificio permette di conseguire apprezzabili riduzioni del rumore. Se i tubi, invece che rigidamente, sono collegati alle strutture mediante sospensioni con neoprene, gomma spugnosa o coppelle in fibra minerale interposti, la risoluzione dei livelli di rumore può raggiungere una dozzina di dB.

Le valvole vanno scelte in relazione alla funzione che devono svolgere. Ad esempio le valvole a saracinesca non sono idonee per la regolazione della portata ma possono essere utilizzate per il sezionamento, tutto aperto o tutto chiuso. Infatti, nella posizione tutto aperto non contribuiscono alcuna resistenza concentrata.

Il colpo d'ariete va limitato non solo per la rumorosità che comporta, ma anche perché può provocare danni alle tubazioni, alle valvole e ad altri componenti dell'impianto. È possibile realizzare dispositivi che "assorbono"

l'impulso di pressione conseguente alla interruzione brusca del flusso. Si tratta di una forma di elasticità posta in derivazione alla tubazione. Usualmente questa è realizzata con un recipiente contenente aria, eventualmente separata dall'acqua con una membrana elastica.

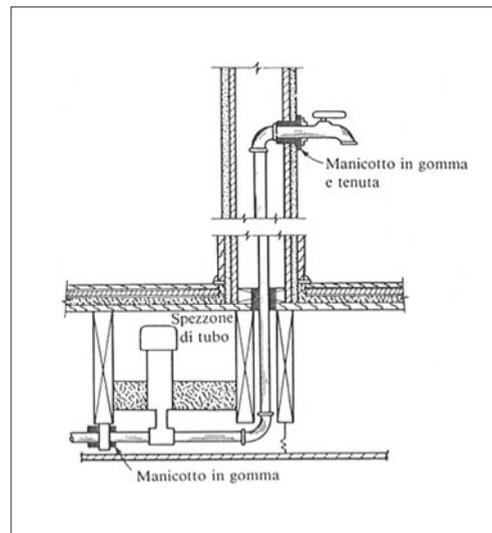


Figura 11.2: Esempio di schema di principio di isolamento delle tubazioni dalle strutture dell'edificio.

Scheda 12

Risonanza meccanica

La risposta di un sistema meccanico ad un'eccitazione costituisce un argomento generalmente molto complesso, affrontabile solo con idonei strumenti matematici. Tuttavia è possibile e necessario, per chi si occupa di bonifica acustica, conoscere alcuni aspetti di base, utili almeno ad evitare alcuni inconvenienti, assai frequenti nella pratica corrente.

Un qualunque sistema meccanico è schematizzabile con un insieme più o meno complesso di masse (che ne determinano l'inerzia), molle (rappresentative della sua elasticità) e smorzatori (significativi della sua capacità dissipativa).

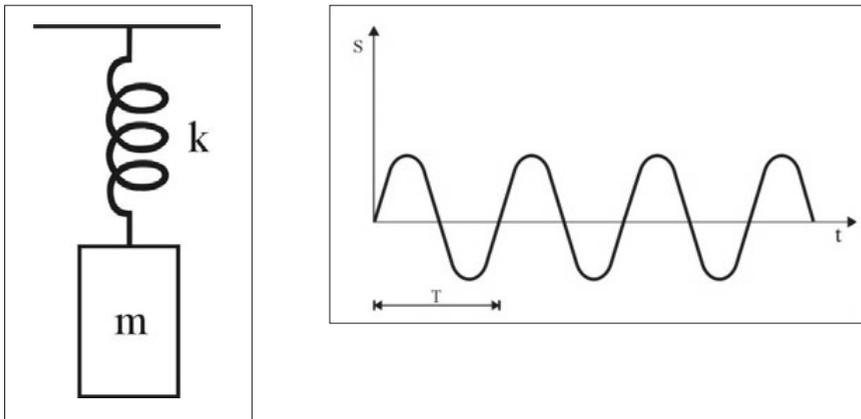


Figura 12.1: Risposta all'impulso di un sistema meccanico elementare senza smorzamento.

Considerando inizialmente il caso più elementare rappresentato nella Figura 12.1 possiamo osservare (anche solo intuitivamente) che, se la massa m viene sollecitata con un impulso, oscilla con moto periodico intorno alla sua posizione statica. Nello studio del moto si perviene a definire la frequenza naturale di oscillazione in base alla formula seguente:

$$f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

dove K è la rigidezza della molla (kg/m).

Nella realtà nessun sistema può avere le caratteristiche del modello precedente, poiché l'oscillazione, più o meno lentamente, tende a smorzarsi (per le caratteristiche intrinseche del sistema e del mezzo in cui si muove); questo fatto è schematizzato inserendo un elemento smorzante; la frequenza di oscillazione rimane sostanzialmente la stessa.

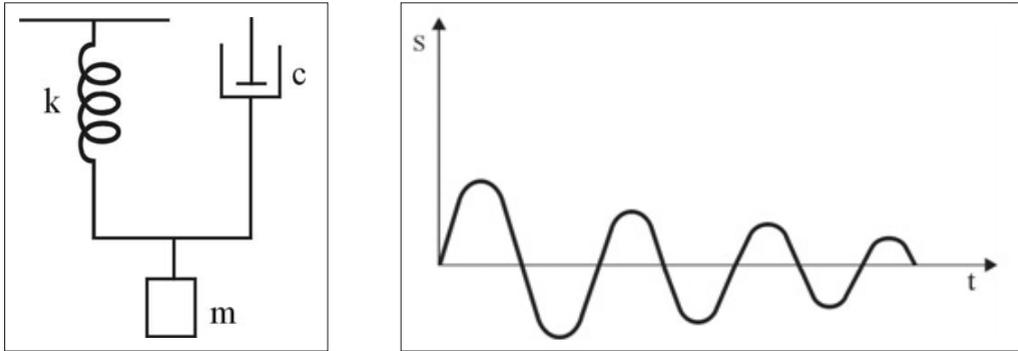


Figura 12.2: Risposta all'impulso di un sistema meccanico elementare con smorzatore.

Applicando al sistema, anziché un semplice impulso, una forza sinusoidale stazionaria nel tempo:

$$F = F_0 \sin (2\pi f t)$$

si può dimostrare che il sistema oscilla alla stessa frequenza f_e della forza eccitante e con un'ampiezza che dipende sia dalla forza sia dal rapporto fra la frequenza eccitante e la frequenza naturale del sistema. Infatti:

- a frequenze di eccitazione $\ll f_n$ il sistema oscilla con un'ampiezza prossima al rapporto F/K ;
- a frequenze di eccitazione $\gg f_n$ il sistema oscilla con ampiezze decrescenti al crescere della frequenza;
- a frequenze prossime a f_n il sistema oscilla con un'ampiezza molto grande, limitata unicamente dallo smorzamento del sistema stesso (fenomeno della risonanza meccanica).

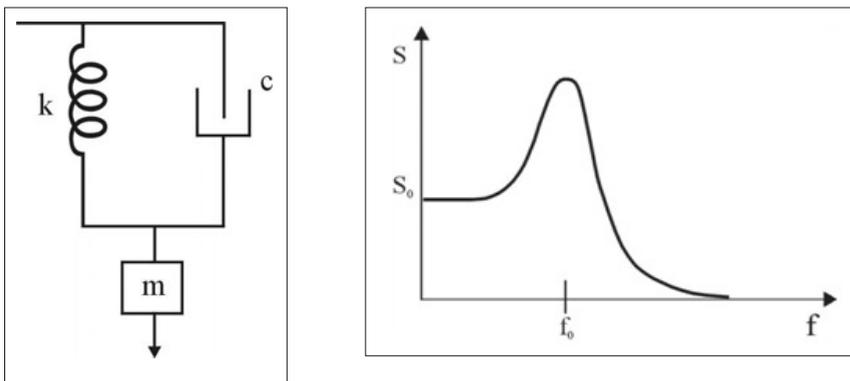


Figura 12.3: Risposta ad un'eccitazione sinusoidale di un sistema meccanico elementare con smorzatore.

Il valore S_0 in Figura 12.3 è dato dalla relazione:

$$S_0 = \frac{F_0}{K}$$

Nella realtà:

- le strutture meccaniche sono costituite da un insieme molto esteso di sistemi elementari massa - molla- smorzatore, per cui esse presentano più frequenze di risonanza (modi di risonanza) oggetto di una specifica attività di studio (analisi modale);
- in generale le strutture non oscillano solo lungo una direzione (differentemente dall'esempio considerato) ma in più direzioni; inoltre, oltre a movimenti traslatori si manifestano anche moti rotatori; i sistemi reali presentano quindi numerosi gradi di libertà;
- l'eccitazione di una struttura può avvenire per via solida, liquida o gassosa e con caratteristiche di variabilità temporale molto differenti (es. impulsive, continue, aleatorie, deterministiche); anche lo spettro acustico può essere di differenti tipologie (a larga banda, con componenti tonali, ecc.).

Ovviamente l'emissione acustica di una struttura meccanica, dipendendo dalla vibrazione della stessa, è strettamente correlata ai fenomeni precedentemente descritti. In particolare sistemi meccanici passivi possono irradiare più o meno rumore in virtù, non solo dell'eccitazione cui sono sottoposti, ma anche dell'interazione di questa con le caratteristiche del sistema.

Applicazioni

Un elemento meccanico (ad esempio un pannello imbullonato sui quattro vertici) o un sistema più complesso (ad esempio il carter di una macchina) possono essere sottoposti alle vibrazioni della struttura cui sono connessi, diventando essi stessi sorgenti di rumore. La risoluzione di questo problema, prescindendo da analisi più raffinate, può essere ottenuta attraverso molte vie:

- scegliendo punti di ancoraggio non vibranti (ad esempio fissando la protezione di copertura di un organo rotante al terreno anziché al corpo della macchina);
- interponendo fra l'elemento e la struttura vibrante degli elementi viscoelastici (in modo da isolare l'elemento smorzandone nel contempo le vibrazioni residue);
- realizzando l'elemento con materiali aventi elevato smorzamento interno o accoppiando a determinati materiali base (es. acciaio) materiali smorzanti (es. antirombo);
- modificando le caratteristiche della struttura (massa o elasticità) al fine di modificare una o più frequenze di risonanza.

Quest'ultimo criterio, per quanto talvolta comporti semplici interventi (ad esempio la realizzazione di una nervatura), richiede però uno studio preliminare che si può descrivere come segue.

- a) Si valutano le principali frequenze di risonanza correlate con l'emissione sonora che si vuol attenuare. Ciò può essere effettuato, colpendo con un impulso (es. colpo di martello) l'elemento e misurando la vibrazione risultante per mezzo di un accelerometro e di un analizzatore in frequenza (talvolta può essere sufficiente rilevare lo spettro del rumore emesso);
- b) si determinano le caratteristiche in frequenza delle vibrazioni eccitanti, misurandole in corrispondenza della sorgente o attraverso il calcolo;
- c) nel caso vi sia coincidenza (o notevole prossimità) fra le frequenze proprie dell'elemento (fase a) e le frequenze dell'eccitazione (fase b) si può pensare, ad esempio, di aumentare la rigidità (in questo caso aumenta la frequenza di risonanza).

Con questa tecnica occorre prestare attenzione a due aspetti:

- modificando uno dei due parametri, si modifica anche l'altro, in misura più o meno consistente (ad esempio incrementando lo spessore di un pannello, si aumenta la massa, ma, in quantità ancora più cospicua, anche la rigidità);
- spostando una frequenza di risonanza, per sottrarla alla coincidenza con una frequenza di eccitazione, si rischia di renderla molto prossima ad un'altra frequenza di eccitazione (talvolta quindi occorre procedere per successive approssimazioni).

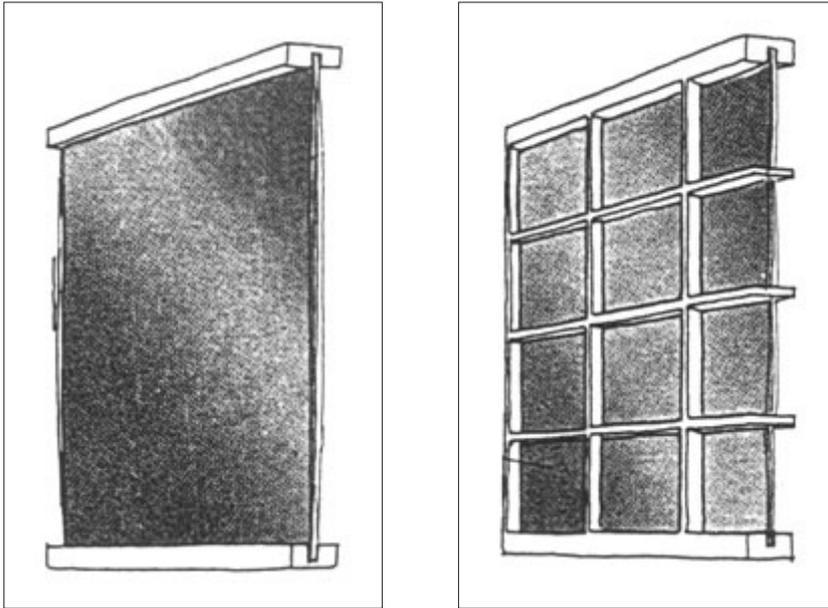


Figura 12.4: Inserendo delle nervature su un pannello aumenta la sua rigidità in misura molto maggiore dell'incremento di massa determinando un incremento nel valore delle frequenze di risonanza.

Scheda 13

Materiale e tecnologie per l'isolamento e lo smorzamento delle vibrazioni

Le macchine trasmettono vibrazioni alle strutture cui sono collegate (pavimenti, pareti, elementi di montaggio, tubazioni) e parte dell'energia vibratoria è irradiata come suono.

In determinate condizioni i fenomeni acustici generati dalle vibrazioni meccaniche possono essere rilevanti, si delinea quindi importante affrontare il problema della riduzione del rumore emesso da una macchina (o da una qualsiasi struttura) analizzandone il comportamento anche sotto l'aspetto delle vibrazioni in essa presenti.

Nello studio delle vibrazioni è basilare identificare tutte le frequenze proprie che caratterizzano un sistema vibrante, ciascuna frequenza è dotata del relativo smorzamento e forma modale. Tale identificazione permette, infatti, di capire quando, in una struttura soggetta all'effetto di una forza interna o esterna, si produce un'oscillazione non controllata, detta risonanza (vedi Scheda 12), che può provocare effetti indesiderati e danni alla struttura stessa.

Le frequenze proprie di una struttura vibrante sono funzione del materiale, delle dimensioni e della forma, si può perciò eliminare la possibilità di avere condizioni di risonanza agendo su tali parametri e sulle "condizioni al contorno" (forze di eccitazioni, condizioni di funzionamento della macchina, velocità, temperature).

L'analisi in frequenza, ma anche la conoscenza della tipologia delle forze di eccitazione, è necessaria quindi per definire gli interventi, le metodologie ed i materiali da utilizzare per limitare le vibrazioni e gli effetti conseguenti.

Per ridurre il rumore prodotto dalle strutture vibranti (rumore che si trasmette per via aerea e per via solida) i metodi applicabili sono due:

- 1) Isolamento delle vibrazioni
- 2) Smorzamento delle strutture irradianti

Isolamento delle vibrazioni

L'isolamento delle vibrazioni è un procedimento con il quale:

- si può ridurre notevolmente la trasmissione delle forze periodiche, casuali o di urto da una macchina (sorgente vibrante) all'ambiente circostante,
- oppure, viceversa, si può attuare la protezione di persone, macchine e strumentazioni sensibili dalle vibrazioni trasmesse dall'ambiente.

In tale sede prenderemo in considerazione solo gli aspetti relativi al primo caso. In generale, comunque, gli isolatori vibrazionali (cioè i sistemi di controllo delle vibrazioni) sono costituiti da un sistema massa-molla, la cui risposta dinamica è considerevolmente influenzata dalle caratteristiche della sorgente delle vibrazioni, dalle caratteristiche dinamiche della macchina, dal posizionamento della macchina, dalle caratteristiche degli elementi elastici e smorzanti.

La conoscenza dei dati relativi a tali parametri è perciò fondamentale per la scelta e l'efficace applicazione di un isolamento vibrazionale, applicazione che, sia in fase di progettazione e sia in fase d'installazione, deve essere sempre accompagnata da una progettazione volta alla riduzione delle vibrazioni prodotte.

L'isolamento antivibrante è l'unica misura efficace in caso di eccitazione nel campo delle basse frequenze, ma è anche efficace in quelli delle medie ed alte frequenze. Esso equivale all'introduzione locale di una rigidità relativamente bassa, ciò si può ottenere, appunto, sia mediante isolatori quali: elementi elastici in gomma, soffietti d'aria, molle elicoidali in acciaio ed altro, e sia mediante strati di materiali elastici costituiti di gomma, sughero o qualsiasi altro materiale aventi le caratteristiche dei precedenti.

Un "isolatore" delle vibrazioni funziona come un filtro meccanico, ma non lavora come uno switch on-off; la sua efficacia varia con la frequenza d'eccitazione e dipende dalla sua frequenza propria che è funzione a sua volta della rigidità e della massa. Ciascun sistema isolante è caratterizzato da una propria curva di trasmissibilità che è il rapporto dell'output di vibrazioni diviso l'input in funzione della frequenza (Fig.13.1).

Se tale rapporto è maggiore di 1 la vibrazione è amplificata, se è minore di 1 la vibrazione è attenuata.

La trasmissibilità massima si ha alla frequenza propria dell'isolatore e quindi l'abilità è nello scegliere un sistema isolatore tale che, nelle condizioni di utilizzo, la sua frequenza propria non sia mai raggiunta.

Importante è anche conoscere la distribuzione del peso della struttura di supporto e la tipologia del carico, poiché in caso di carico molto irregolare (come ad esempio nelle applicazioni dinamiche) gli isolatori devono avere differenti rigidità per fornire approssimativamente uguale deviazione (flessione) in ogni direzione. Utilizzando gli isolatori elastomerici, questo può essere ottenuto selezionando incrementi a differenti rigidità con blocchi di elastomeri di lunghezza e larghezza variabili. Con le molle elicoidali, invece, si possono ottenere differenti rigidità selezionando molle di diverso diametro.

Altro elemento da prendere in considerazione è, quindi, la rigidità della struttura di supporto dell'elemento isolatore e della struttura supportata, poiché se tali strutture sono relativamente "tenere" flettono più degli isolatori che non riescono perciò a svolgere la loro funzione. Oltre ad avere un isolamento inadeguato, ciò può comportare un affaticamento della struttura. La regola generale è di avere delle strutture con una rigidità 10 volte quella degli isolatori in modo da avere una deflessione per il 90% attuata dagli isolatori e per il 10% dalle strutture.

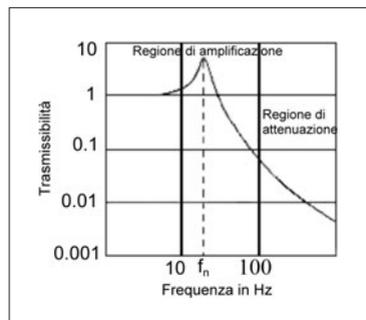


Figura 13.1: Trasmissibilità di un sistema con una frequenza propria (f_n) di 20 Hertz.

Smorzamento delle strutture irradianti

Tale metodo consiste nel dissipare l'energia vibratoria intrinseca della struttura sotto forma di calore ed è particolarmente efficace se utilizzato in prossimità della sorgente e quando lo smorzamento originale della struttura è relativamente basso, nel campo delle risposte risonanti. In realtà le macchine, specie quelle più complesse, molte volte hanno già elevate caratteristiche di smorzamento per la presenza di molti meccanismi diversi.

La capacità di smorzamento di una struttura può essere aumentata in diversi modi:

- utilizzando uno speciale strato smorzante;
- servendosi dei pannelli a sandwich invece dei pannelli singoli;
- impiegando un pannello supplementare con un numero limitato di punti di collegamento (lo smorzamento si ottiene mediante circolazione di un sottile strato d'aria fra i due pannelli);
- adoperando un materiale con uno smorzamento interno superiore (teflon, materiali plastici, ecc);
- usando ammortizzatori sintonizzati in forma di sistemi smorzati con massa ed elasticità.

Questo ultimo tipo di ammortizzatori è utile solo quando lo scopo è di sopprimere un numero limitato di risonanze.

Elementi per realizzare l'isolamento e lo smorzamento vibrazionale **Pads**

Sono realizzati con diversi tipi di elastomeri, ed anche in sughero e feltro; sono disponibili in diversi spessori e lunghezze e sono molto convenienti poiché, potendo generalmente essere tagliati, hanno la possibilità di assumere praticamente qualsiasi forma.

Per ottenere una frequenza propria molto bassa, molti di questi prodotti hanno la capacità di legarsi (unirsi) in strati multipli arrivando ad avere così la rigidità voluta per l'applicazione. Utilizzando quest'ultimo approccio si riescono a realizzare sistemi pad con frequenze naturali molto basse (fino a 6 Hz).

Sistemi elastomerici

Essi hanno molte caratteristiche desiderabili che derivano dal fatto che la gomma è essenzialmente un materiale incompressibile. Mediante le varie possibili configurazioni del prodotto formato (stampato) e collocando opportunamente i componenti rigidi d'acciaio, si può ottenere quasi un "range" infinito di rigidità in ogni direzione. Si hanno perciò numerose famiglie d'elastomeri, ognuna adatta per un determinato uso e per un determinato ambiente.

I due parametri critici che influenzano le caratteristiche di deformazione (rigidità e smorzamento) e la durata dell'elastomero e che devono essere considerati nella scelta per una data applicazione sono:

- la temperatura d'esercizio,
- l'esposizione a fluidi.

La Figura 13.3 mostra un comune sistema elastomero che consiste di un elastomero in neoprene unito a componenti d'acciaio. Questo sistema ha una rigidità che è approssimativamente uguale in tutte le direzioni ed installando una rondella d'acciaio (di adatte dimensioni) al di sotto del supporto con un dado ed un bullone, il sistema diventa prigioniero. Questo significa che i componenti metallici interbloccano.

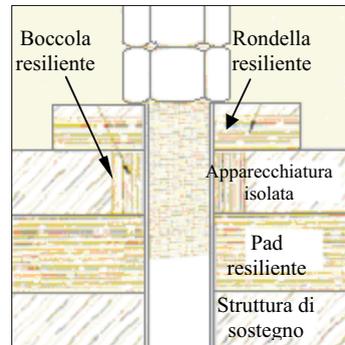


Figura 13.2: Esempio di metodo raccomandato per l'installazione di un sistema pad.



Figura 13.3: Esempio di isolatore elastometrico.

cati sostengono l'attrezzatura anche se cede l'elastomero o il legame elastomero-elemento d'acciaio. Questa è una caratteristica appropriata specie per gli isolatori utilizzati nelle applicazioni dinamiche.

Gli isolatori elastomerici sono ideali per applicazioni dinamiche anche per la loro flessibilità di progetto, e sono molto efficaci nell'isolamento di macchine, motori, compressori, cabine, radiatori e relative attrezzature. Essi possono, ad ogni modo, essere usati anche per applicazioni statiche (fisse).

Molle

Nei sistemi elastomerici rientrano le molle nelle loro varie possibili configurazioni; esse sono elementi costruttivi a deformazione essenzialmente elastica e sono utilizzate come supporto elastico di macchine per l'isolamento da vibrazioni e da urti. Grazie all'ampia flessibilità di progetto, alla facile connessione a parti metalliche, alle numerose combinazioni di materiali possibili, le molle elastomeriche possono adattarsi ad un'ampia gamma di applicazioni. Ogni molla possiede, comunque, una certa massa e un certo smorzamento.

I parametri che influenzano le caratteristiche di deformazione (rigidezza e smorzamento) e la durata della molla, come pure il suo cedimento anelastico (creep), sono:

- il materiale della molla e quello dei componenti della miscola,
- la forma della molla.

Per ottenere lo smorzamento delle vibrazioni nella gamma di frequenze d'interesse è perciò importante scegliere i materiali adeguati, la massa, invece, può essere trascurata.

Nella scelta del tipo di molla importante è anche conoscere l'eventuale esposizione ad agenti esterni quali, principalmente, temperatura e fluidi di varia natura, fattori che influenzano la durata nel tempo della molla.

Le frequenze caratteristiche del sistema isolato dovrebbero essere calcolate sulla base della rigidezza dinamica essendo questa, in genere, più elevata di quella statica. Usando molle elastomeriche si possono ottenere frequenze verticali caratteristiche da 6 Hz a 20 Hz. A causa della loro deformabilità elastica e del piccolo modulo di Young, le molle elastomeriche hanno uno smorzamento superiore, rispetto alle molle metalliche.

Altri fattori da considerare per la capacità di carico e per la durata delle molle di elastomero sono:

- il carico statico e il carico dinamico;
- l'ampiezza delle vibrazioni e la frequenza del sistema vibrante.

In base al tipo di carico agente (forze di compressione, sforzi di taglio, momenti torcenti, momenti flettenti, combinazione di essi) si individua l'utilizzo o meno di molle singole, oppure costituite in placche e cuscini multipli (è il caso questo di forti carichi di compressione distribuiti).

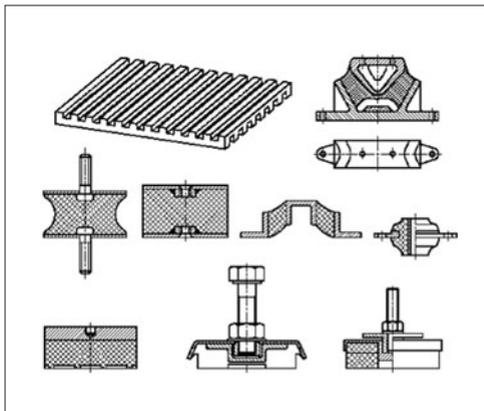


Figura 13.4: Alcuni esempi di diverse conformazioni di molle elastomeriche.

Molle metalliche

Per applicazioni che richiedono una più bassa frequenza naturale di quella che si può ottenere con gli elastomeri, spesso come sistema d'isolamento si sceglie una molla metallica a spirale. Utilizzando molle metalliche, si possono ottenere frequenze caratteristiche verticali da 1,4 Hz a 8 Hz. Le molle metalliche sono poco sensibili ai gravosi salti di temperatura, resistono alla maggior parte delle sostanze organiche, hanno rigidità statica e rigidità dinamica pressoché uguali e le loro caratteristiche elastiche non cambiano con il tempo.

Per l'isolamento vibrazionale delle macchine si usano molle metalliche preferibilmente d'acciaio in forma di fili, di lamine e di barre fabbricate per questo scopo. La molla elicoidale di compressione è la molla metallica generalmente usata per l'isolamento vibrazionale delle macchine, poiché le sue caratteristiche di deformazione (curve deformazione/carico) sono quasi completamente lineari e poiché permette di realizzare un'ampia scelta di rigidità secondo tutti gli assi.

Le molle metalliche d'acciaio hanno, inoltre, la capacità di immagazzinare molta energia di deformazione elastica in corrispondenza di elevate deformazioni. In Figura 13.5 è mostrato un esempio tipico di sospensione che ha la capacità di sopportare carichi che vanno da pochi newton a circa 1500 kN.

Altre applicazioni sono quelle che ne prevedono l'utilizzo per isolare, nelle torri di raffreddamento, le ventole che vanno a velocità molto basse (300 rpm). La combinazione di una molla metallica con un isolatore elastomerico permette, invece, di variare lo smorzamento realizzabile. Infatti, agendo sui bulloni laterali (Figura 13.6) si applica un carico di compressione ad un blocco di elastomero interno al sistema isolatore.

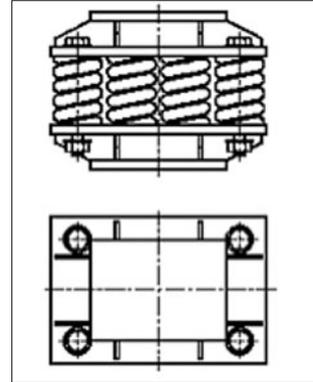


Figura 13.5: Sospensione tipica costituita da molle elicoidali di compressione.

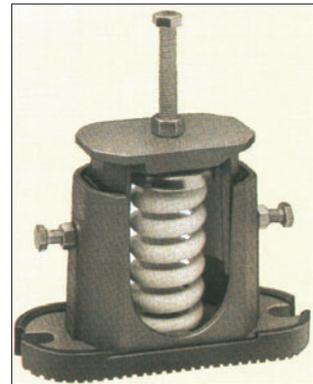


Figura 13.6: Esempio di combinazione di molla metallica e elastomero.

Isolatori pneumatici

Quando si ha l'esigenza di isolare un'attrezzatura sensibile ad una frequenza molto bassa, si ricorre ad un isolamento pneumatico per mezzo di molle pneumatiche o isolatori pneumatici che permettono di gestire frequenze intorno ai 0,5 Hertz. Un isolatore pneumatico (vedere Figura 13.7) è costituito essenzialmente da:

- una camera sigillata in pressione riempita di gas (aria),
- un impianto idraulico per il carico e lo scarico del gas,
- un diaframma flessibile per il movimento relativo.

Al variare del carico, il sistema si deforma in corrispondenza delle pareti, provocando un cambiamento di volume che produce un cambiamento di pressione. Su questo principio si basa il

funzionamento sia dei sistemi a stantuffo mobile dentro un cilindro e sia di quelli a soffiutto. La deformazione tipica delle molle pneumatiche dipende dall'equilibrio fra il carico esterno e la differenza di pressione fra l'interno della molla e l'esterno (per esempio la pressione atmosferica), moltiplicata per la superficie utile. Per consentire la regolazione del livello di smorzamento esistono anche molle pneumatiche in versione regolabile.



Figura 13.7: Esempio di isolatore pneumatico.

Ammortizzatori

Quando si hanno condizioni di risonanza, nel caso di eccitazione periodica, di urti o di eccitazioni aleatorie, per limitare i movimenti dei sistemi supportati elasticamente si utilizzano gli ammortizzatori che trasformano l'energia meccanica in calore. Si hanno essenzialmente due diverse tipologie di sistemi ammortizzanti:

- 1) gli ammortizzatori ad attrito che realizzano lo smorzamento servendosi dell'attrito fra corpi rigidi (vedere Figura 13.8),
- 2) gli ammortizzatori a liquido che sfruttano gli scambi energetici che avvengono in un mezzo liquido (vedere Figura 13.8) o in un mezzo gassoso.

Nell'utilizzo degli ammortizzatori ad attrito possono insorgere problemi di emissione acustica della struttura legati proprio alle modalità di funzionamento dell'ammortizzatore stesso.

Per tale motivo per l'isolamento vibrazionale delle macchine sono utilizzati, insieme alle unità a molla, gli ammortizzatori a liquido viscoso. Questi sono costituiti principalmente da:

- un involucro,
- un mezzo smorzatore,
- uno stantuffo.

Lo stantuffo si trova immerso nel mezzo smorzatore (liquido viscoso) ed ha la possibilità di muoversi nelle direzioni permesse dalla forma dell'involucro che lo avvolge. Con tale sistema si riesce anche ad ottenere uno smorzamento vibrazionale nei sei gradi di libertà. Tali ammortizzatori sono impiegati in particolar modo per attenuare grandi ampiezze di vibrazione alle basse e medie frequenze.

Legenda

- 1) Materiale d'attrito
- 2) Vite di regolazione
- 3) Molla di pressione
- 4) Stantuffo
- 5) Involucro
- 6) Liquido (mezzo smorzatore)

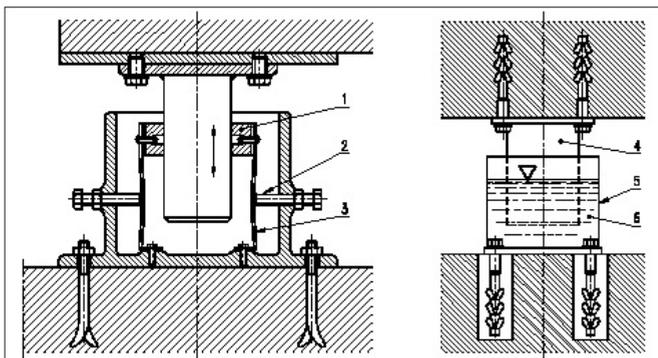


Figura 13.8: Schema di un ammortizzatore ad attrito e di un ammortizzatore a liquido viscoso.

Antirombo

Tale vocabolo definisce una tipologia di prodotti (composti chimici) il cui utilizzo è volto ad insonorizzare parti metalliche che, entrando in vibrazione, producono fastidiosi rumori. Da qui il nome del prodotto.

Le applicazioni principali sono per il rivestimento a spessore su parti della carrozzeria delle automobili come il cofano, i parafranghi ecc. soggetti a rumorose vibrazioni. Usato anche per insonorizzare macchine utensili, cabine di ascensore ed in genere per il rivestimento di manufatti per i quali è richiesta l'insonorizzazione. Generalmente si applica a spruzzo usando una pistola particolare chiamata "antirombo" e dotata di un ugello di grandi dimensioni onde far defluire il prodotto ricco di sostanze isolanti a granulometria elevata. Il prodotto così applicato è lasciato essiccare all'aria.

Più che di una vernice, si tratta di un composto di consistenza pastosa da applicarsi appunto a spessore ed è di colore nero bituminoso.

Occorre ricordare che il prodotto antirombo, essendo un composto chimico, deve essere accompagnato dalla relativa scheda di sicurezza che permette la giusta valutazione dei rischi per la salute e per la sicurezza derivante dalla presenza e dall'uso del prodotto stesso.

Un'ampia rassegna dei materiali smorzanti e antivibranti attualmente disponibili in commercio è riportata nella sezione B.3 del Terzo Livello.

Basamenti galleggianti

Per ridurre la trasmissione di rumore da impatto, o per incrementare la perdita di trasmissione sonora attraverso le strutture, ma soprattutto per isolare le vibrazioni prodotte da un'attrezzatura (in genere macchinari di grandi dimensioni quali ad esempio banchi prova, ma anche macchinari con elementi rotanti o comunque con superfici vibranti) si utilizzano i cosiddetti "basamenti (o anche pavimenti) galleggianti".

Si hanno a disposizione diverse tipologie di realizzazione a seconda delle applicazioni e si va dai più semplici, costituiti da piani rialzati rispetto il livello precedente di calpestio con l'applicazione superficiale di rivestimenti fonoisolanti, a quelli più complessi dove si realizza una vera e propria sospensione del basamento con l'interposizione tra il basamento stesso e la struttura di sistemi ammortizzanti.

Nelle figure seguenti sono rappresentati alcuni esempi di basamenti galleggianti.

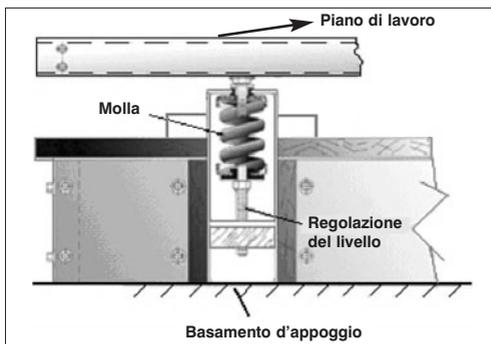


Figura 13.9: Esempio d'isolamento delle vibrazioni per "piattaforme" di lavoro.

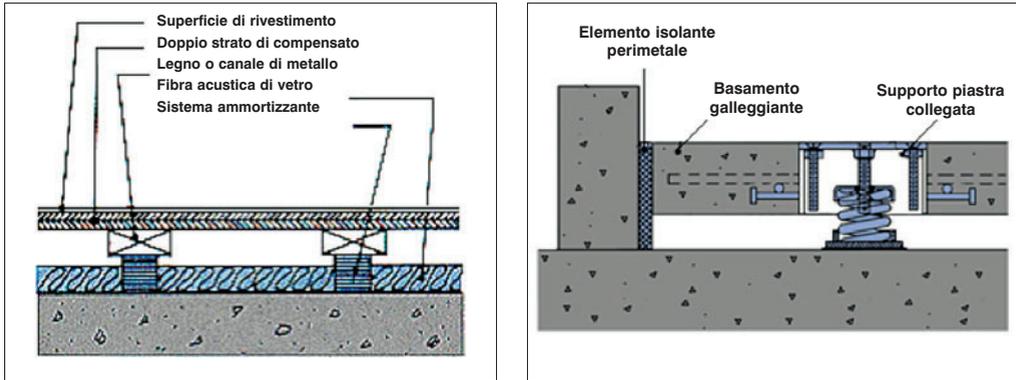


Figura 13.10: Esempi di basamenti galleggianti.

Scheda 14

Trasmissione del rumore per via aerea e per via strutturale

Ogni suono, generato da una sorgente primaria, si propaga da questa agli ambienti che la circondano, siano questi gas, liquidi o solidi.

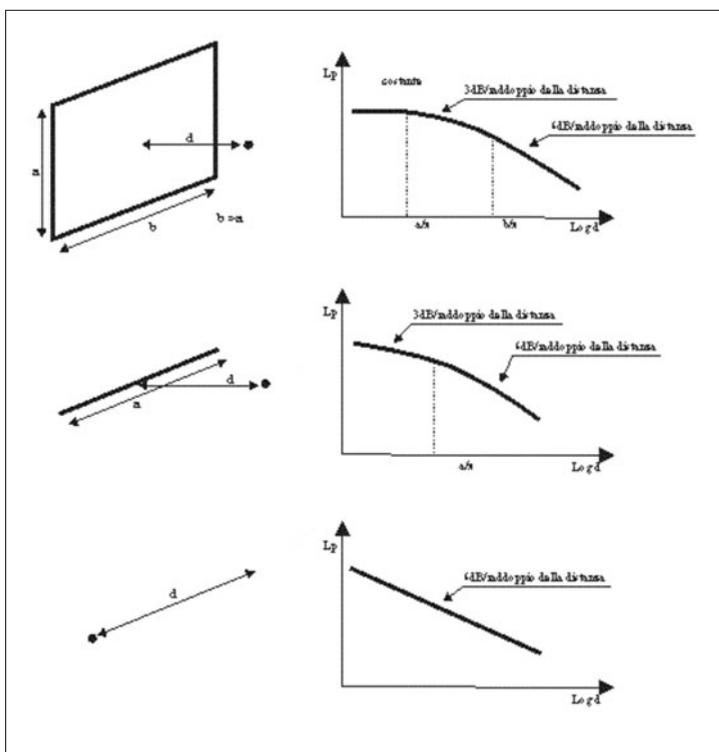


Figura 14.1: Andamento con la distanza del rumore emesso da varie sorgenti.

La propagazione del rumore dipende dal tipo di sorgente sonora; in un ambiente aperto (senza riflessioni) valgono i seguenti criteri:

- sorgenti piane: il livello sonoro non decresce a breve distanza, poi progressivamente diminuisce fino a 6 dB per ogni raddoppiamento della distanza sorgente-ricettore;
- sorgenti lineari: il livello sonoro decresce inizialmente di 3 dB per ogni raddoppiamento della distanza sorgente-ricettore, poi progressivamente fino a 6 dB per ogni raddoppiamento;

- sorgenti omnidirezionali: il livello sonoro diminuisce di 6 dB per ogni raddoppiamento della distanza sorgente-ricettore.

Nelle situazioni più ordinarie il rumore generato da una sorgente (ad esempio una macchina) si propaga nell'ambiente aereo che la circonda con modalità riconducibili a queste tipologie fondamentali:

- propagazione secondo onde piane (ad esempio, in prossimità di superfici piane irradianti rumore, o, in prima approssimazione, all'interno di un canale di sezione costante);
- propagazione secondo onde cilindriche (determinata da sorgenti sonore lineari, ad es. tubazioni);
- propagazione secondo onde sferiche (causata ad es. da sorgenti omnidirezionali in un ambiente omogeneo).

La propagazione nella realtà assume modalità più complesse in relazione a:

- caratteristiche di direttività della sorgente sonora (da cui dipende la maggiore o minore emissione sonora lungo talune direttrici, ad es. nel caso di macchine aventi componenti particolarmente rumorosi disposti su un lato della macchina stessa);
- caratteristiche ambientali:
 - riflessioni sonore contro superfici (pareti, carter, arredi, ecc.);
 - assorbimento sonoro dell'atmosfera, di elementi presenti nell'ambiente (materiali, persone, arredi, ecc.);
 - diffusione sonora di particolari elementi presenti nell'ambiente (spigoli di macchine, arredi, pannelli, ecc.).

In ambiente aperto altri parametri influenzano considerevolmente la propagazione acustica (condizioni meteorologiche, morfologia del terreno, vegetazione, terreno, schermi naturali e artificiali, ecc.).

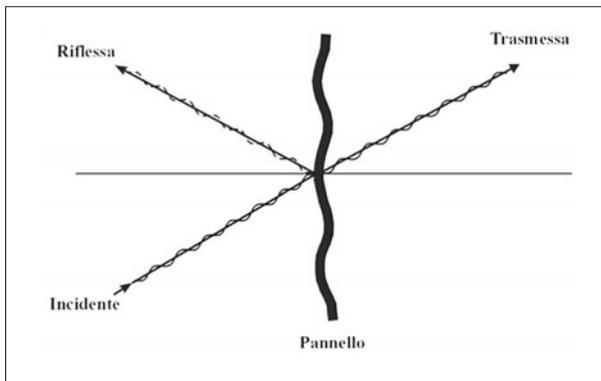


Figura 14.2: Trasmissione acustica per via aerea di una parete.

Il rumore che si propaga per via aerea, quando intercetta un elemento solido (es. un pannello) ne determina la sua vibrazione e, conseguentemente, la radiazione sonora nell'ambiente adiacente (trasmissione per via aerea).

In generale una repentina variazione nelle condizioni di propagazione di un suono (ad esempio cambiamento del mezzo di propagazione, brusca variazione della sezione di passaggio di un canale) determina un'attenuazione dell'energia sonora che si propaga al di là del punto di discontinuità.

Parte dell'energia sonora che viene generata da una sorgente sonora può propagarsi attraverso una struttura solida (trasmissione per via strutturale); ad esempio:

- il rumore delle pompe di un impianto di riscaldamento può propagarsi anche tramite le tubazioni e reirradiarsi a grande distanza dalla sorgente per mezzo dei termosifoni;
- il rumore di un organo di trasmissione di una macchina si può anche trasmettere attraverso le strutture della macchina, mettere in vibrazione i carter di protezione, generando rumore attraverso essi.

Nel definire i criteri di bonifica acustica, eccezion fatta nel caso in cui si intervenga sulle cause di generazione del rumore, è fondamentale discriminare il contributo dovuto alle differenti vie di propagazione. Lo vediamo attraverso due esempi.

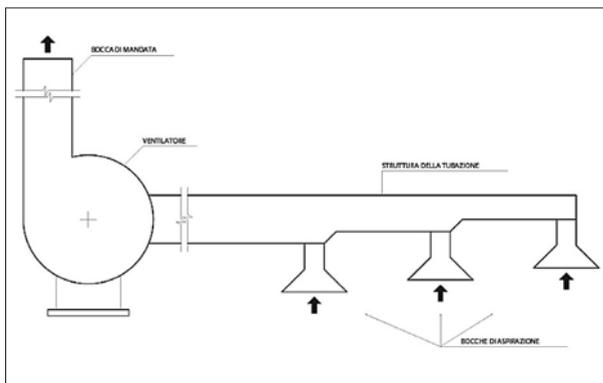


Figura 14.3: Percorsi di trasmissione del rumore emesso da un ventilatore.

Esempio A:

Un ventilatore (vedi Figura 14.3) è collegato, attraverso un sistema di tubazioni, a delle cappe di aspirazione. Il rumore generato dal ventilatore viene irradiato attraverso 4 percorsi:

Sorgente emettente	Via di propagazione/trasmissione	Ambiente influenzato
bocca di mandata carcassa del ventilatore struttura della tubazione cappe di aspirazione	propagazione per via aerea trasmissione per via aerea e per via strutturale trasmissione per via aerea e per via strutturale propagazione per via aerea	esterno locale del ventilatore ambiente di lavoro ambiente di lavoro

Se la bonifica acustica ha come obiettivo il solo ambiente di lavoro, occorre verificare l'entità dell'immissione sonora dovuta alla via strutturale e alla via aerea.

Se essa è ad esempio dovuta, in modo dominante, alle cappe di aspirazione, può essere idoneo un silenziatore (o un sistema di silenziatori), se invece la vibrazione della tubazione non può essere trascurata, si può prevedere l'adozione di un manicotto elastico nel punto di connessione con il ventilatore e/o la modifica delle caratteristiche della tubazione (cambiandone la massa o la rigidità o lo smorzamento).

Ovviamente se il problema fosse rappresentato anche:

- dall'immissione sonora verso dovuta alla mandata, è possibile aggiungere un silenziatore sulla bocca di mandata;
- dall'immissione sonora del corpo del ventilatore, è suggeribile un incremento del potere fonoisolante della carcassa del ventilatore stesso.

Esempio B:

Il rumore del gruppo freno frizione di una pressa (Figura 14.4) viene irradiato nell'ambiente attraverso il carter di protezione.

Se tale immissione è causata prevalentemente dalla trasmissione per via aerea, è opportuno aumentare il fonoisolamento del carter (ad es. incrementandone la massa, tamponando meglio le aperture).

Se al contrario essa è causata dalla trasmissione per via strutturale, occorre rendere più elastiche le connessioni del carter con la struttura della pressa, e anche rendere meno efficiente la radiazione del carter (ad esempio sostituendo il carter in lamiera con una rete metallica). Nel caso in cui entrambe le vie di trasmissione fossero rilevanti occorre da una parte aumentare il fonoisolamento (e quindi l'uso della rete metallica è in questo caso da evitare), dall'altra ridurre l'entità della vibrazione (ad esempio con l'uso di materiali smorzanti) o modificare la radiazione sonora (ad esempio attraverso delle nervature).

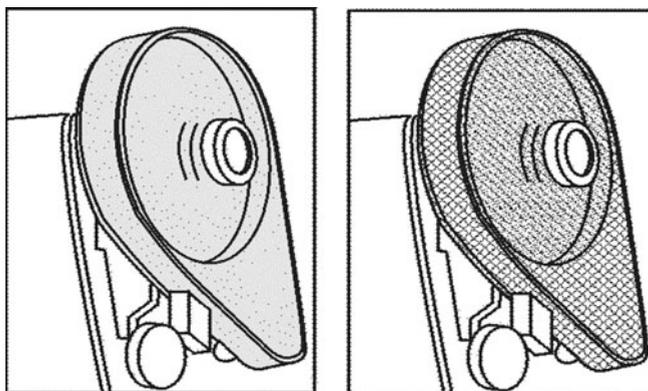


Figura 14.4: Esempio di bonifica del gruppo freno frizione di una pressa, in cui il carter è la sorgente sonora prevalente a causa della trasmissione per via strutturale.

Scheda 15

Radiazione acustica di superfici vibranti

La radiazione acustica da parte della superficie di una struttura è il risultato della conversione di una vibrazione di una struttura eccitata in una compressione pulsante dell'aria circostante. La potenza sonora irradiata può essere espressa analiticamente come:

$$W_{\text{rad}} = \rho_0 \cdot c \cdot S \cdot \bar{v}^2 \cdot \sigma_{\text{rad}}$$

in cui:

ρ è la densità dell'aria (kg/m^3)

c è la velocità del suono nell'aria (m/sec)

S è l'area della superficie del corpo (m^2)

v il valore efficace della velocità di vibrazione della superficie (m/sec).

Si definisce σ_{rad} efficienza radiante effettiva, un parametro fondamentale che caratterizza la capacità di un corpo vibrante di irradiare potenza sonora. Dipendendo dal tipo di superficie radiante e dal campo di frequenze, i valori di rad variano in un intervallo molto grande (vedere esempi in fig. 15.1).

In generale alle alte frequenze si hanno valori elevati, che possono approssimarsi all'unità. Normalmente si individua poi una frequenza critica f_c che può essere calcolata mediante un approccio teorico, per sorgenti di tipo elementare. In corrispondenza di tale frequenza la radiazione è massima, e può, per pannelli aventi un debole smorzamento, superare il valore 1.

In linea generale pannelli di pari superficie irradiano energia sonora tanto minore quanto è maggiore il loro perimetro: un pannello rettangolare emette meno rumore di un pannello quadrato o circolare avente la stessa superficie e lo stesso livello di vibrazione. Questo fatto deriva da un fenomeno di cancellazione delle onde sonore (interferenza

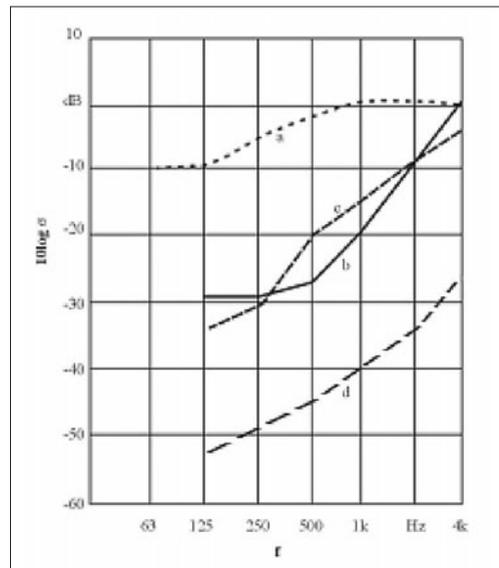


Figura 15.1: Andamenti sperimentali dell'efficienza radiante effettiva per diverse strutture:

- blocco cilindro di un motore diesel
- condotto in acciaio, diametro 0,7 m, spessore parete 1,3 mm
- piastra in acciaio 0,5x0,5 m², spessore 1,5 mm
- piastra in acciaio come (c), forata al 30%.

distruttiva) emesse dai due lati del bordo di una superficie ed è particolarmente rilevante alle basse frequenze.

Per ragioni sostanzialmente analoghe pannelli vibranti aventi i bordi liberi emettono minor rumorosità alle basse frequenze (a parità di vibrazione eccitante) rispetto agli stessi i cui bordi siano invece racchiusi (ad esempio, è ciò che avviene ponendo un altoparlante in una cassa acustica).

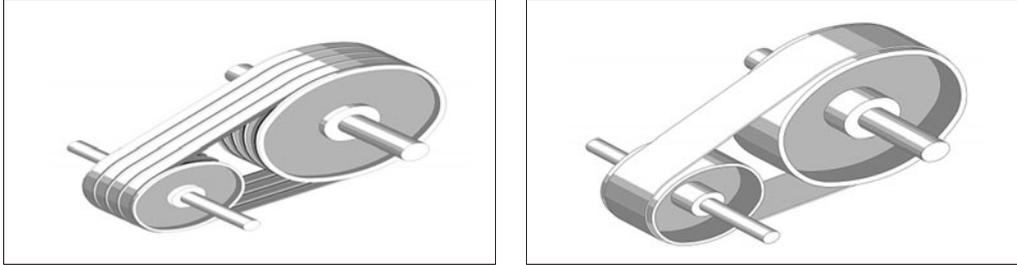


Figura 15.2: Sostituendo una cinghia di trasmissione di notevole larghezza con più cinghie, ognuna di minor larghezza, si riduce l'emissione sonora alle basse frequenze.

La conoscenza di σ_{rad} può essere molto preziosa nei casi in cui conosciamo v , e questa tecnica di previsione del rumore dalla misura delle vibrazioni sta entrando sempre più nell'uso comune di molte aree di studio. Inutile dire che non sempre è agevole misurare v , però, se questo è possibile, permette di prevedere la quantità di rumore emesso, quando non è determinabile attraverso la tecnica fonometrica.

Solitamente, anziché la velocità v di vibrazione, si preferisce misurare l'accelerazione a ; poiché, fisicamente, l'accelerazione è la derivata di una velocità, quest'ultima è deducibile dalla prima, attraverso l'espressione:

$$v = a / 2\pi f .$$

In linea teorica quindi misurando una qualunque grandezza associata alla vibrazione (accelerazione o velocità o anche spostamento) è calcolabile ognuna delle altre, purché se ne conosca lo spettro acustico; le uniche limitazioni sono di natura metrologica (legate ai trasduttori e agli analizzatori).

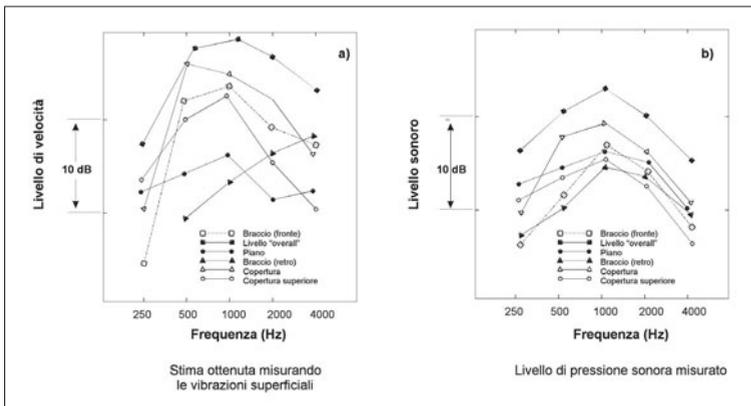


Figura 15.4: Livello di vibrazioni (velocità) e di pressione sonora irradiato da varie parti di una macchina da cucire.

In Figura 15.4 è riportato il livello di pressione sonora irradiato da varie parti di una macchina da cucire. In questo caso sono stati misurati direttamente, sia i livelli di vibrazione dei vari pannelli costituenti la macchina, sia i livelli di pressione sonora in prossimità alla superficie. Si può notare che, in base ad entrambi i metodi, il rumore dominante proviene dal carter della macchina che predomina rispetto a quello proveniente da qualsiasi altra componente. Questo contributo può essere ridotto isolando la parte dalla sorgente di eccitazione (il motore) o riducendo la sua attitudine a irradiare sostituendolo con una piastra perforata, come si osserva dalla Figura 15.5.

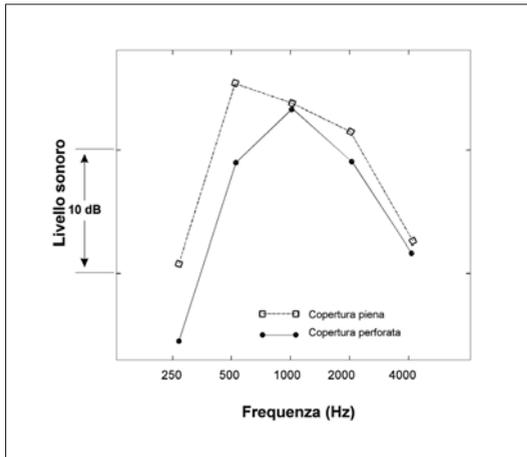


Figura 15.5: Riduzione della rumorosità della macchina da cucire ottenuta tramite la sostituzione della copertura di serie con una piastra perforata.

Scheda 16

Controllo attivo del rumore e delle vibrazioni

Interferenza delle onde sonore

Per le onde acustiche di ampiezza non elevata vale il principio di sovrapposizione lineare degli effetti in base al quale due onde, che si propagano contemporaneamente in una stessa porzione di spazio, producono un effetto pari alla somma degli effetti che ciascuna onda produce singolarmente.

Si considerino, per esempio, due toni puri aventi pressione sonora (valore efficace) p_1 e p_2 ed uguale frequenza $f = f_1 = f_2$. L'onda risultante ha la stessa frequenza f e pressione sonora (valore efficace) p_t pari a:

$$(1) \quad p_t^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 \cdot p_2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (\text{Pa})$$

Se i due toni puri hanno la stessa pressione sonora $p = p_1 = p_2$ i casi limite verificabili corrispondono alle due seguenti situazioni:

- le due onde sono in fase tra loro, cioè $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ (Figura 16.1a) e quindi $p_t = 2p$ che in termini di livello di pressione sonora si traduce in $L_t = L_p + 6 \text{ dB}$ (interferenza costruttiva);
- le due onde sono in opposizione di fase tra loro, cioè $\varphi_1 - \varphi_2 = 180^\circ$ (Figura 16.1b) e quindi $p_t = 0$ (interferenza distruttiva); questa situazione costituisce il principio di funzionamento dei sistemi di controllo attivo del rumore descritti più avanti.

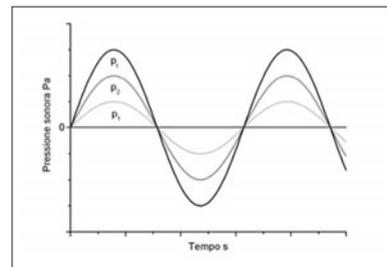


Figura 16.1a: Interferenza costruttiva tra due onde sonore in fase.

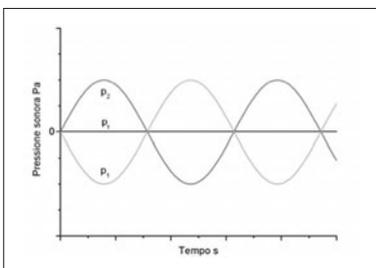


Figura 16.1b: Interferenza distruttiva tra due onde sonore in opposizione di fase.

Qualora le sorgenti sonore siano scorrelate tra loro (incoerenti), ossia non esista alcuna relazione di fase tra le onde, il livello di pressione sonora risultante è pari a:

$$(2) \quad L_t = 10 \cdot \log \left[10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10} \right] \quad \text{dB}$$

Quando due toni puri aventi frequenze fra loro molto prossime si sovrappongono la pressione sonora risultante subisce delle fluttuazioni periodiche con una frequenza pari alla differenza fra le frequenze dei due toni puri e di entità tanto più cospicua quanto più prossime fra loro sono le pressioni sonore dei toni stessi (battimenti). Ad esempio due ventilatori emettenti un rumore avente una componente tonale alla frequenza fondamentale di rotazione, se ruotano uno a 2940 giri/min (49 Hz) e l'altro a 2970 giri/min (49,5 Hz), determineranno una pressione sonora fluttuante con una frequenza di 0,5 Hz (quindi con un periodo di 2 s): di conseguenza si percepisce un suono il cui livello oscilla, ogni secondo, tra un valore massimo e uno minimo (Figura 16.2).

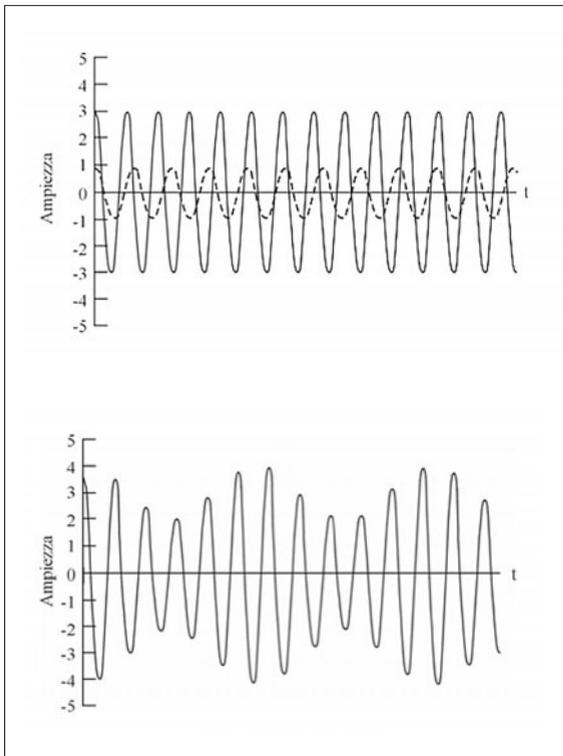


Figura 16.2: Sovrapposizione di due onde sonore aventi frequenze poco diverse tra loro (battimenti).

La sovrapposizione di onde aventi la stessa frequenza e che si propagano lungo la stessa direzione ma in verso opposto può determinare un fenomeno curioso, che però ha importanti (e spesso non gradite) conseguenze nella pratica, anche della bonifica acustica. Si crea cioè una situazione in cui le onde sonore, a causa della loro interferenza, non si propagano, ma oscillano nella posizione in cui si trovano (onde stazionarie). Questo fenomeno fisico è

generabile in modo molto evidente emettendo un rumore costante all'estremità di un tubo chiuso e osservando che lungo il tubo il livello sonoro può assumere dei valori molto differenti nelle varie sezioni dello stesso, ma rigorosamente costanti nel tempo. Questo principio è impiegato, ad esempio, per determinare il coefficiente di assorbimento acustico di materiali in condizioni di incidenza normale del suono (tubo di Kundt, Figura 16.3).

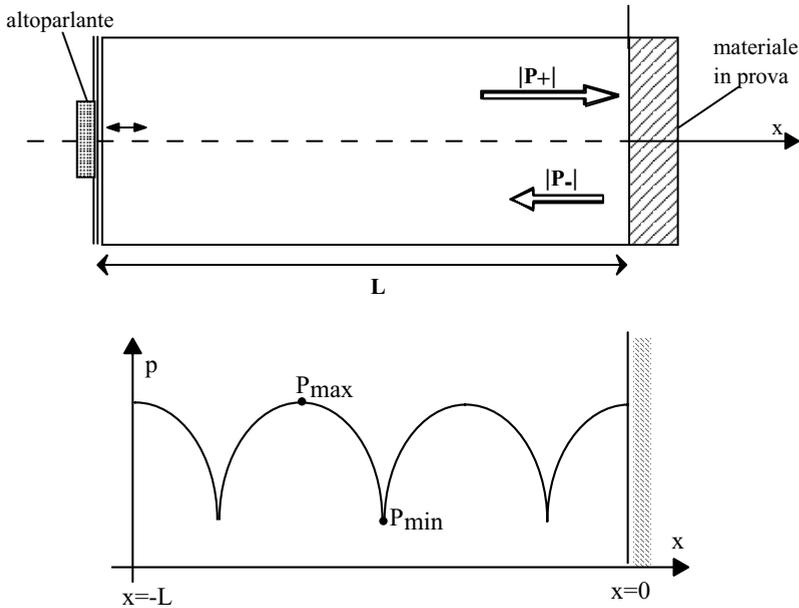


Figura 16.3: Generazione di onde stazionarie in un tubo avente un'estremità chiusa.

Le onde stazionarie sono presenti in ogni ambiente di forma regolare (ad esempio coperture di macchine o camere di forma parallelepipedica). Le frequenze a cui esse possono manifestarsi dipendono dalla distanza fra le superfici affacciate. Ogni onda stazionaria in un ambiente chiuso è chiamata modo normale di vibrazione o, più semplicemente, risonanza. Le onde stazionarie che si formano tra due pareti parallele di una struttura doppia ne limitano le caratteristiche fonoisolanti alla frequenza:

$$(3) \quad f = \frac{c}{2d} \quad \text{Hz}$$

dove c è la velocità del suono (m/sec) e d (m) è la distanza fra le due superfici affacciate. La limitazione del fonoisolamento può, eventualmente, interessare anche le prime frequenze multiple. Analoga criticità si presenta nelle coperture delle macchine le cui pareti siano affacciate a superfici piane della sorgente sonora (Figura 16.4).

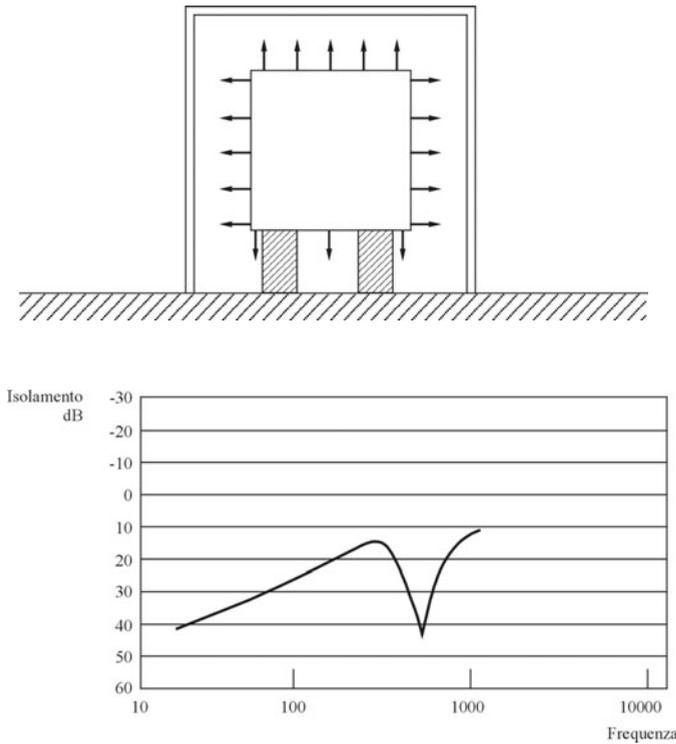


Figura 16.4: L'isolamento di una copertura fonoisolante le cui pareti distano 0,28 m dalla superficie della sorgente di rumore presenta una perdita di isolamento intorno a 600 Hz.

Controllo attivo del rumore e delle vibrazioni

Questa tecnologia è stata sviluppata in epoca relativamente recente, anche se il principio è noto da tempo, essendo basato sul fenomeno già descritto dell'interferenza distruttiva tra due segnali aventi la stessa ampiezza ma in opposizione di fase tra loro.

L'implementazione della tecnica consiste, essenzialmente, nel misurare, mediante un trasduttore, il *campo sonoro primario* da controllare, elaborare elettricamente il segnale acquisito con un apposito dispositivo (controllore), alimentare con il segnale così elaborato una sorgente che, generando un *campo sonoro secondario*, per sovrapposizione annulla il campo primario a seguito dell'interferenza distruttiva tra i due campi. Questo schema è illustrato nella Figura 16.5(a), ove il microfono (M) rileva l'onda sonora primaria da controllare e fornisce l'input I al dispositivo di controllo elettronico (C), il quale pilota l'altoparlante (L) con il segnale elaborato O. L'obiettivo consiste nel generare, mediante l'altoparlante, un'onda acustica (frecce tratteggiate) che abbia la stessa ampiezza dell'onda primaria (frecce intere) e che sia esattamente in opposizione di fase con quest'ultima. In questo modo, teoricamente, a valle (a destra) della sorgente secondaria (L) non esistono più entrambi i campi sonori (zona di silen-

zio). Una forma d'onda ad immagine speculare, per un segnale acustico di tipo non sinusoidale, è mostrata in Figura 16.5(b).

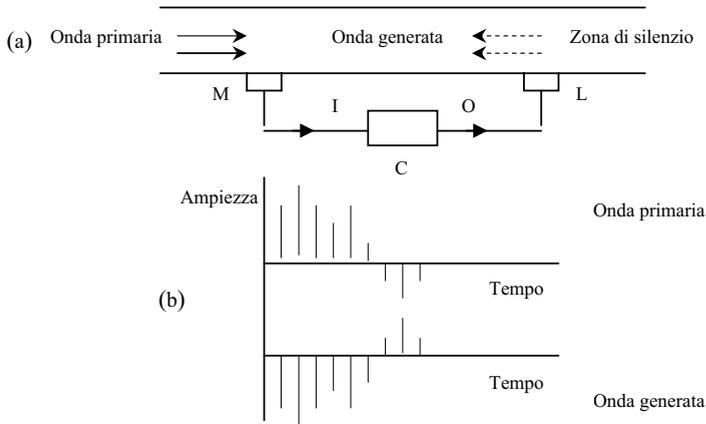


Figura 16.5: Rappresentazione del concetto di controllo attivo.

I vari dispositivi di controllo attivo realizzabili sono riconducibili a due tecniche:

- feedback*, nella quale l'input del dispositivo di controllo C proviene da un microfono di riferimento MR posto a valle della sorgente secondaria L (Figura 16.6); in questo caso il dispositivo C opera in modo tale da minimizzare l'ampiezza del segnale proveniente dal microfono MR;
- feedforward*, nella quale il dispositivo di controllo C riceve, oltre al segnale del microfono di riferimento MR, un altro segnale I correlato con il campo primario da controllare (Figura 16.7); questo segnale I può provenire da un microfono MI posto immediatamente a valle della sorgente da controllare (*feedforward* a banda larga), come illustrato in Figura 16.7(a), oppure da un segnale anche non acustico TI, qualora il campo acustico da controllare sia periodico (*feedforward* a banda stretta), come schematizzato in Figura 16.7(b).

L'ampio e crescente interesse attualmente rivolto alle tecniche di controllo attivo deriva prevalentemente dal fatto che queste sono in grado, ove applicabili, di superare gli inconvenienti tipici degli interventi tradizionali "passivi". Questi ultimi, infatti, presentano le migliori prestazioni di riduzione del rumore nei campi di frequenza medio-alti e comportano spessori e masse progressivamente crescenti con il diminuire della frequenza da controllare. Al contrario, i dispositivi di controllo attivo possono fornire risultati soddisfacenti proprio nel campo delle basse frequenze, inferiori a 300÷400 Hz, senza le limitazioni sopra indicate degli interventi passivi. Si sottolinea 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 (Figura 16.8).

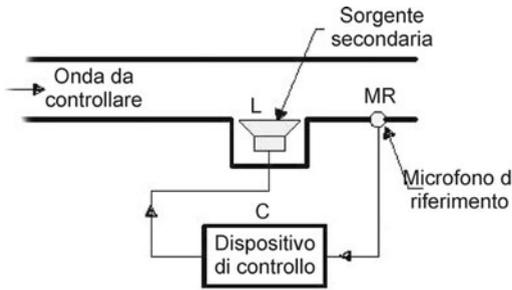


Figura 16.6: Schema della tecnica feedback.

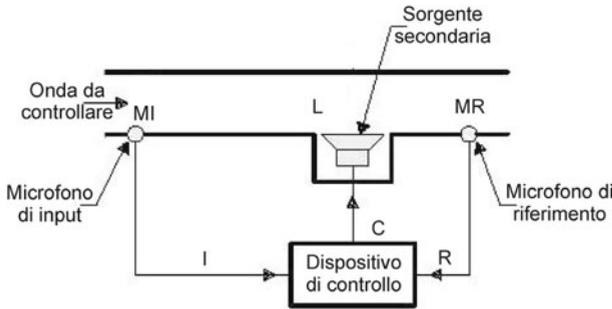


Figura 16.7(a): Schema della tecnica feedforward a banda larga.

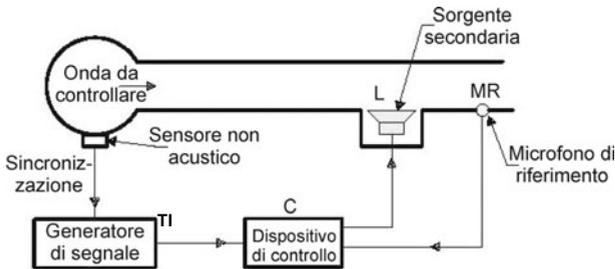


Figura 16.7(b): Schema della tecnica feedforward a banda stretta.

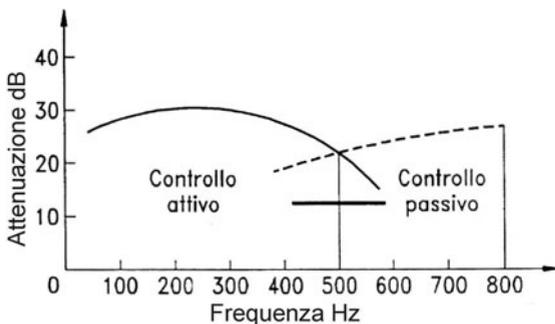


Figura 16.8: Campo di applicazione degli interventi di controllo attivo e passivo [norma UNI EN ISO 11690-2:1999].

Applicazioni con risultati positivi si registrano laddove sia necessario ridurre il rumore prodotto dal flusso d'aria, sia esso all'interno di condotti di ventilazione e di condizionamento dell'aria oppure generato da ventilatori assiali. Silenziatori attivi sono installati sullo scarico di motori e sempre più diffuse sono le applicazioni del controllo attivo del rumore nei settori aeronautico ed automobilistico per migliorare il comfort degli utenti. Risultati interessanti sono stati ottenuti anche nel settore tessile, suscettibili di una più ampia ricaduta nelle macchine utensili, particolarmente quelle con emissione sonora quasi-stazionaria e predominanza delle basse frequenze.

A fronte dei consistenti vantaggi sopra indicati, allo stato attuale di evoluzione delle applicazioni le tecniche di controllo attivo presentano le seguenti limitazioni:

- il campo sonoro da controllare deve presentare caratteristiche spaziali non complesse (tipico esempio è la propagazione del suono in un condotto) e andamento stazionario nel tempo;
- l'intervento presenta buona efficacia se la lunghezza d'onda del suono è elevata rispetto alle dimensioni del campo sonoro da controllare; risultano efficaci, pertanto, gli interventi su frequenze di poche centinaia di Hz;
- le difficoltà nella generazione del segnale antagonista sono ovviamente tanto più grandi quanto più estesa è la distribuzione in frequenza del rumore da controllare; i migliori risultati possono essere ottenuti nel caso di toni puri o segnali a banda stretta con eventuali armoniche;
- l'esistenza di ritardi di fase, che aumentano all'aumentare della frequenza, fra le risposte, spesso non lineari, dei trasduttori e delle sorgenti secondarie, possono portare il controllo *feedback* in condizioni di instabilità;
- nei sistemi con controllo *feedforward*, il segnale di riferimento deve essere ben correlato con quello della sorgente primaria;
- l'intervento, pur presentando buona efficacia nella posizione di interesse, può dar luogo ad effetti collaterali di aumento del livello di pressione sonora in altri punti dello spazio; per evitare questi effetti il numero di sorgenti secondarie necessarie diventa considerevole e, se il campo da controllare è complesso (con presenza anche di frequenze elevate), il problema non è a tutt'oggi risolvibile.

Nelle applicazioni sono distinguibili, normalmente, due diverse "filosofie" per il controllo attivo del rumore e delle vibrazioni. La prima è finalizzata a controllare un campo già esistente, come schematizzato in Figura 16.5, mentre la seconda è orientata a prevenire la formazione di detto campo come, ad esempio, l'applicazione di trasduttori piezoceramici su una parete in vibrazione per ridurre quest'ultima e, quindi, prevenire la formazione del campo acustico da questa generato.

Tra i sistemi commerciali per il controllo attivo già da tempo disponibili si citano, ad esempio, le cuffie acustiche attive (vedi schema in Figura 16.9), i dispositivi per la soppressione di onde sonore piane in condotti e quelli per la riduzione del campo sonoro in ambienti chiusi (cabine di aerei e abitacolo di autovetture). Le cuffie acustiche attive non vanno confuse con quelle commercializzate con la denominazione di "cuffie elettroniche". Queste ultime, infatti, sono dispositivi di protezione individuali tradizionali dotati di un sistema elettroacustico che all'interno della coppa auricolare riproduce il rumore presente all'esterno, limitandone il livello di riproduzione per impedire l'interferenza con segnali utili e i danni all'udito. Questo dispositivo di limitazione (controllo automatico del volume) è spesso presente anche nelle cuffie degli operatori telefonici e radio per evitare l'esposizione ad eccessivi transienti di attacco del segnale ricevuto in cuffia.

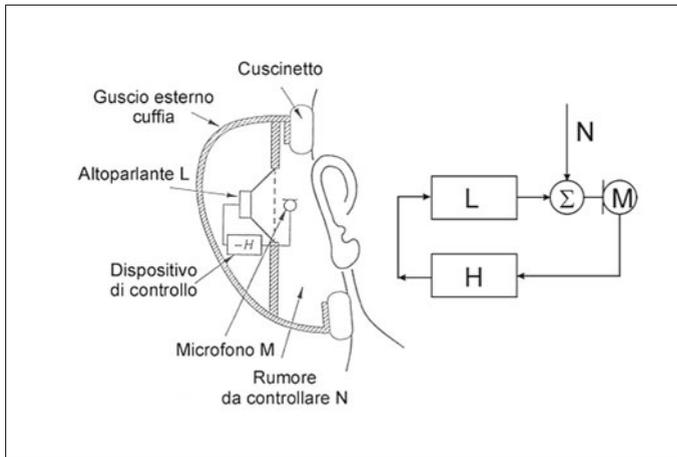


Figura 16.9: Schema di cuffia con controllo attivo del rumore.

Per il controllo attivo della vibrazione strutturale ed, eventualmente, del rumore da questa trasmesso, si impiega attualmente un'ampia varietà di trasduttori, tra cui ceramiche piezoelettriche e film, attuatori magnetostrittivi e sensori a fibre ottiche, strutture *smart* con trasduttori incorporati. Applicazioni realizzate con successo comprendono il controllo del campo acustico interno su mezzi di trasporto (aerei ed auto) ed il contenimento delle vibrazioni strutturali su vari tipi di macchine e/o componenti.

Scheda 17

Coperture integrali e parziali di sorgenti sonore

I modi di trasmissione di un segnale, soprattutto se generato da un macchinario di grandi dimensioni (e quindi di massa molto maggiore al cabinato da progettare per contenerne l'emissione), sono numerosi.

Un calcolo previsionale in merito al tipo di struttura da utilizzare è possibile, anche se le tolleranze che i modelli teorici costringono ad adottare sono molto ampie. Per questo motivo, fino a valori di isolamento dell'ordine di 15-20 dB, si tende ad adottare pannelli prefabbricati modulari esistenti sul mercato. Si suggerisce sempre in tal caso l'uso di pannelli certificati, caratterizzati dall'indice di valutazione "R_w" che ne rappresenta il potere fonoisolante. È opportuno evidenziare però che questo numero non rappresenta il reale valore del fonisolamento che ci possiamo attendere dall'utilizzo dei pannelli scelti; per avere indicazioni in merito è necessario conoscere i valori sperimentali frequenza per frequenza, tenendo anche conto che le condizioni di misura in laboratorio sono ideali e che quindi, proprio per questo motivo, sono probabili perdite di efficienza sia sulle basse frequenze (dovute ai modi di vibrazione che nel campione sono ottimali) che sulle alte (dovute alla cura con cui è sigillata ogni possibile apertura).

Di diverso spessore e con diversi riempimenti in funzione delle caratteristiche acustiche richieste, i pannelli possono essere autoportanti (Figura 17.1) oppure necessitare di strutture di sostegno (Figura 17.2). Sono generalmente formati da un guscio metallico, la cui composizione (acciaio, alluminio, inox, ecc.) dipende essenzialmente dalle caratteristiche microclimatiche dell'ambiente ospite, e contengono materiale impedito di massa elevata e materiale assorbente lasciato a vista e contenuto da un lamierino forato. La presenza di un lato fonoassorbente è dovuta all'esigenza di ridurre al minimo l'aumento del livello di pressione sonora interna al cabinato: in caso contrario tale aumento andrebbe a ridurre l'abbattimento reale dell'intervento.

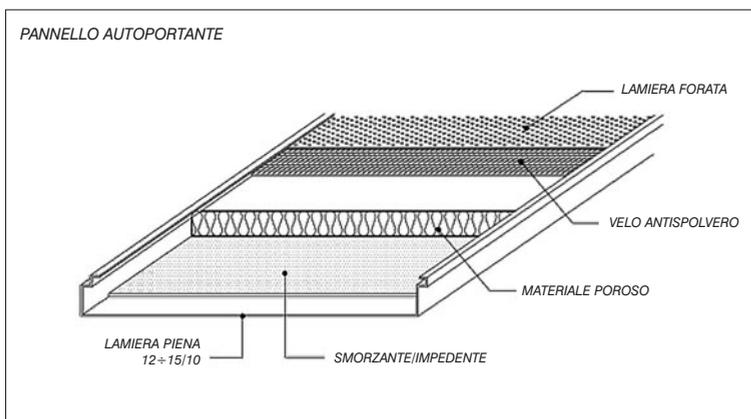


Figura 17.1: Esempio di schema costruttivo di un pannello autoportante.

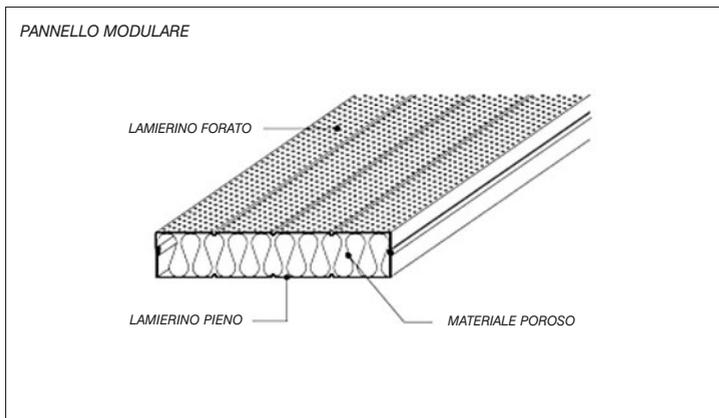


Figura 17.2: Esempio di pannello modulare.

Massima cura deve essere prestata al collegamento tra i singoli pannelli, essendo questa discontinuità uno dei punti più deboli della catena fonoisolante.

Per valori di isolamento acustico maggiori di 15-20 dB, il pannello prefabbricato potrebbe essere insufficiente a meno di non realizzare, con grande dispendio di spazio, un doppio cabinato: in tal caso, l'efficienza del singolo pannello non si raddoppia, ma consente comunque il raggiungimento di più alti valori.

Nel caso di progettazione ex novo di una copertura ad elevato potere fonoisolante (Figura 17.3), la struttura dovrà rispettare, nei limiti dati dalla funzionalità operativa, la legge della massa; anche in questo caso, dato che l'isolamento diminuisce, a parità di massa, al diminuire della frequenza, sarà importante considerare lo spettro acustico del segnale da abbattere.

Una volta stabilito l'obiettivo acustico da raggiungere, e cioè il valore dell'isolamento che dovrà essere realmente goduto dal personale, è indispensabile che tutte le componenti del cabinato, e soprattutto quelle non acustiche, abbiano un'efficienza acustica paragonabile. Ci si riferisce ad ogni tipo di apertura, ma in particolare alle prese d'aria per la ventilazione e agli eventuali passaggi della materia prima e del materiale trasformato che, soprattutto se coincidenti con la zona di permanenza del personale, costituiscono l'anello più debole della catena isolante (Figura 17.4).

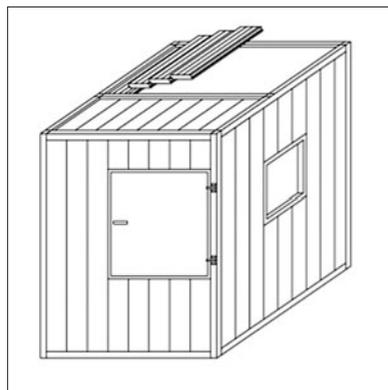


Figura 17.3: Esempio di copertura ad elevato potere fonoisolante.

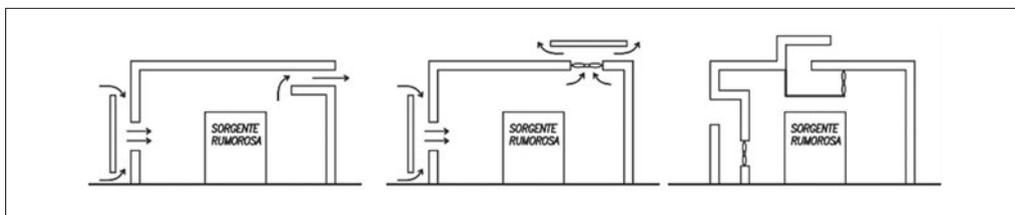


Figura 17.4: Esempi di aperture (prese d'aria) che possono ridurre il potere fonoisolante delle coperture.

La tabella sottostante indica alcuni valori sperimentali di perdita dell'isolamento in funzione sia della percentuale di aperture che dell'efficienza acustica teorica.

Isolamento teorico dB	Superficie apertura %	Perdita dB	Isolamento reale dB
20	5	8	12
30	1	10	20
40	0,01	11	29

Notevole importanza hanno anche le porte, in cui le guarnizioni, e più in generale i sistemi di chiusura e tenuta, sono spesso determinanti (vedi esempio in Figura 17.5); molti Costruttori prescrivono precisi tempi di sostituzione per le prime e di manutenzione per i secondi.

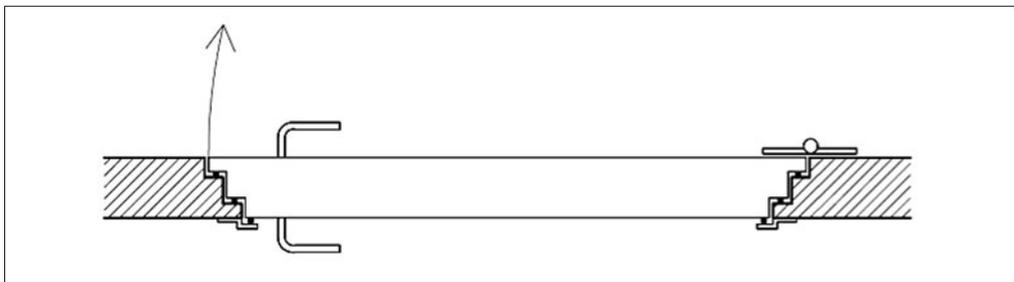


Figura 17.5: Esempio di sistema di chiusura ad alta efficienza di una porta fonoisolante.

Nella progettazione va considerata, ed eventualmente annullata, la possibilità della presenza di onde stazionarie (vedi Scheda 16), a causa del parallelismo e della riflessione delle pareti componenti il cabinato; in caso contrario la risonanza così generata produrrebbe un "buco" di isolamento proprio nella frequenza interessata (e probabilmente anche nelle prime armoniche).

È sempre utile prevedere un idoneo appoggio elastico del cabinato, meglio se in aggiunta, ma disaccoppiato, al basamento antivibrante del macchinario insonorizzato; è sempre necessario tenere conto della frequenza di risonanza del sistema, per evitare che il cabinato diventi trasparente a frequenze udibili e disturbanti.

Nel caso di cappottature integrali questo problema è ancora più determinante ai fini del risultato, in quanto la massa del macchinario è generalmente molto maggiore di quella della copertura: anche per questo motivo, oltre che a causa dei maggiori costi dei manufatti su misura, nella maggioranza dei casi si tende ad utilizzare il cabinato realizzato con pannelli prefabbricati.

Da un punto di vista generale è consigliabile utilizzare le cabine o le cappottature acustiche quando:

- non si prevedono evoluzioni rapide dell'impianto da isolare. Se i macchinari fossero in rapida evoluzione tecnologica le modifiche alla *silhouette* del macchinario stesso costringerebbero ad adattamenti del cabinato alla sorgente, cosa questa non sempre facilmente rea-

lizzabile. Se poi la modifica riguardasse anche l'emissione acustica si rischierebbe di dover ri-progettare ex novo tutto l'intervento.

- Si può abbinare alla soluzione dei problemi acustici la riduzione di altri rischi per la salute e la sicurezza. In macchinari o impianti che producono, ad esempio, gas o vapori tossici, oppure polveri o calore, è consigliabile un intervento che risolva insieme il problema acustico e quello igienico. Lo stesso discorso vale anche, e soprattutto, nei confronti della sicurezza antinfortunistica dai rischi di tipo meccanico.

Dal punto di vista degli obiettivi acustici è consigliabile utilizzare le cabine o le cappottature acustiche quando:

- la sorgente o le sorgenti da isolare costituiscono la fonte di disturbo principale e si trovano a livelli molto maggiori delle sorgenti vicine e del livello di rumore di fondo;
- l'abbattimento richiesto è dell'ordine dei 10 o più dB. Per abbattimenti inferiori possono essere valutati i trattamenti ambientali con o senza l'aggiunta di schermature che potrebbero risolvere il problema con minori interferenze sulla operatività degli impianti.
- l'oggetto dell'intervento può essere isolato dall'ambiente circostante senza perdere in funzionalità; ogni collegamento esterno-interno può infatti ridurre la capacità fonoisolante se non si realizzano efficienti passaggi silenziati;
- non sono necessari frequenti interventi per la gestione ordinaria o per la manutenzione. Infatti la necessità di continui interventi, sia per la gestione ordinaria (come lo sblocco manuale di una parte inceppata o il riavvio dell'impianto) che per altri casi straordinari impongono una serie di aperture, manuali o automatiche, che possono ridurre l'efficacia dell'intervento anche perché a lungo andare perdono di efficienza acustica per usura rendendo indispensabile prevedere un programma periodico di manutenzione.

Per cappottatura o copertura parziale si intende generalmente un carter che copre una determinata zona di un macchinario, diventandone parte integrante. Una copertura parziale ha senso quando è facilmente individuabile una sorgente principale all'interno di un macchinario esteso. Prima di fare questa scelta tecnica è anche opportuno verificare l'influenza dei trasferimenti di energia per via solida e, se il caso e se possibile, abbinare gli interventi di tipo antivibrante.

Circa i criteri per scegliere i materiali, se già in commercio oppure da progettare, è da rilevare che mentre la natura stessa dell'intervento (parziale e quindi, per definizione, limitato nei risultati attesi) potrebbe far propendere verso un pannello prefabbricato, il fatto di dover adattare ad una *silhouette* esistente un manufatto metallico orienta generalmente la scelta verso strutture costruite su misura e non su quelle da adattare sul posto.

Un'ampia rassegna dei materiali e tecnologie per il fonoisolamento attualmente disponibili in commercio è riportata nella sezione B.2 del Terzo Livello, mentre una rassegna delle coperture realizzate sul campo è riportata nella sezione C del Terzo Livello.

Scheda 18

Cabine per operatori

Vengono utilizzate quando il personale addetto a lavorazioni particolarmente rumorose staziona prevalentemente in un'area ben definita.

Dal punto di vista acustico, è questo l'intervento di più facile progettazione in quanto è poco soggetto a molti di quei problemi che, per rendere pratico ed utilizzabile il cabinato per le macchine, ne limitano l'efficienza acustica (passaggi per i materiali o altre aperture, parziale e/o totale smontabilità, prese d'aria, ecc.).

Per questo motivo esistono in commercio Cabine prefabbricate, già caratterizzate acusticamente e garantite dal Fabricante; in caso contrario, la loro progettazione ex novo segue i criteri già esposti nella Scheda 17.

Per valutare l'isolamento necessario di una cabina per operatore è normalmente sufficiente confrontare il L_{Aeq} ambientale con l'efficacia acustica attesa (al massimo pari, ma quasi sempre apprezzabilmente inferiore al potere fonoisolante della stessa) puntando ad ottenere una esposizione residua normalmente inferiore ai 70 dB(A) e, comunque, mai superiore agli 80 dB(A). Per controllare il L_{EP} degli addetti, solitamente è poi indispensabile integrare la protezione dovuta alla cabina nei periodi di tempo in cui l'operatore può permanervi con quella garantita dai mezzi di protezione individuale, che saranno quindi da utilizzare solo all'esterno e per limitati periodi di tempo.

Nella progettazione è anche indispensabile tenere conto della reale abitabilità della cabina di riposo acustico in modo da favorirne un corretto utilizzo. In particolare, vanno curate:

- le dimensioni, che devono essere sufficienti a garantire una buona vivibilità e vanno stimate in funzione del numero degli addetti da ospitare;
- la climatizzazione (controllo dei parametri termoigrometrici e di purezza dell'aria), che deve essere equilibrata sia come temperatura che come ventilazione;
- la scelta dei materiali di finitura, che devono rispettare le esigenze igieniche (evitare materiali porosi che, se in vista o non protetti, possono rilasciare fibre (vedi a tale proposito la Scheda 20 più avanti);
- il clima acustico interno, che non deve essere troppo sordo;
- le superfici trasparenti, che devono consentire una comoda visione degli impianti sotto controllo; in caso di grandi superfici vetrate contrapposte, si ricorda il rischio della presenza di onde stazionarie che viene generalmente oviato evitandone il parallelismo.

È evidente che l'isolamento si ha solo a porta chiusa; per questo motivo, nel caso in cui l'apertura della porta fosse molto frequente, si possono realizzare cabine a doppia porta oppure cabine senza porta con ingresso a labirinto ed ambiente intermedio molto assorbente. In questo ultimo caso l'isolamento sarà certamente inferiore alla soluzione a doppia porta, ma comunque apprezzabile.

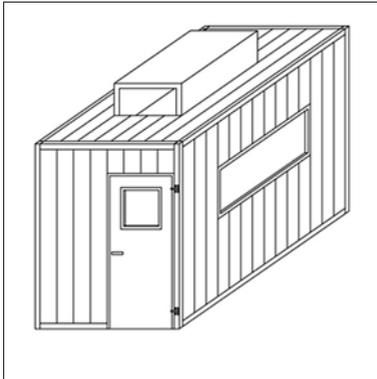


Figura 18.1: Esempio di cabina per operatori

Dal punto di vista generale è consigliabile utilizzare le cabine silenziose quando:

- la rumorosità nell'area interessata è a livelli elevati per l'effetto di molteplici sorgenti e con una minima presenza di personale adibito essenzialmente ad una funzione di controllo di una impiantistica, di per sé, fortemente automatizzata;
- il personale addetto al controllo staziona (o può essere messo in grado di stazionare) nella cabina operatore per la maggior parte o per una parte importante del tempo di permanenza in azienda.

A tale proposito, si ricorda che l'efficacia di una cabina di riposo acustico è determinata essenzialmente dalla percentuale di tempo che gli operatori vi possono trascorrere all'interno rispetto al tempo di esposizione giornaliero al rumore. Infatti, come si può vedere in Figura 18.2, quando la percentuale di tempo fuori dalla cabina sia superiore al 35-40%, la riduzione di L_{EP} si riduce a 4-5 dB(A).

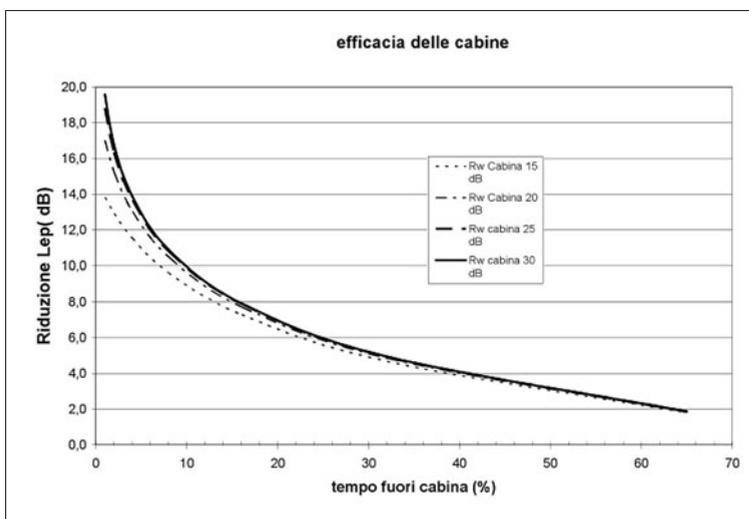


Figura 18.2: Efficacia acustica delle cabine per operatore in funzione del tempo di permanenza.

Dal punto di vista economico, la scelta di una Cabina per Operatore è senza dubbio uno degli interventi più convenienti anche se a volte, per ottenerne un utilizzo efficiente, occorre considerare le spese per le modifiche degli impianti da controllare, come il trasferimento dei comandi all'interno della Cabina oppure l'installazione di un sistema di controllo con telecamere.

Un caso a parte è quello delle cabine insonorizzate su mezzi mobili.

In queste situazioni l'uso di masse elevate non è giustificato sia per ovi motivi di peso globale sia per la presenza di aperture obbligate tra Cabina di guida e veicolo.

Dato che è prevalente la trasmissione del suono per via solida, le curve caratteristiche di isolamento sono penalizzate sulle basse frequenze, mentre per le frequenze più alte, di natura prevalentemente aerodinamica, le guarnizioni di portiere e finestrini hanno una buona efficienza.

Si rammenta che per queste ultime è necessario un programma di manutenzione e/o di sostituzione periodica, la perdita di isolamento acustico della cabina e quindi la conseguente inefficacia a fini protettivi per il lavoratore.

Scheda 19**Schermature di sorgenti sonore e di aree rumorose**

Per schermatura si intende comunemente una barriera finita il cui scopo è normalmente quello di separare acusticamente zone caratterizzate da livelli di rumore sensibilmente diversi e ridurre quindi il livello di rumorosità in una data direzione o area delle sorgenti di rumore.

Si ricorre alla schermatura sia in caso di singoli macchinari, sia in caso di zone produttive ben individuabili (Figura 19.1).

L'adozione di soluzioni flessibili ne permette l'uso temporaneo in punti diversi dell'azienda, ad esempio per proteggere le squadre di manutenzione che operano, a macchina ferma, in ambiente rumoroso; in questo caso la mobilità, che deve caratterizzare questo tipo di scelta tecnica, è meglio assicurata dotando la schermatura di ruote (Figura 19.2).

Poiché, come si diceva, lo scopo più frequente delle schermature è quello di separare acusticamente due zone a diversa rumorosità, sarà necessario rendere fonoassorbente almeno il lato orientato verso le sorgenti di rumore.

In caso di schermature tra macchinari è invece consigliabile adottare schermature biassorbenti, in modo da limitare da tutte e due i lati la riflessione.

La maggioranza delle schermature è realizzata con gli stessi materiali utilizzati per i cabinati, con grande preferenza per i pannelli prefabbricati: infatti, a causa dei limiti acustici dati sia dalla diffrazione al contorno dello schermo che dal suo scavalcamento da parte dell'onda riflessa, il potere fonoisolante di tali pannelli è generalmente più che sufficiente ad ottenere valori significativi. L'efficienza acustica dello schermo è tanto maggiore quanto più assorbente è l'ambiente ospite: per ridurre lo scavalcamento per effetto delle riflessioni occorre quindi trattare l'ambiente, o la parte di esso in cui è posizionato lo schermo.

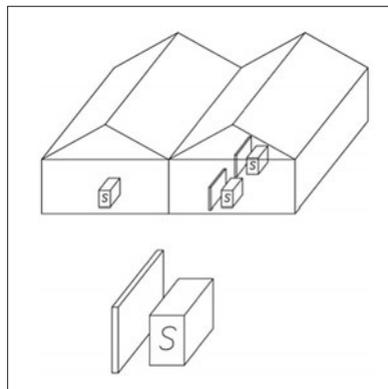


Figura 19.1: Esempi di utilizzo di schermature.

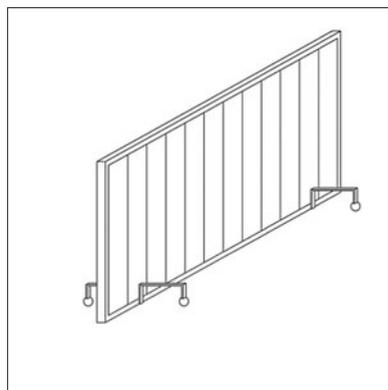


Figura 19.2: Esempio di applicazione di ruote per la movimentazione di schermi.

Da un punto di vista generale è consigliabile utilizzare gli schermi quando:

- il guadagno acustico richiesto è al massimo di 10 dB. Come si è detto, il potere fonoisolante delle schermature dipende dalla loro composizione e pertanto può raggiungere teoricamente valori anche molto elevati. In realtà il limite alla loro efficacia è dato dal fatto di essere dimensionalmente finiti, e quindi consentire il passaggio, per diffrazione al contorno e per scavalramento, di parte del segnale. Date queste limitazioni, che contengono normalmente entro i 10 dB il valore del fonoisolamento reale, ha poco senso realizzare questi interventi con strutture troppo pesanti;
- la sorgenti (macchine o attività) sono concentrate in zone limitate e non è possibile cabinarle per la loro stretta interdipendenza dalle aree vicine che si vogliono comunque proteggere. Quando le sorgenti sono costituite da attività (smerigliatura, martellatura, saldatura...) occorre spesso agire preliminarmente sul ciclo produttivo per riuscire a localizzare la realizzazione di significative quote di attività
- gli impianti sono automatici o semiautomatici, ma solo in punti predeterminati;
- esistono esigenze di sicurezza per le quali non possono esistere ostacoli o ritardi alla manutenzione. Il fatto che lo schermo sia spesso installato solo da un lato dell'impianto permette l'intervento immediato e la quasi totale accessibilità per i manutentori;
- per lavorazioni che non sempre possono essere contenute in spazi predefiniti o, in altre parole, che di volta in volta possono avere bisogno di spazi più o meno ampi. Per questi casi si possono adottare soluzioni con schermi mobili o racchiudibili a soffietto, così definendo aree di lavoro con dimensioni variabili e funzionali ai pezzi in lavorazione. In questi casi la protezione è ovviamente offerta non tanto agli operatori della lavorazione segregata, quanto per gli addetti ad altre lavorazioni nelle immediate vicinanze;
- ci si trova in presenza di un ambiente già oggetto di trattamento di fonoassorbimento ambientale.

Nelle Tabelle 19.1 e 19.2 seguenti si riportano i dati sperimentali delle attenuazioni acustiche ottenibili tramite schermi acustici in ambienti chiusi (uffici open space e ambienti industriali) ricavati dal lavoro di un ricercatore tedesco Kurze.

Tabella 19.1: Attenuazione di barriere in uffici open space (*), dB

Altezza barriera M	Distanza tra sorgente e ricevitore, m		
	da 2 a 3	da 4 a 6	da 7 a 9
Rumore continuo			
da 1,3 a 1,5	6,4	5,4	4,1
da 1,5 a 2,2	8,3	6,5	6,0
Rumore impulsivo			
da 1,5 a 2,2	8,8	8,1	6,4

* Valori medi in bande d'ottava a 1000 Hz, soffitti fonoassorbenti di altezza tra 2,7÷3,5 m.

Tabella 19.2: Attenuazione di barriere in ambienti industriali (*), dB

Altezza barriera/ Altezza locale	Distanza tra sorgente-ricevitore/altezza locale		
	0,3	da 0,3 a 1	da 1 a 3
0,3	7,4	3,6	
da 0,3 a 0,5	10	7,1	4,5
0,5		8,6	6,3

* Valori medi in bande d'ottava a 1000 Hz, soffitti non trattati di altezza tra 3÷13 m.

Schermature all'aperto (Barriere acustiche)

Hanno caratteristiche costruttive simili alle schermature per interno, salvo utilizzare materiali idonei protetti meccanicamente e/o chimicamente dagli agenti atmosferici.

Sono utilizzate per schermare impianti all'aperto, come gruppi frigo, o per proteggere zone rumorose, come piazzali di carico e scarico (Figura 19.3).

Dal punto di vista dell'efficienza degli impianti, l'adozione di questa soluzione non presenta solitamente inconvenienti. È importante valutare preventivamente le corrette dimensioni delle barriere: allo scopo generalmente si adottano sistemi previsionali che utilizzano i principi dell'ottica.

L'assenza di riflessioni, dovuta al campo libero, fa sì che l'ombra acustica sia la massima possibile ovvero che, a parità di ombra acustica, le dimensioni siano più contenute, con conseguente economia di acquisto.

Da un punto di vista generale sono consigliabili le barriere acustiche quando:

- il disturbo proviene da un'area ben definita. Un ottimo esempio è dato dal piazzale di carico di un'azienda a ciclo continuo: il disturbo prodotto dal traffico di veicoli e dal loro stazionamento a motore acceso può essere ridotto con questo sistema in presenza di ricettori vicini senza necessariamente isolare tutta l'area.

È necessario accertarsi che il disturbo provenga effettivamente da macchinari e/o attività esterne e non dal corpo dell'edificio nel qual caso è ovviamente preferibile intervenire prima all'interno così risolvendo anche il problema dell'esposizione dei lavoratori.

Una rassegna delle schermature realizzate sul campo è riportata nella sezione C del Terzo Livello.

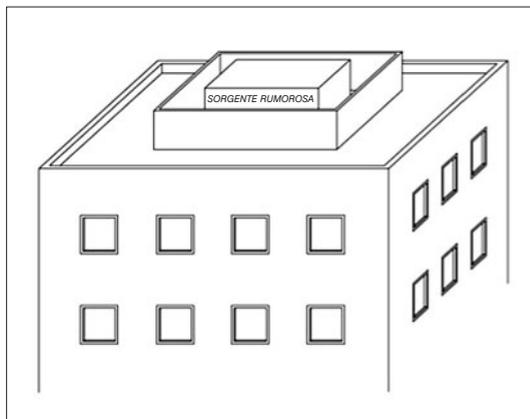


Figura 19.3: Esempio di utilizzo di barriere acustiche sul tetto di un edificio.

Scheda 20

Trattamenti fonoassorbenti

Riprendendo quanto già discusso nei paragrafi 3.2.6 e 6.2.8 del 1° Livello del Manuale, da un punto di vista generale, i trattamenti fonoassorbenti sono da consigliare nel caso:

- 1) siano sufficienti riduzioni del rumore di 5-6 dB;
- 2) di numerose sorgenti distribuite nell'ambiente che emettono livelli di potenza sonora analoghi tra di loro: in questo caso il rumore non dipende tanto dalle singole emissioni, quanto dalla loro somma; il trattamento fonoassorbente riduce il contributo delle molteplici sorgenti lontane;
- 3) di ambienti molto riverberanti con sorgenti concentrate: in questo caso i trattamenti sono più vantaggiosi per i lavoratori che operano lontano dalle sorgenti e che non svolgono mansioni rumorose (carrellisti, montatori, magazzinieri, ecc.);
- 4) di lavorazioni manuali con forti interdipendenze (carico/scarico pezzi, alimentazioni di materiali di supporto, forniture ...) dalle aree vicine

Sul mercato sono presenti materiali e sistemi fonoassorbenti di vario tipo e di diversa efficacia. Dato che, come si è visto, l'assorbimento dipende dalla frequenza del rumore, in primo luogo è necessario conoscere le caratteristiche spettrali del rumore che si vuole ridurre e sulla base di queste individuare le soluzioni più adeguate (vedi Figura 20.1).

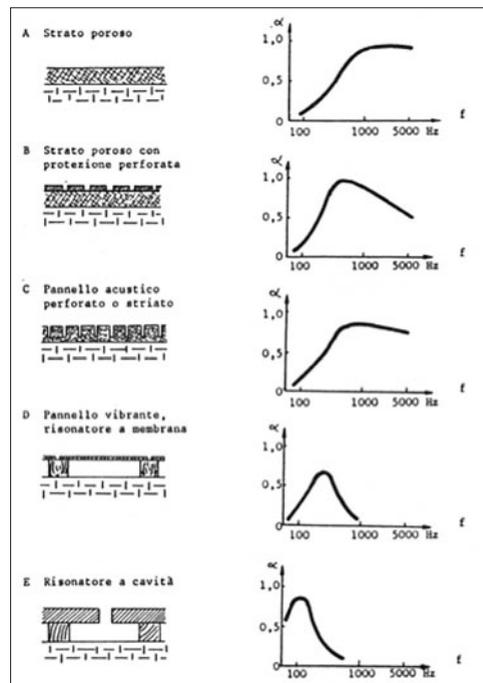


Figura 20.1: Sistemi fonoassorbenti e andamento dei relativi coefficienti di assorbimento.

Meccanismi di fonoassorbimento

Diverse sono le tipologie di materiali e di sistemi in grado di assorbire le onde sonore; essi operano comunque secondo tre meccanismi fisici fondamentali.

I) Assorbimento per porosità.

In questo caso l'energia sonora delle particelle d'aria è dissipata per viscosità all'interno del materiale poroso. I materiali assorbenti porosi, la cui capacità di fonoassorbimento può variare in funzione dello spessore, della porosità e della densità, possono essere (vedi Fig. 20.2):

- di tipo *fibroso* a base di lana minerale o di roccia, o di fibre di vetro, o di poliestere, legno, sughero, gesso;
- di tipo *cellulare* quali le schiume a cellule aperte melaminiche e poliuretaniche;
- di tipo *tessile* come moquettes, tappeti, tende.

A queste tipologie si possono aggiungere gli *intonaci fonoassorbenti*, ricavati da un particolare impasto di cellulosa, entro le cui microstrutture l'aria può vibrare. L'assorbimento per porosità ha solitamente valori elevati alle frequenze medio-alte (vedi Fig. 20.3), mentre è necessario un grande spessore di materiale per ottenere valori elevati alle frequenze medio-basse. Rispetto ad una parete piana ed impervia, gli assorbitori per porosità hanno la maggiore efficienza quando sono posti discosti da essa, tipicamente ad una distanza compresa tra 5 e 20 cm o più (nei controsoffitti). Questa modalità di installazione consente infatti di intercettare il movimento delle particelle d'aria dove esso presenta velocità più elevata, aumentando la dissipazione per viscosità.

II) Assorbimento per risonanza di membrana.

Si tratta di risonatori costituiti da un pannello piano disposto parallelamente e ad una certa distanza dalla parete (vedi Fig.20.4); il sistema è assimilabile ad una massa oscillante (il pannello vibrante) accoppiata ad un elemento elastico dotato di un certo smorzamento (l'aria racchiusa nell'intercapedine). L'energia meccanica viene dissipata per smorza-

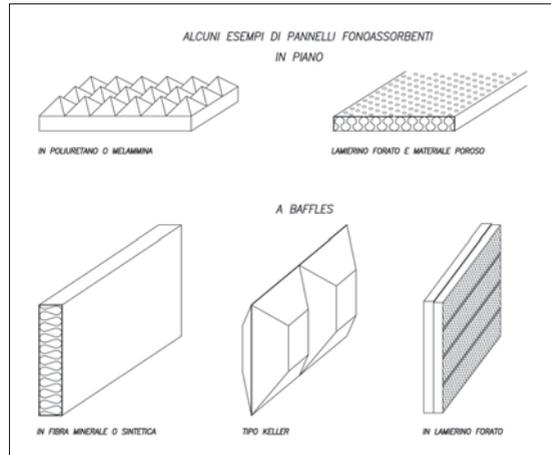


Figura 20.2: Esempi di pannelli fonoassorbenti porosi.

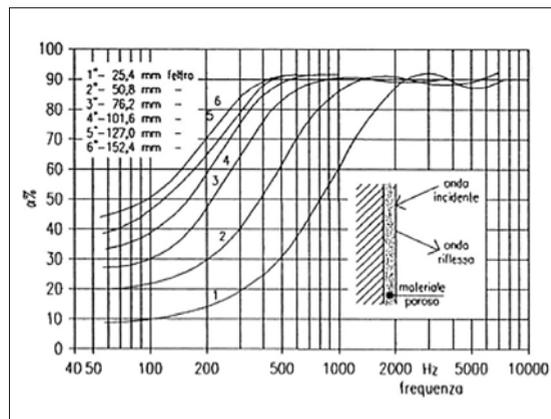


Figura 20.3: Assorbimento di pannelli fonoassorbenti porosi in funzione della frequenza.

mento. L'assorbimento per risonanza di membrana può essere realizzato con diversi materiali: legno, fibra di vetro ad alta densità, lamina metallica, ecc. Il fonoassorbimento di queste strutture è più selettivo rispetto a quello degli assorbitori porosi e solitamente è più marcato nell'intervallo delle frequenze medio-basse ove tali strutture presentano la loro risonanza (vedi Fig. 20.5). Per questo motivo si è soliti associare ad un risonatore anche un materiale che assorba per porosità. Quest'ultimo va posto posteriormente rispetto al risonatore, ossia va collocato nella zona dell'intercapedine (che può essere o meno riempita dal materiale poroso). La stratigrafia risultante rende più uniforme la curva di assorbimento dell'intera struttura. Per meglio combinare tra loro le diverse prestazioni fonoassorbenti, è possibile praticare sul pannello fori o fenditure.

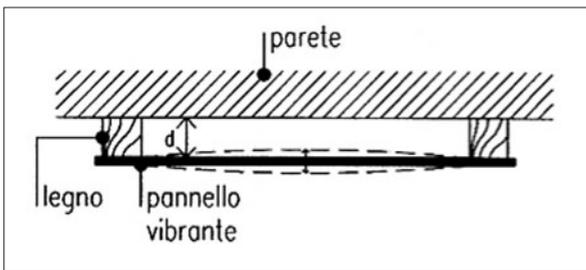


Figura 20.4: Pannello assorbente per risonanza di membrana.

Nel caso del pannello assorbente per risonanza di membrana, la frequenza di risonanza f_0 , espressa in Hz, è data da:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{\sigma d}};$$

dove:

σ è la densità superficiale del pannello [kg/m²]
 d è la distanza del pannello dalla parete [m].

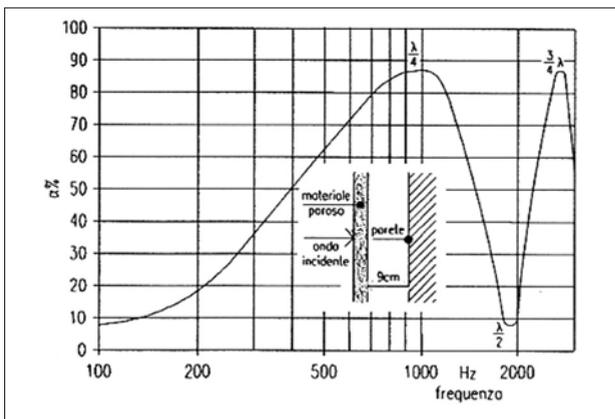


Figura 20.5: Esempio di assorbimento di un risonatore a membrana.

II) *Assorbimento per risonanza di cavità.*

Un assorbitore di questo tipo è costituito da una piccola cavità che è messa in comunicazione con l'ambiente da un foro posto alla sommità di un canale di comunicazione denominato "collo" (vedi Fig. 20.6). L'energia viene dissipata per viscosità nel collo del risonatore. Questo meccanismo viene sfruttato soprattutto per la sua alta selettività, in quanto permette di risolvere problemi di fonoassorbimento in un intervallo ristretto di frequenze.

Nel caso di un assorbitore per risonanza di cavità, la frequenza di risonanza f_0 , espressa in Hz, è data da:

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi R^2}{V(l + 1,6R)}};$$

dove:

c_0 è la velocità di propagazione del suono nel mezzo [m/s];

R è il raggio del collo del risonatore [m];

l è la lunghezza del collo del risonatore [m];

V è il volume della cavità [m³].

La combinazione fra materiali porosi, pannelli vibranti e risonatori costituiscono i cosiddetti sistemi misti (vedi Fig.20.7), reperibili sul mercato, che possono soddisfare contemporaneamente esigenze di correzione acustica in diversi campi di frequenza. Essi possono inoltre risolvere problemi di isolamento termico e di condensa.

Trattamenti per ambienti specifici

Ogni tipo di ambiente richiede specifiche prestazioni acustiche che necessariamente condizionano la fase realizzativa degli interventi. Per un corretto dimensionamento di un trattamento ambientale occorre quindi tener presente alcuni fattori che dipendono essenzialmente dalla destinazione dell'ambiente.

In ambienti quali le aule, i ristoranti, ecc., le possibilità di intervento sono limitate anche da esigenze di tipo estetico. In questi casi si suggeriscono materiali specifici a base di fibre di poliestere, resine melamminiche, fibre di cellulosa spruzzata, che consentono di realizzare trattamenti fonoassorbenti quasi invisibili.

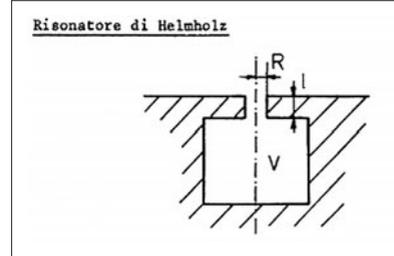


Figura 20.6: Assorbitore per risonanza di cavità.

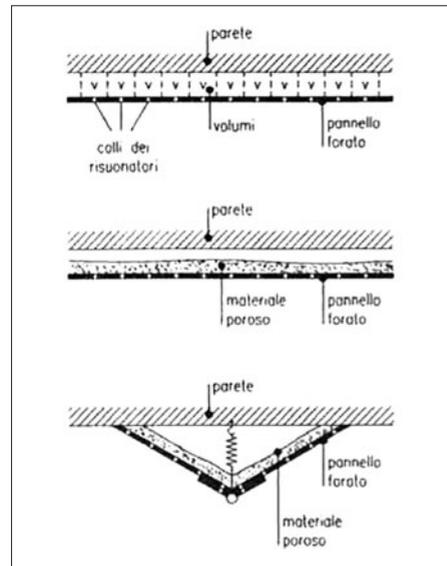


Figura 20.7: Sistemi fonoassorbenti misti.

Nel caso di ambienti industriali si tengono spesso in conto un numero maggiore di variabili. L'uso delle controsoffittature piane è generalmente motivato da contestuali esigenze di risparmio energetico. Qualora si debba realizzare un controsoffitto piano, a parte le considerazioni fatte sulla scelta del materiale, è necessario calcolare sia la giusta altezza di applicazione, sia il dimensionamento dell'intercapedine retrostante che contribuisce in maniera determinante nell'assorbire le frequenze più basse.

Nel caso non sussistano problemi di tipo termico, è senza dubbio preferibile l'uso dei *baffles*: pannelli appesi al soffitto che operano come assorbitori porosi o a risonanza di membrana (vedi Fig. 20.8). In questo caso occorre considerare attentamente:

- l'altezza di applicazione: più è bassa, più è acusticamente efficace l'intervento;
- l'interasse di applicazione: esso dipende dall'altezza del pannello e dalla sua efficienza. Ideale è mantenere un rapporto 1 : 0,7-1 tra altezza ed interasse: per interassi minori (ma solo per pannelli efficienti) si può raggiungere la saturazione del sistema (ossia l'incremento del numero di pannelli non porta ad un incremento della riduzione del rumore); per interassi molto maggiori l'intervento è praticamente inutile;
- il rapporto tra volume trattato e volume libero da ogni trattamento: in caso di interventi di tipo parziale, in cui si bonifica solo una parte di un locale, il ritorno di energia dalla zona riflettente riduce sensibilmente l'abbattimento al confine con la zona trattata; in questi casi è opportuno prevedere una barriera, anche di tipo aperto, che limiti questo effetto;
- il verso di applicazione: conviene individuare il verso preferenziale di propagazione delle onde sonore e orientare le file di pannelli in senso ad esso ortogonale.

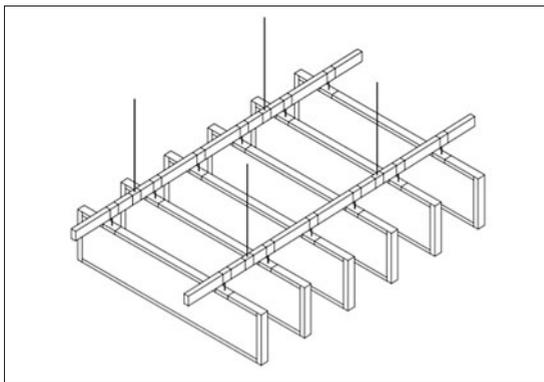


Figura 20.8: Schema di applicazione dei baffles.

Si rammenti infine che i baffles hanno il vantaggio di salvaguardare l'apporto dell'illuminazione e dell'aerazione naturale in caso di finestre presenti sulla copertura.

Requisiti igienici e di sicurezza dei materiali fonoassorbenti

Alcuni materiali fonoassorbenti presentano problemi specifici che richiedono altrettanta specifica attenzione in fase progettuale e/o al momento dell'acquisto.

Per esempio la lana minerale, quando esposta direttamente all'ambiente, deve essere rivestita o inserita in apposite buste per evitare il rilascio di fibre. Ciò non succede se il medesimo materiale è pressato, tanto da essere utilizzato con successo nelle applicazioni con elevati requisiti di igiene e lavabilità. Altri materiali di tipo plastico o gommoso possono presentare problemi per quanto riguarda la loro infiammabilità o la loro tossicità se esposti alle fiamme.

In genere per risolvere questi problemi vengono applicati sui materiali assorbenti rivestimenti protettivi (film) metallici o plastici, oppure lamierini perforati, che svolgono una funzione anti

agenti climatici, chimici e/o fisici, ma che introducono perdite di efficacia. Solo finiture molto sottili, morbide e poco dense o lamierini con concentrazione di fori maggiore del 20%, alterano scarsamente il potere fonoassorbente dei materiali.

Dal punto di vista acustico, quindi, sarà sempre necessario considerare l'assorbimento di un trattamento nella sua realizzazione definitiva che include il supporto e il modo di posa, l'eventuale para-vapore e il rivestimento protettivo (vedi Fig. 20.9).

Un'ampia rassegna dei materiali e tecnologie per il fonoassorbimento attualmente disponibili in commercio è riportata nella sezione B.1 del Terzo Livello.

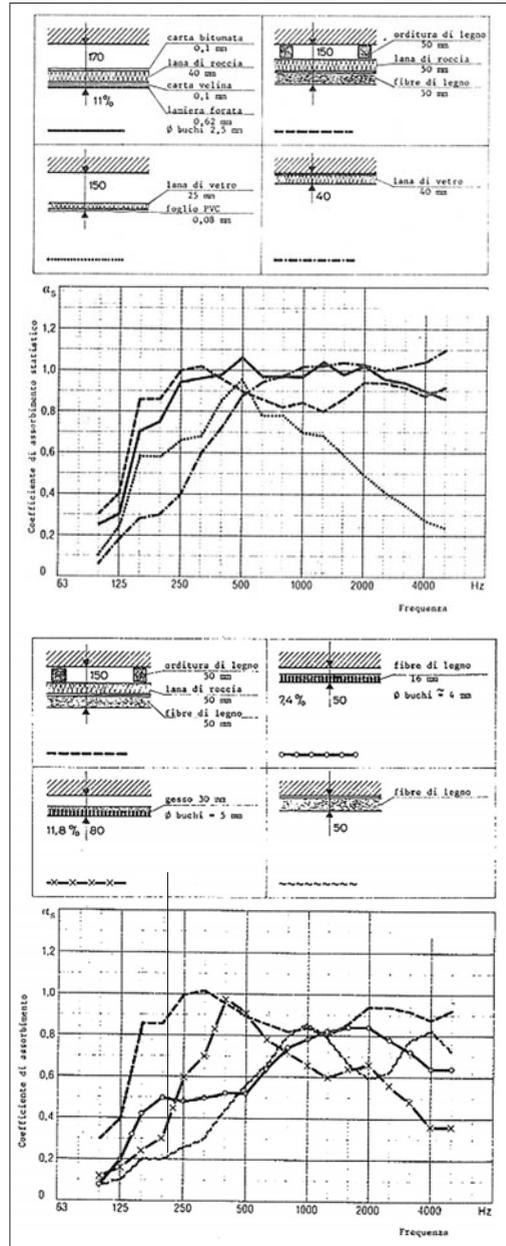


Figura 20.9: Sistemi fonoassorbenti e coefficienti di assorbimento.

Scheda 21

Propagazione del rumore nelle condotte d'aria

Nella Figura 21.1 sono illustrate schematicamente le possibili fonti di rumore ed i possibili cammini di propagazione del rumore tra la centrale di un impianto RCV (riscaldamento, condizionamento e ventilazione) e gli ambienti ricevanti.

Sono evidenziate:

Sorgenti di rumore

- A. Ventilatore;
- B. Sorgenti puntuali di rumore aerodinamico (serrande, curve, giunzioni, variazioni di sezione, griglie, ecc.) lungo i condotti;
- C. Vibrazione dei condotti rettilinei.

Cammini di propagazione

1. Cammini di propagazione del rumore per via aerea attraverso pareti e solai che delimitano la centrale;
2. Cammini di propagazione del rumore per via strutturale attraverso i solai e le strutture murarie direttamente collegate ai componenti dell'impianto;
3. Cammini di propagazione per via aerea attraverso le pareti dei condotti (*break-out*);
4. Cammini di propagazione del rumore lungo i canali e rumorosità immessa nell'ambiente direttamente attraverso le bocchette di mandata e ripresa dell'aria.

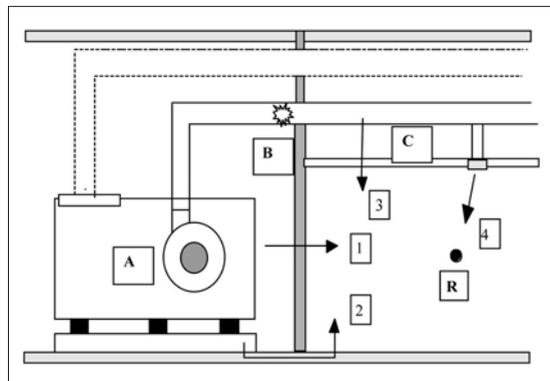


Figura 21.1: Impianto di condizionamento e termoventilazione tipico con possibili sorgenti e cammini di propagazione del rumore.

Non tutte le fonti ed i "cammini" riportati nella figura sono comunque presenti in ogni sistema. Un adeguato fonoisolamento delle strutture murarie, l'uso di materiali resilienti che smorzano le vibrazioni di strutture direttamente sollecitate, il fonoisolamento dei condotti e/o l'uso di adeguate controsoffittature, sono provvedimenti che tendono a controllare la rumorosità indotta negli ambienti ricevanti dai primi tre cammini di propagazione possibili. In ogni caso, gli ambienti ricevanti sono interessati direttamente dalla rumorosità che si propaga attraverso i condotti dove sono presenti sia fenomeni causa di attenuazione della potenza sonora sia fenomeni causa di rigenerazione di rumore legate ad aspetti aerodinamici.

La generazione del rumore

Le cause della rumorosità negli ambienti influenzati da un impianto RCV sono sostanzialmente di origine meccanica e di origine aerodinamica.

La fonte di rumore più importante è costituita dal o dai ventilatori (oltre il ventilatore di mandata, possono essere presenti ventilatori di ripresa, di unità terminali, di motocondensanti, ecc.).

Altre sorgenti di rumore aerodinamico sono costituite dalla presenza, lungo i cammini di propagazione, di serrande di sezionamento e regolazione (singole e multiple), curve e gomiti (con e senza alette aerodinamiche), giunzioni e stacchi, variazioni di sezione, brusche e gradualità, elementi strutturali all'interno dei condotti, attenuatori, griglie e diffusori (con e senza serrande di regolazione).

Ventilatori

Il rumore di un ventilatore ha un'origine meccanica ed un'origine aerodinamica. Quello meccanico è causato dalla radiazione strutturale della cassa, e di altre parti connesse, conseguente alla sollecitazione di forze fluttuanti legate sia alle parti rotanti sia alla turbolenza del flusso dell'aria.

Il rumore aerodinamico è determinato dagli impulsi periodici che ciascuna pala della girante conferisce all'aria in prossimità e da contributi che traggono origine dai vortici nella scia turbolenta delle pale.

I contributi del primo tipo si manifestano come un tono preminente alla frequenza di passaggio di paletta:

$$f_p = n_g N_p / 60 \text{ in Hz}$$

con armoniche e subarmoniche di ampiezza minore; n_g è il numero di giri al minuto e N_p è il numero di pale. Quelli del secondo tipo corrispondono a rumore a banda larga e sono prevalenti in ogni tipo di ventilatore centrifugo.

Il rumore generato dai ventilatori, indipendentemente dal tipo, aumenta con il quadrato della pressione statica di targa ed iniettato nel sistema di condotti attraverso il tronco principale di mandata, da un lato, e nel sistema di aspirazione, dall'altro, si propaga poco attenuato nel sistema di condotti. È importante che il ventilatore lavori in prossimità del punto di massima efficienza con il carico esterno previsto. Questa condizione è quella più corretta sia rispetto al risparmio energetico sia rispetto al rumore generato.

È altresì importante evitare condizioni di stallo, possibili nei ventilatori centrifughi a pale curvate in avanti ed in quelli assiali, in quanto il rumore può aumentare di 8 - 10 dB rispetto alla condizione di funzionamento nel punto ottimale. Quello che può risultare più fastidioso è un rumore di livello fluttuante associato all'effetto di "pompaggio". Questo rumore insorge anche quando due ventilatori in parallelo operano nella zona di stallo ed il "carico" oscilla tra l'uno e l'altro ventilatore.

È indispensabile curare gli aspetti aerodinamici del sistema sin dal ventilatore. Il flusso in prossimità delle sezioni di ingresso e di uscita, in particolare per i ventilatori assiali, deve essere il più regolare possibile in modo che sia minimizzata la generazione della turbolenza. Questa è causa di rumorosità sia locale sia più a valle per l'interazione della turbolenza primaria con parti successive dell'impianto.

Come è noto, la turbolenza produce un aumento della caduta di pressione statica nel sistema e a ciò corrisponde un degrado della prestazione energetica del complesso.

Per limitare la turbolenza iniziale, filtri, curve e transizioni di sezione importanti non dovrebbero essere collocate a distanze minori di 3 - 6 diametri equivalenti di condotto dalla sezione di mandata del ventilatore. Le bocche non intubate di ingresso e/o uscita delle macchine non devono essere posizionate in prossimità di pareti. I condotti devono essere collegati alle macchine mediante raccordi flessibili (minore trasmissione strutturale). Non rispettare tali prescrizioni può significare aumenti di livello del rumore da 10 a 30 dB.

Per i sistemi RCV a portata costante è possibile una condizione di funzionamento continuo in prossimità dell'efficienza massima del ventilatore. Per quelli a portata variabile tradizionali (strozzamento della corrente), spesso per eccesso di sicurezza, il ventilatore viene sovradimensionato anche di 2 o 3 volte rispetto al carico massimo di condizionamento previsto. Pertanto, accade che il sistema ventilante di questi sistemi RCV a portata variabile si trova a lavorare per la quasi totalità del tempo al 60 - 65% della richiesta d'aria massima in quanto non per tutta l'utenza la domanda è contemporaneamente massima. È noto che, sia nel caso che il ventilatore risulti sovradimensionato sia nel caso che esso risulti sottodimensionato, i problemi potenziali di rumorosità e in particolare di rumorosità a bassa frequenza (rombo) si aggravano.

Livelli di potenza sonora significativamente più bassi si ottengono con sistemi a velocità variabile (per un rapporto di velocità del ventilatore 0,6 sono prevedibili 11 dB di riduzione). Il ventilatore può essere, inoltre, scelto in modo da garantire un funzionamento ottimale in tutto il campo di modulazione del flusso.

La quantificazione del rumore irradiato dalla cassa di un ventilatore e di quello iniettato nel sistema di condotti attraverso le sezioni di ingresso e di uscita è usualmente disponibile in termini di livello della potenza sonora in bande di frequenza di ottava. Il fabbricante della macchina dovrebbe fornire questi dati di rumore, per le condizioni operative previste, dati ricavati da prove di laboratorio eseguite secondo le normative di settore. I dati di laboratorio sono comunque affetti da incertezze alle basse frequenze (al di sotto di 63 Hz) dell'ordine di +/- 8 dB e di +/- 3 dB alle medie frequenze. Il fabbricante dovrebbe indicare, con attenzione, le modalità con le quali sono state effettuate le prove di laboratorio. Un ventilatore installato in una unità di trattamento aria (U.T.A.), per gli inevitabili problemi di ingombro dei condotti di ingresso ed uscita dell'aria, si comporta in modo diverso rispetto alla condizione di misura in laboratorio dello stesso ventilatore a sé stante.

Altre sorgenti di rumore aerodinamico

Il flusso d'aria all'interno dei condotti di un sistema RCV non segue un moto "ordinato" del tipo laminare.

I filetti fluidi, invece che scivolare l'uno contro l'altro formano vortici. L'interazione di una corrente con superfici e corpi solidi produce una turbolenza più o meno concentrata in regioni del fluido prossime all'elemento di disturbo.

La Figura 21.2 mostra la generazione di vortici lungo una curva a 90°. L'aria prima della curva tende a viaggiare con velocità uniforme nella sezione del condotto lungo la direzione assiale finché non intervengono forze esterne.

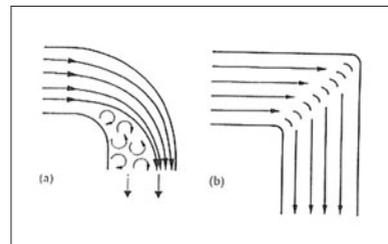


Figura 21.2: Andamento qualitativo del flusso dell'aria in corrispondenza di una curva a 90°

Una diramazione o un oggetto intubato immediatamente a valle della curva sul lato esterno sarà investito da un flusso molto veloce e turbolento. L'effetto è ancora più intenso se la variazione di direzione del flusso avviene bruscamente ad angolo retto. Il posizionamento nella curva di alette deflettrici, relativamente corte, guida con gradualità il cambiamento di direzione ed il flusso all'uscita è più ordinato che nel caso precedente. La dissipazione si manifesta con la formazione di vortici di dimensioni più piccole a valle di ciascuna aletta piuttosto che con vortici di grandi dimensioni dal lato interno della curva. Come apparirà più chiaro qui di seguito, il problema del rumore si è spostato dalla regione delle frequenze basse a quello delle frequenze alte e, pertanto, di più facile soluzione. Un vantaggio complementare è rappresentato dal fatto che il raccordo diretto a 90° con le alette deviatrici è meno ingombrante del raccordo curvato e offre una maggiore attenuazione del rumore del ventilatore.

Il fenomeno conseguente all'interazione di una corrente con un corpo tozzo, illustrato semplicemente nella Figura 21.3, è noto come "Karman vortex street". Teoricamente, la potenza sonora generata da questo meccanismo cresce con la velocità della corrente elevata alla sesta potenza.

Lo spettro del rumore, a banda larga, presenta un massimo ad una frequenza che dipende dalla dimensione tipica dell'ostacolo, o della discontinuità, e dalla velocità massima. La Figura 21.4 mostra qualitativamente il tipo di turbolenza intorno ad una serranda a farfalla e ad un'asta di collegamento all'interno di un condotto d'aria. L'oggetto più grande produce una turbolenza di dimensioni geometriche maggiori, mentre quello più piccolo produce turbolenza di dimensioni minori. Nel primo caso il picco spettrale è spostato a frequenze più basse rispetto al secondo caso.

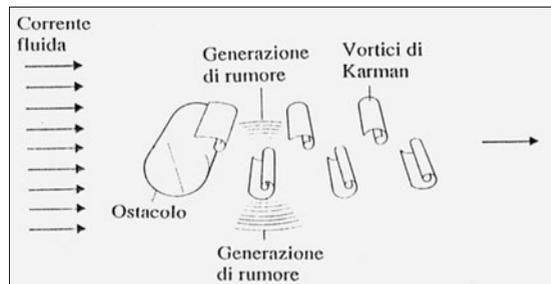


Figura 21.3: Generazione dei vortici nell'interazione di un corpo tozzo con una corrente.

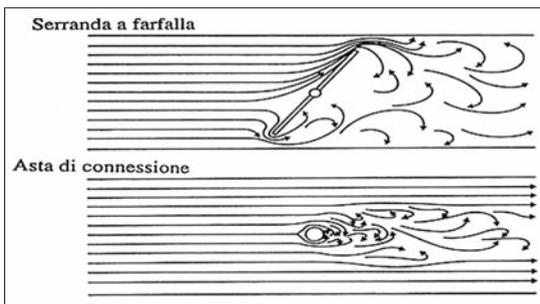


Figura 21.4: Generazione della turbolenza a valle di un oggetto in un condotto d'aria.

In realtà, i vortici in sé non sono radiatori di rumore efficienti alle velocità di interesse per il trasferimento dell'aria nei condotti degli impianti RCV. Una corrente che fuoriesce liberamente da un condotto nell'aria stagnante, pur trasportando vortici, non risulta rumorosa, anche se la

velocità di efflusso raggiunge il valore di 20 m/s. Un ostacolo solido nella corrente, come una griglia o una serranda (Figura 21.5), è causa di un forte incremento del rumore irradiato. Sia che i vortici siano generati dal disturbo introdotto dal solido nella corrente, sia che, trasportati dalla corrente, impattino sul solido ne risulta una conversione di velocità fluttuante in pressione fluttuante. Un effetto di reazione all'indietro sul corpo solido comporta un legame tra la dimensione del corpo e la distribuzione spettrale delle fluttuazioni di pressione.

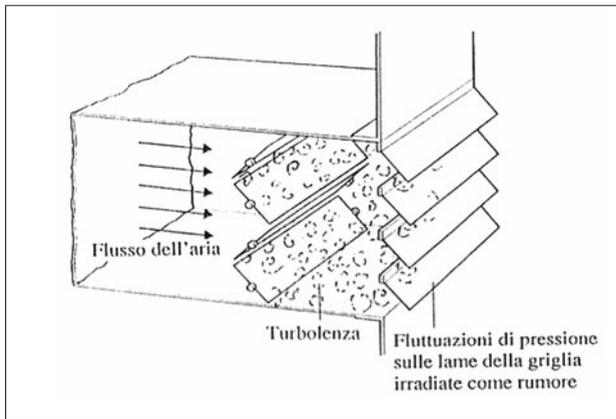


Figura 21.5: Generazione del rumore dalla combinazione di una serranda e di una griglia.

Talvolta, se il corpo può vibrare, il meccanismo di retroazione diventa rigenerativo ad una frequenza di risonanza del corpo ed il rumore irradiato acquista uno spiccato carattere tonale.

Fenomeno del break-out dei condotti

Il sistema di condotti visto dall'esterno è una sorgente distribuita di rumore. A questa radiazione sonora si fa riferimento come rumore di *break-out* dei condotti.

Il rumore di *break-out*, quando si manifesta, è uno dei problemi più gravi da fronteggiare. La sua origine può essere individuata nelle tre cause che seguono.

Rumore interno di livello elevato (più di frequente, il rumore immesso dal ventilatore) che si trasmette all'esterno attraverso le pareti dei condotti.

- Rumore aerodinamico generato da corpi interagenti con la corrente all'interno che si trasmette all'esterno attraverso le pareti dei condotti.
- Vibrazioni delle pareti dei condotti forzate dalla turbolenza del flusso. Le superfici esterne, bene accoppiate all'aria, irradiano rumore.

Una forma di *break-out* particolarmente importante è quella legata a strutture vorticosi di dimensioni paragonabili alla dimensione lineare trasversale di un condotto rettangolare. Si considerino i vortici controrotanti trasportati per convezione all'interno di un condotto rappresentati nella Figura 21.6. Essi invadono tutta la sezione. Lungo le generatrici A, B e C dei cilindri rotanti, che costituiscono una rappresentazione semplificata dei macrovortici, la velocità locale diventa massima. Di contro, la pressione diventa minima negli stessi luoghi, come è rappresentato nella parte centrale della Figura 21.6 per la pressione lungo l'asse del condotto.

Lungo le generatrici X, Y e Z, in corrispondenza di una faccia interna della parete del condotto, il flusso rotante decelera (in X e Z) ed accelera (in Y) dando luogo all'alternanza di massimi e minimi di pressione rappresentata nella parte bassa della figura citata. Il trasporto convettivo di queste distribuzioni di pressione "rulla" la lamiera del condotto producendo una vibrazione a frequenza molto bassa ed, eventualmente, a frequenze armoniche di questa (*duct buffeting*). Questa situazione si aggrava in corrispondenza di variazioni di direzione del condotto, di gomiti e di stacchi in quanto le velocità tangenziali dei vortici acquisiscono, ad esempio nel gomito, forti componenti normali alle pareti del condotto.

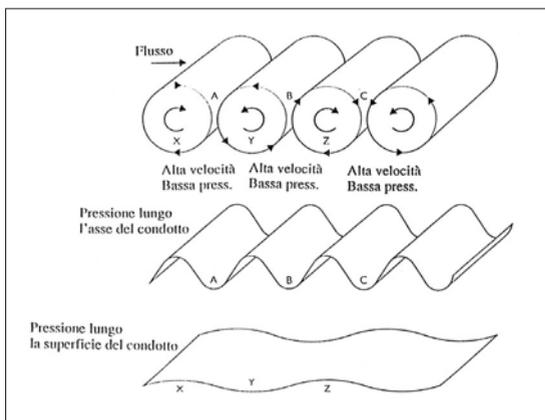


Figura 21.6: Meccanismo di generazione della vibrazione dei canali a frequenza molto bassa.

Per un condotto quadrato di mezzo metro di lato un vortice completamente sviluppato assume un diametro di mezzo metro. Il periodo spaziale della distribuzione di pressione lungo l'asse del condotto (distanza A-B o B-C) ha lo stesso valore. Ad una velocità del flusso di 20 m/s corrisponderebbe una frequenza di 40 Hz lungo l'asse ed una frequenza di 20 Hz ($X-Y = 2 A-B = 1$ m) per la vibrazione della parete del condotto. Quando la velocità del flusso è più bassa la frequenza è più bassa, ma anche i macrovortici sono più deboli. Queste vibrazioni, accoppiate all'aria nell'ambiente esterno, producono fluttuazioni della pressione che non sono udibili direttamente ma che sono in grado di eccitare la vibrazione di strutture leggere, come vetrate senza guarnizioni perimetrali, controsoffittature leggere o altri elementi laschi, dando luogo a tintinnii e ronzii udibili che risultano estremamente fastidiosi.

Nei casi in cui il rumore di break-out è un problema, è possibile migliorare il fonoisolamento del canale realizzando una fodera esterna che viene a configurare una parete doppia. La parete lato rumore è costituita dalla parete del canale preesistente. Il condotto viene fasciato con lana di vetro o poliuretano espanso a celle aperte per uno spessore di 5 - 10 cm. L'involucro esterno finale, cioè la seconda parete, è realizzato in lamiera, con lastre di gesso o con telo flessibile di vinile appesantito al piombo. È importante l'accurata sigillazione dell'involucro esterno. Provvedimenti di questo tipo fanno registrare un aumento dell'attenuazione, in particolare alle frequenze basse, per la propagazione nel canale in quanto il trattamento, da un lato smorza la vibrazione radiativa della lamiera del canale, dall'altro dell'energia sonora rimane dissipata nel materiale poroso nell'intercapedine.

Considerazioni per una progettazione finalizzata al controllo del rumore

Sulla scorta di quanto già discusso, nel seguito é fatto cenno ad alcune linee guida essenziali per una corretta impostazione del progetto dell'impianto RCV tenendo presenti i problemi di rumorosità.

Ventilatori ed Unità di trattamento dell'aria (UTA)

- Progettare il sistema di distribuzione dell'aria in modo da contenere il più possibile la caduta di pressione e la velocità. Infatti per i ventilatori, indipendentemente dal tipo, il rumore generato aumenta con il quadrato della pressione statica di targa.
- Scegliere il tipo di ventilatore che presenta un valore di livello della potenza sonora di riferimento più basso.
- Evitare ventilatori con basso numero di pale in quanto diventa critica la generazione di rumore tonale.
- Verificare che il ventilatore operi intorno al punto di efficienza massima.
- Posizionare le macchine a distanza dalle pareti della centrale.
- Evitare che le bocche non intubate di ingresso e/o uscita delle macchine siano posizionate in prossimità di pareti
- Prevedere l'uso di sospensioni elastiche appropriate per isolare la macchina e ridurre la propagazione di vibrazioni.
- I condotti devono essere collegati alle macchine mediante raccordi flessibili (minore trasmissione strutturale) possibilmente non corrugati.
- I raccordi tra i condotti di ingresso e di uscita con le macchine devono essere gradualizzati (minore turbolenza).
- Filtri, curve, raccordi non devono essere posizionati nel sistema ad una distanza inferiore a 3 diametri equivalenti dal ventilatore/UTA.

Condotti

- Se possibile prevedere condotti trattati internamente con materiali o sistemi fonoassorbenti (vedi Scheda 20).
- È preferibile, a parità di portata, prevedere più canali in parallelo (maggiore area interna fonoassorbente).
- Limitare le cause di turbolenza per limitare la conseguente generazione di rumore aerodinamico (variazioni brusche di sezione, curve e diramazioni a 90°, assenza di alette deviatrici, velocità dell'aria eccessive, serrande ed altro).
- Controllare i fenomeni del *break-out* e del *break-in* rivestendo i canali con sistemi fonoisolanti.
- Evitare collegamenti rigidi dei canali alle strutture portanti.

Plenum (vedi Scheda n.22)

- Trattare i plenum di derivazione internamente con idonei materiali o sistemi fonoassorbenti.
- Non posizionare le bocche di ingresso e di uscita del plenum contrapposte in linea.

Silenziatori (vedi Scheda n.22)

- Posizionare i filtri lungo le canalizzazioni in modo da ottenere la massima attenuazione ed evitando fenomeni di *break-in* a valle.
- Evitare filtri con forti perdite di carico (richiedono ventilatori più rumorosi).
- Posizionare i filtri a distanza da curve, diramazioni (minore area libera del filtro risulterebbe interessata dal passaggio dell'aria e la velocità aumenterebbe).
- Evitare che in prossimità del filtro aumenti la velocità dell'aria (maggiore generazione di rumore).

Diffusori

- Scegliere diffusori compatibili che presentano bassi valori di generazione del rumore.
- Evitare che il tratto di collegamento tra il canale principale ed il diffusore non sia in asse con il diffusore stesso.

Scheda 22

Silenziatori dissipativi e reattivi

Per gli impianti RCV (riscaldamento, condizionamento e ventilazione) e per gli impianti in genere per la movimentazione dell'aria, allorché occorre attenuare la rumorosità immessa nei canali dal ventilatore e da altre sorgenti aerodinamiche interne (vedi scheda 21), è possibile ricorrere a silenziatori o filtri acustici che in base al loro principio di funzionamento possono essere distinti in silenziatori di tipo dissipativo (che sfruttano il principio dell'assorbimento acustico per incidenza radente), di tipo reattivo (basati sul principio di assorbimento acustico per risonanza ed efficienti in uno specifico campo di frequenza) e di tipo misto (integrando sistemi dissipativi e risonanti).

In funzione degli spazi disponibili e dello spettro di potenza sonora che occorre attenuare si possono adottare:

Silenziatori dissipativi

I canali rettangolari costruiti con lamiera metallica presentano una bassa attenuazione sonora dell'ordine di 0,1 dB/m. I canali circolari risultano molto più rigidi di quelli rettangolari. Ciò determina una ancora minore capacità di assorbire energia e quindi valori di attenuazione più bassi. Un primo provvedimento per aumentare l'attenuazione della potenza sonora lungo i condotti è quello di rivestire internamente i canali con uno strato di materiale poroso, spesso da 2 a 5 cm, con facciavista di protezione (sistema dissipativo). Il trattamento, oltre alla funzione acustica di attenuazione del rumore che si propaga nel condotto, assolve anche alla funzione di isolante termico. L'attenuazione per metro di canale, variabile con la frequenza, è tanto più alta quanto è maggiore il rapporto tra il perimetro ricoperto e l'area della sezione del canale. Inoltre, essa dipende dallo spessore e dal tipo di materiale usato.

Per spessori realistici l'attenuazione è comunque molto carente alle basse frequenze. Inoltre le recenti problematiche legate al controllo qualità dell'aria (contaminazione batterica e presenza di fibre) sconsigliano l'uso di materiale poroso con fibre naturali specie negli ambienti dove sono richieste condizioni particolari di purezza dell'aria (ospedali, industrie alimentari, farmaceutiche, elettroniche).

Nell'ambito della protezione del materiale fibroso, si è ampiamente indagato sugli effetti di pannelli microforati o fogli plastici impervi di spessore trascurabile sull'attenuazione di filtri acustici.

Il rivestimento con lamiera perforata di porosità superiore al 35% non altera le prestazioni dei dispositivi mentre con una porosità del 5-10% sono evidenti riduzioni dell'ordine del 10-20% del valore della perdita d'inserzione (in dB) alle alte frequenze dove tali sistemi risultano comunque più efficienti.

Silenziatori reattivi

Ulteriore attenuazione può essere realizzata sfruttando la presenza di plenum. I plenum di

distribuzione (Figura 22.1), quando provvisti di un buon sistema fonoassorbente sulle superfici interne che é anche un isolante termico, permettono di realizzare elevati valori di attenuazione.

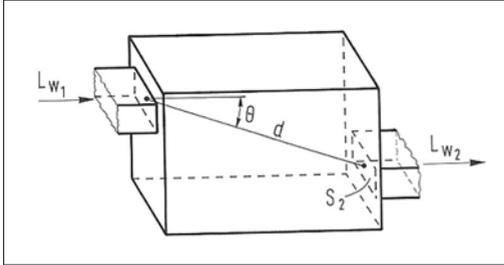


Figura 22.1: Plenum di distribuzione.

Per il calcolo dell'attenuazione ATTN (livello di potenza sonora in ingresso L_{w1} - livello di potenza sonora in uscita L_{w2}) di un plenum può essere utilizzata l'espressione seguente:

$$ATTN = -10 \log \left\{ S_2 \left[\frac{\cos \theta}{2 d^2} + \frac{(1 - \alpha)}{\alpha S_i} \right] \right\}$$

con:

- α = coefficiente di assorbimento del rivestimento interno
- S_2 = area della bocca di uscita del plenum (m^2)
- S_i = area totale delle superfici del plenum (m^2)
- d = distanza tra la bocca di ingresso e la bocca di uscita (m)
- θ = angolo tra la direzione congiungente le bocche d'ingresso e d'uscita e la normale alla bocca d'uscita (gradi)

Silenziatori concentrati

Essi sono in genere realizzati con setti di materiale fonoassorbente protetti superficialmente con lamiera metallica forata o altro sistema.

I parametri che caratterizzano le prestazioni acustiche di questi dispositivi sono:

- l'attenuazione: riduzione del livello della potenza sonora conseguente all'inserimento del filtro;
- il rumore aerodinamico generato: il livello della potenza sonora generato dal flusso di aria che attraversa il filtro (crescente con la velocità di attraversamento del filtro);
- la perdita di pressione statica che dipende dalla geometria del filtro e dalla velocità frontale dell'aria il flusso diretto ed inverso: i filtri hanno differenti caratteristiche acustiche ed aerodinamiche a seconda della direzione del flusso.

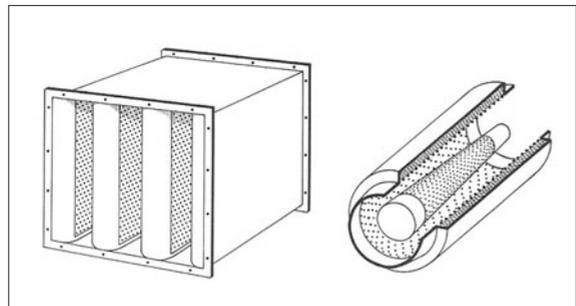


Figura 22.2: Filtri acustici concentrati di tipo dissipativo.

Le case costruttrici di tali dispositivi forniscono i valori di attenuazione raggiungibili nelle diverse condizioni operative.

L'attenuazione raggiungibile con i filtri in commercio dipende dalla velocità dell'aria in attraversamento, dalla lunghezza del filtro, dalla distanza tra i setti e dal coefficiente di assorbimento del setto. In ogni caso l'attenuazione è carente alle basse frequenze se non prevedendo ingombri poco pratici.

Recentemente, per la costruzione di filtri acustici d'aria sono stati utilizzati pannelli microforati (pannelli di lamiera con fori di diametro inferiore ad un millimetro) su intercapedine d'aria (Figura 22.2).

È ampiamente dimostrato che se i fori del pannello sono molto piccoli (cosa peraltro oggi tecnologicamente realizzabile entro certi limiti) la resistenza acustica aumenta considerevolmente realizzando un elevato rapporto tra resistenza acustica e massa acustica. Questi sistemi possono diventare degli efficienti assorbitori, senza l'uso di materiale fibroso, se utilizzati sia lungo i canali di distribuzione sia in sistemi concentrati.

Per sopperire alla carenza di attenuazione alle basse frequenze, di recente sono stati sperimentati silenziatori cosiddetti attivi.

I sistemi di controllo attivo del rumore trovano applicazione pratica nella propagazione intubata. Di fatto il campo sonoro a bassa frequenza ha una struttura abbastanza semplice rispetto a quello in un ambiente tridimensionale. Nella regione delle basse frequenze è modesta l'eccitazione dei modi superiori per cui l'aspetto acustico del problema può essere schematizzato in termini di campo piano. Si tratta quindi di generare nella sezione in cui è posta la sorgente ausiliaria un campo pressoché piano in cui la pressione sonora istante per istante è uguale ed opposta a quella del rumore primari che si propaga verso valle. I filtri attivi sono, di principio, costituiti da un microprocessore, da due microfoni posti a una determinata distanza all'interno del canale e da un altoparlante posizionato tra i microfoni e posto all'esterno del canale ma che irradia suono all'interno di questo. Il microfono più vicino alla sorgente rileva il rumore, il segnale viene elaborato dal microprocessore il quale genera un segnale in controfase che viene irradiato dall'altoparlante. Il secondo microfono, a valle dell'altoparlante, registra l'avvenuta attenuazione e invia il segnale di "feedback" al microprocessore per eventuali ulteriori correzioni. (vedi Scheda n.16).

Silenziatori sono utilizzati anche per lo scarico di gas di motori (in genere silenziatori reattivi in serie) e per gli scarichi di aria compressa in cui l'elevata turbolenza causa di rumorosità è ridotta mediante il passaggio dell'aria direttamente attraverso materiale poroso (sistema dissipativo).

Scheda 23

Silenziatori per getti d'aria

Silenziatori a strozzamento

I silenziatori a strozzamento funzionano attraverso il principio fisico di trasformazione dell'energia sonora in energia termica (calore) e ciò avviene per effetto dell'attrito tra il fluido in movimento e le pareti del condotto di materiale poroso in cui parte dell'energia sonora viene intrappolata. Come effetto secondario, dovuto all'attraversamento, si ha la riduzione della velocità di uscita del fluido e quindi del suono per la perdita di carico con ulteriore perdita di energia sonora.

Per cui maggiore è lo spessore dello strato poroso attraversato e della sua resistenza al flusso, maggiore sarà la perdita di carico e quindi maggiore sarà l'attenuazione dell'energia sonora (Figura 23.1).

Quindi l'efficacia di tali silenziatori dipenderà appunto dallo spessore e dalla resistenza dello strato poroso.

I silenziatori a strozzamento vengono utilizzati per moto di fluidi in cui l'aumento delle perdite di carico dovuto ad essi non hanno influenza sul loro flusso e quando si ha necessità di avere una attenuazione con ingombri ridotti, come ad esempio per flussi in aspirazione e/o mandata in condotti di aria, gas o vapore.

Il limite di tali silenziatori è che non possono essere installati lì dove si hanno flussi di fluido con presenze di particelle di impurità, che finirebbero per intasare i pori del materiale con un notevole incremento dell'attrito, ovvero dove la presenza di acqua, anche allo stato di vapore, possa dar luogo alla formazione di ghiaccio.

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche del materiale costituente lo strato poroso, questi dovrà essere resistente alle sollecitazioni dovute alla contropressione esercitata senza che si compatti diminuendo così la porosità ed inoltre dovrà rendere minimi i fenomeni di corrosione nel tempo che finirebbero per occludere i passaggi del fluido.

Solitamente lo strato poroso utilizzato è composto da paglietta in acciaio inossidabile con densità calcolata a secondo del tipo di fluido e della contropressione da esercitare.

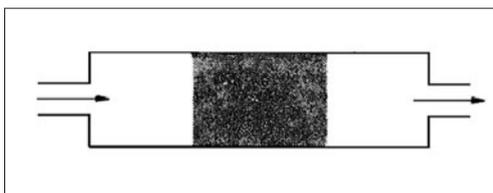


Figura 23.1: Silenziatore a strozzamento.

Silenziatori a riflessione

I silenziatori a riflessione funzionano sul principio fisico della riflessione del suono verso la sorgente sonora riducendo così l'energia sonora del fluido che si muove nel condotto.

Per tali silenziatori è importante, nell'installazione, verificarne la posizione in quanto è estremamente importante la geometria ed in particolare il dimensionamento della lunghezza del tratto di condotta a monte del silenziatore che dovrà essere in controfase alla frequenza più disturbante.

L'attenuazione del silenziatore è tanto maggiore quanto maggiori sono le riflessioni presenti. Infatti l'insieme di condotte e risuonatori in serie sono sfalsati tra di loro proprio per aumentare le riflessioni.

L'utilizzazione di tali silenziatori si ha preferibilmente in condotte di scarico di macchine a combustione (Figura 23.2) in quanto si hanno frequenze medio-basse e, non essendovi materiale poroso, mantengono inalterate nel tempo la loro efficacia. Ciò li rende particolarmente adatti per fluidi quali ossigeno o altri gas che non debbono essere a contatto con materiale organico o con materiale che possa favorire la formazione di ghiaccio.

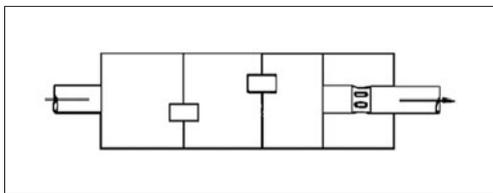


Figura 23.2: Silenziatore a riflessione e risonatore.

Silenziatori a strozzamento e espansione

Vi sono inoltre i silenziatori a strozzamento ad espansione multipla in cui l'energia sonora viene ridotta per riflessione del suono verso la sorgente ed inoltre riducono il livello di rumore generato attraverso una espansione graduale (a salti) del flusso in pressione. Naturalmente maggiore è il numero di salti, minore sarà il salto di pressione relativo al singolo passaggio, per cui il limite di utilizzo di tali silenziatori è dato dalla capacità del sistema di consentire la massima contropressione. Si ricorda infatti che il minore differenziale di pressione tra monte e valle d'ogni salto (espansione) equivale ad una minore energia sonora generata (riflessione).

Questi silenziatori trovano impiego a valle di valvole di scarico di vapori o gas a pressione e sono formati da una serie di setti con percentuale di foratura differenziata e calcolata in modo da garantire salti di pressione e velocità di flusso relativi ad ogni espansore più bassi possibili. Solitamente tali silenziatori sono abbinati in serie a silenziatori ad assorbimento per ridurre il numero d'espansori.

Per tali silenziatori è importante il tipo di materiale utilizzato e gli spessori degli espansori che devono essere in grado di resistere al colpo d'ariete dovuto alla rapida apertura della valvola, alle temperature di esercizio e soprattutto alla velocità d'attraversamento degli espansori che può raggiungere quella del suono.

I silenziatori a strozzamento causano una riduzione di velocità del fluido, a causa della con-

tropressione generata, nella tubazione a monte e quindi una diminuzione del rumore nella tubazione stessa che è funzione proprio della velocità del fluido (Figura 23.3-4).

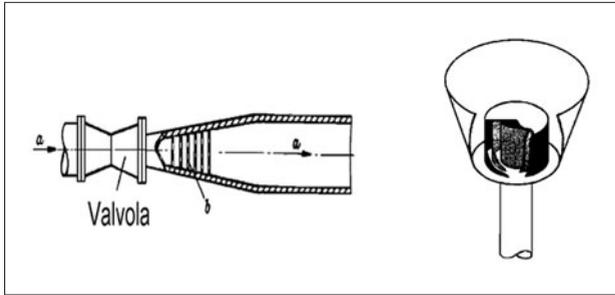


Figura 23.3: Silenzianti a strozzamento ed espansione.



Figura 23.4: Particolare di un espansore per scarico vapore.

Silenzianti risonanti

I silenzianti risonanti funzionano sul principio fisico del risonatore e quindi dell'effetto risonante prodotto da un risonatore incorporato nella parte lunga del silenziatore. Per ampliare l'attenuazione si possono disporre più silenzianti con bande di frequenze diverse ovvero spesso sono accompagnati da una corona circolare di materiale fonoassorbente quali lane minerali supportato da lamiera metallica forata che sfruttando l'effetto assorbente prodotto dal passaggio del fluido in tale corona ne attenuano il livello di pressione sonora.

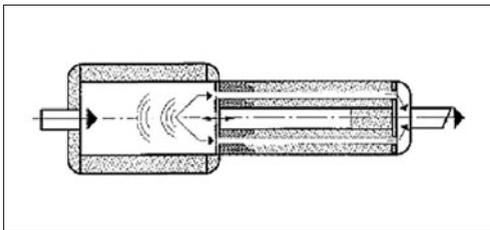


Figura 23.5: Sezione di un silenziatore risonante.

I fori sono in comunicazione con una camera di espansione, l'onda sonora incidente tali fori viene in parte assorbita dal materiale fonoassorbente ed in parte riflessa attenuando così l'energia sonora che si propaga con il fluido. Sono molto selettivi nell'attenuazione ed hanno perdite di carico contenute.

In generale tali silenziatori hanno un tratto corto a sezione maggiore ed uno più lungo a sezione minore con una sezione di gola di restringimento. La variazione di sezione (restringimento) tra la parte corta e quella lunga, ne aumentano le prestazioni acustiche.

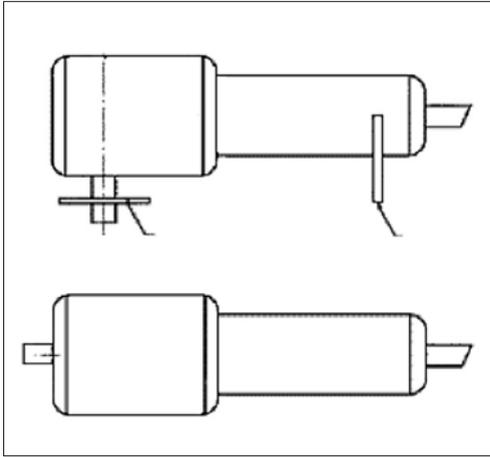


Figura 23.6: Viste di un silenziatore risonante.

È importante per tali silenziatori, il dimensionamento della geometria per garantire la massima insonorizzazione soprattutto nella banda di frequenze medio-basse lì dove si hanno elevati livelli di pressione sonora.

L'utilizzazione di questi silenziatori è particolarmente indicata per i motori diesel e ad accensione comandata come ad esempio nei gruppi di generazione e cogenerazione.

Possono essere con immissione del fluido assiale o radiale.

Il limite di tali silenziatori sta nel dimensionamento della geometria e meccanico e nella costruzione del silenziatore (involucro esterno e parti interne) in quanto il flusso del fluido, se non correttamente dimensionato il silenziatore, può innescare fenomeni vibratorii che a loro volta diventano potenziali sorgenti sonore. Infine altrettanto importante è la scelta dei materiali a seconda del tipo di fluido che vi passa in quanto il contatto fra i due deve essere compatibile con le caratteristiche chimico-fisiche del materiale scelto e del fluido che vi passa, da ciò dipenderà l'efficienza nel tempo del silenziatore.

Scheda 24

Misura e valutazione del livello di potenza sonora (di sorgenti industriali in ambienti di lavoro)

Nel campo delle misure di rumorosità negli ambienti di lavoro, la grandezza più direttamente correlata alla sollecitazione indotta sulle persone dalle onde sonore che si propagano per via aerea è, come ben noto, il livello di pressione sonora. Tuttavia non sempre questa grandezza è il descrittore più conveniente a cui fare riferimento; in particolare, nel campo specifico della bonifica acustica, in tutti quei casi dove occorre valutare le emissioni acustiche derivanti dall'installazione, o il trasferimento, di nuove macchine o impianti in un dato ambiente industriale. Quando infatti si misura un livello di pressione sonora, il valore che si ottiene dipende, oltre che dall'energia irradiata dalla sorgente, dalla distanza e dal tipo di propagazione sonora che si determina tra la sorgente e il punto di ricezione.

Ecco allora che la grandezza acustica a cui si ricorre, quando si tratta di definire l'emissione sonora di una sorgente indipendentemente dalla distanza e dai fattori di variabilità ambientale precedentemente elencati, è la potenza acustica, ovvero l'energia sonora irradiata, nel mezzo circostante, dalla sorgente nell'unità di tempo.

Un'importante, anche se circoscritta, eccezione a ciò è costituita dalle sorgenti di grandissime dimensioni quali linee di assemblaggio, ricottura in continuo, filatoi, rotative, impianti di generazione termica, torcitoi, ecc. In questi casi, gli operatori addetti al controllo di tali macchine si trovano ad operare quasi esclusivamente all'interno del cosiddetto campo sonoro vicino, dove la propagazione del rumore è governata più dalle particolari caratteristiche di frequenza, direttività ed intensità dell'emissione sonora che dalle caratteristiche acustiche dell'ambiente circostante. Ciò fa sì che nella pratica il metodo più diffuso e conveniente per caratterizzare acusticamente tali sorgenti sia l'effettuazione di una serie di misure del livello di pressione sonora in punti esattamente prestabiliti, come d'altra parte prescritto anche a livello legislativo. Il Decreto Legislativo n. 17/2010 stabilisce infatti che nel caso di macchinari industriali di grandissime dimensioni - non meglio specificate - l'indicazione di potenza acustica è sostituita dai livelli di pressione sonora rilevati in corrispondenza delle postazioni di lavoro proprie della macchina e/o in punti di misura prescelti tutt'intorno ad essa, ognuno situato a 100 cm di distanza dal suo perimetro di riferimento e ad 1,60 m. di altezza dal suolo o dalla piattaforma di accesso.

Mediante la potenza acustica è possibile:

- ricavare il livello di pressione sonora che, in uno specifico ambiente industriale e ad una specifica distanza, interesserà l'operatore preposto al controllo della macchina in questione e/o i posti di lavoro circostanti;
- effettuare un confronto comparativo diretto della rumorosità emessa da macchine dello stesso tipo presenti sul mercato, come pure tra macchine differenti come tipo e/o dimensioni;

- ottimizzare in fase progettuale, sotto il profilo acustico, la collocazione e la distribuzione delle macchine in un nuovo insediamento.

La potenza acustica di una sorgente è spesso accompagnata dall'indicazione della direttività della sua emissione sonora.

Il livello di potenza sonora è definito dalla seguente relazione:

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

dove: W è la potenza sonora (in watt) della sorgente in esame e W_0 è la potenza sonora di riferimento assunta convenzionalmente pari a 10^{-12} W, ovvero 1 pW .

Come si determinano i livelli di potenza acustica emessi da una sorgente di qualsiasi tipo? La normativa nazionale ed internazionale, ed in particolare le normative ISO, CEN e UNI forniscono a questo proposito un'intera "famiglia" di norme in base alle quali è possibile effettuare tale misura secondo modalità grado di soddisfare una vasta gamma di esigenze, come si può desumere dalle due tabelle riportate nel Terzo Livello di questo Manuale nelle sezioni A.3 e A.4.

A tali norme di carattere generale, che costituiscono la base metodologica di questo tipo di misura, vanno poi aggiunte tutta una serie di altre norme e procedure riguardanti la misura della potenza acustica emessa da specifici tipi di macchine: p.e. le macchine tessili (UNI EN ISO 9902:2009), le macchine per la lavorazione del legno (ISO 7960:1995), le macchine per ufficio (ISO 7779:2010), gli elettrodomestici (IEC 704), le macchine per la movimentazione dell'aria (ISO 5135:1997), ed altre ancora. Scopo di queste norme integrative è soprattutto fornire tutte le indicazioni di installazione, di regolazione e di funzionamento delle macchine in esame in modo da assicurare la riproducibilità ed il confronto delle misure di potenza acustica.

L'insieme delle norme di riferimento UNI EN ISO 374x si articola, come si evince dalla sottostante Tabella 24.1, sulla base della precisione e del tipo di campo sonoro in cui avviene la misura: libero totale (camera anecoica), libero su piano riflettente (camera semianecoica, spazio aperto, capannoni industriali di estese dimensioni), diffuso (camera riverberante), o semidiffuso (camere semi-riverberanti, locali industriali).

Come risulta dalla tabella, sono previsti tre gradi di precisione delle misure: metodo di laboratorio, metodo progettuale, metodo di controllo (terminologia UNI). Il metodo di laboratorio è quello che assicura l'incertezza minore in termini di ripetibilità e riproducibilità delle misure, segue il metodo progettuale, ed infine il metodo di controllo.

A determinare il grado di precisione contribuisce in modo determinante il tipo di campo sonoro in cui avviene la misura e, sotto questo aspetto, le metodologie di misura della potenza acustica si possono considerare divise in due sottogruppi principali:

- misure in campo libero o semilibero, oppure in ambienti in cui si cerca di apportare correzioni per riportarsi alla misura in campo libero;
- misure in ambienti riverberanti, sia di laboratorio sia di tipo speciale, in cui si cerca di realizzare condizioni di campo diffuso con caratteristiche controllate.

Tabella 24.1: Quadro di sintesi delle norme UNI EN ISO 374x per la misura della potenza sonora con il metodo della pressione

Ambiente di misura	Camere riverberanti	Camere semiriverberanti	Camere anecoiche e semianecoiche	Spazi aperti, capannoni industriali	
Grado di precisione	Metodo di laboratorio	Metodo progettuale	Metodo di laboratorio	Metodo progettuale	Metodo di controllo
Normativa di riferimento	UNI EN ISO 3741:2010	UNI EN ISO 3743-1:2010 UNI EN ISO 3743-2:2010	UNI EN ISO 3745:2012	UNI EN ISO 3744:2010	UNI EN ISO 3746:2010 UNI EN ISO 3747:2011
Volume della sorgente in prova	Preferibilmente inferiore al 2% del volume complessivo dell'ambiente di misura	Preferibilmente inferiore al 0,5% del volume complessivo dell'ambiente di misura	Preferibilmente inferiore al 0,5% del volume complessivo dell'ambiente di misura	Nessuna restrizione	Nessuna restrizione
Strumentazione					
fonometri	Classe 1 secondo CEI EN 61672-1		Classe 1 secondo CEI EN 61672-1	Classe 2 secondo CEI EN 61672-1	
fonointegratori	Classe 1 secondo CEI EN 61672-1 e 2		Classe 1 secondo CEI EN 61672-1 e 2	Classe 2 secondo CEI EN 61672-1 e 2	
filtri	Classe 1 secondo CEI EN 61260		Classe 1 secondo CEI EN 61260		
calibratori	Classe 1 secondo CEI EN 60942		Classe 1 secondo CEI EN 60942	Classe 2 secondo CEI EN 60942	

I principali vantaggi della misura in campo sonoro libero/semilibero sono:

- possibilità di definire la direttività della sorgente;
- possibilità di misurare la potenza sonora di sorgenti con componenti sonore impulsive;
- possibilità di misurare macchine di grandi dimensioni all'aperto o all'interno di capannoni industriali di estese dimensioni in pianta.

I vantaggi della misura in camera riverberante si possono riassumere come:

- possibilità di misurare la potenza acustica totale integrata nello spazio con un'unica postazione microfonica, nel caso ad esempio di macchine che hanno un ciclo molto lungo, di cui occorre caratterizzare le condizioni di funzionamento più significative;
- possibilità di misurare la potenza di macchine che richiedono di essere montate in uno spazio delimitato da due pareti riflettenti.

In linea generale infine, tra tutte le norme UNI EN ISO 374x quella che maggiormente si presta ad una misura di relativamente agevole esecuzione, sia per le caratteristiche di campo sonoro richieste che per l'apparecchiatura di misura necessaria è indubbiamente la UNI EN ISO 3746:2011. Tuttavia anche in questo caso occorre effettuare una preventiva qualificazione dell'ambiente di misura, sia pure con requisiti assai meno stringenti di quelli richiesti dagli altri due metodi di precisione, e stabilire la superficie di misura, un'emisfera o un parallelepipedo, su cui su cui situare il ristretto numero di punti di rilevazione previsti da tale norma. Occorre però anche non trascurare che a causa di questa procedura semplificata, i valori d'incertezza di misura che ne risultano sono piuttosto ampi - lo scarto tipo è pari a 3 per rumori a spettro relativamente "piatto" e pari a 4 per rumori con componenti tonali rilevanti - e di conseguenza l'utilizzazione, per la valutazione acustica, dei dati di potenza sonora così ottenuti richiede grande cautela ed attenzione.

Un ulteriore elenco di norme armonizzate che forniscono utile supporto nella determinazione dei valori di emissione acustica di alcuni macchinari è reperibile nella Sezione A.4 del Terzo Livello.

Una volta noto il livello di potenza acustica emesso da una macchina, il problema più frequente che si pone è come determinare il livello di pressione sonora in uno o più punti prestabiliti dello spazio, aperto o chiuso, in cui essa verrà sistemata e dovrà operare. L'aspetto è stato considerato anche dal legislatore, D.lgs. 81/08, prevede che già il progetto di un insediamento di attività lavorativa contenga una previsione dei livelli di esposizione personale degli addetti e gli accorgimenti necessari a ridurre l'eventuale rischio di danno da rumore. Si concorda nel non esigere una previsione accurata dei livelli di esposizione di ogni singolo addetto, ma si ritengono opportune specifiche valutazioni progettuali che a partire dai livelli di rumorosità delle singole macchine, valutino i rischi da rumore derivanti dalla loro dislocazione rispetto alle aree di stazionamento degli addetti.

In una attività esistente il caso più frequente è invece quello di dover valutare, sotto il profilo acustico, gli effetti positivi, o negativi, derivanti dall'inserimento di una nuova macchina o impianto. Disponendo dei valori di potenza acustica indicati dal fabbricante è possibile prevedere i nuovi livelli di pressione sonora che si vengono a determinare, sia per il posto di lavoro della macchina in questione sia per le postazioni limitrofe, e di conseguenza sapere se l'inserimento della nuova macchina è, rispetto al rischio di danno da rumore, accettabile; se è accettabile con opportuni interventi di bonifica acustica, oppure se non è accettabile del tutto. Per soddisfare queste esigenze si può ricorrere a diversi metodi di calcolo, di cui se ne indicano alcuni; per situazioni che richiedono un maggiore dettaglio si rimanda ai contenuti delle Schede 1 e 2.

Nel caso di una sorgente omnidirezionale collocata in condizioni di campo sonoro libero, ovvero all'aperto, la relazione di riferimento è la seguente:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 11 \quad \text{dB (1)}$$

dove r è la distanza, in metri, dalla sorgente e L_w il livello di potenza acustica espresso in dB riferiti a 1 pW.

Tale relazione vale però nel caso, piuttosto raro, di una sorgente sospesa ad oltre 2 metri da ogni superficie riflettente. Nel caso invece che tale sorgente sia situata in prossimità di una o più superfici rigide, occorrerà introdurre nella relazione un fattore correttivo Q , espresso in ter-

mini logaritmici dall'Indice di direttività ID [$ID = 10 \log_{10}(Q)$], legato all'angolo solido in cui la sorgente emette. La relazione 1 diventa pertanto:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r + Q - 11 \quad \text{dB} \quad (2)$$

dove i valori di Q, e i corrispondenti valori di ID, sono riportati nella sottostante Tabella 24.2. Nel caso opposto di una sorgente omnidirezionale collocata in condizioni di campo sonoro diffuso, ovvero nello spazio chiuso costituito da una camera riverberante, la relazione da impiegare sarà la seguente:

$$L_p = L_w - 10 \log_{10} A + 6 \quad \text{dB} \quad (3)$$

dove:

$$A = \frac{0,16V}{T_{60}} \quad (4)$$

e dove V è il volume, in m³, del locale in cui è sistemata la sorgente e T₆₀ è il tempo di riverberazione, in secondi.

Tabella 24.2: Classificazione dei possibili valori del fattore di direttività Q e dell'indice di direttività ID di una sorgente sonora omnidirezionale

Posizione della sorgente	Fattore di direttività Q	Indice di direttività ID (dB)
Sospesa ad oltre 2 m da ogni superficie riflettente	1	0
Appoggiata su pavimento all'aperto o al centro del pavimento, della parete, o del soffitto di un grande ambiente industriale	2	3
Al centro di uno spigolo formato da due superfici rigide	4	6
All'intersezione di tre superfici rigide	8	9

Nel caso infine di collocazione di una sorgente omnidirezionale in condizioni di campo semi-riverberante o semidiffuso, ovvero la grande maggioranza degli ambienti industriali, la relazione da impiegare sarà la seguente:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad \text{dB} \quad (5)$$

dove **r** è la distanza, in metri, Q è il fattore di direttività dovuto alla collocazione della sorgente ed R è la costante d'ambiente definita dalla relazione:

$$R = \frac{V}{\frac{T}{0,16} - \frac{V}{S}} \quad (6)$$

dove S è la superficie complessiva, in m², dell'ambiente in questione.

È importante sottolineare ancora che quanto detto finora vale per le sorgenti omnidirezionali. Nel caso di sorgenti direzionali, ovvero di sorgenti che non irradiano uniformemente in tutte le direzioni, ma presentano sensibili variazioni di livello di pressione sonora con il variare della posizione intorno ad esse, tutte le relazioni indicate dovranno tenere conto di questa direttività specifica della sorgente che è in generale in funzione della frequenza. Ciò significa che la descrizione completa degli effetti della direttività di una sorgente collocata in uno specifico ambiente è da ritenersi in generale un procedimento alquanto laborioso. Tuttavia in molti casi, il calcolo di previsione del livello di pressione sonora in corrispondenza di una posizione prescelta può limitarsi a considerare unicamente la direzione di massima emissione della sorgente e l'influenza che su di essa possono avere le superfici riflettenti più prossime.

Scheda 25

Criteria generali di collaudo di una bonifica acustica

Scopo della presente Scheda è quello di fornire criteri generali a tutti gli operatori del settore per la verifica dei risultati ottenuti dagli interventi di controllo del rumore. Le procedure tecniche per la valutazione tecnica sul campo dell'effettiva efficacia di tutta una serie di interventi di bonifica sono riportate nelle seguenti Schede:

- 25.1 Coperture fonoisolanti
- 25.2 Schermi e barriere fonoisolanti
- 25.3 Silenziatori
- 25.4 Trattamenti fonoassorbenti ambientali
- 25.5 Cabine per operatore
- 25.6 Requisiti acustici passivi degli edifici
- 25.7 Impianti di climatizzazione e ventilazione

La presentazione dei risultati di un intervento di controllo del rumore è formalizzata in un "Rapporto di prova" nel quale vanno schematicamente riportati i seguenti elementi ed informazioni essenziali.

- Oggetto del collaudo, dati identificativi del Cliente e dell'Ordine di acquisto.
- Breve descrizione generale dell'intervento.
- Garanzia acustica contrattuale (obiettivo acustico preventivamente dichiarato dal fornitore).
- Condizioni di prova (desunte da normative specifiche o concordate tra fornitore e acquirente).
- Pianta schematica con indicazione delle posizioni di verifica.
- Risultati della verifica con specificazione dei livelli misurati prima e dopo l'intervento, delle eventuali correzioni apportate per il rumore di fondo e dell'incertezza dei risultati.
- Confronto con l'attenuazione offerta in garanzia e conclusioni.
- Firma e dati identificativi dei tecnici che hanno eseguito le misure e redatto il rapporto.

Come si evince dall'analisi dei contenuti del Rapporto di prova, in ciascuna procedura di collaudo è previsto che si adotti una correzione dovuta al rumore di fondo e tale correzione va effettuata secondo quanto indicato nella norma UNI EN ISO 3746:2011: e riportato nella nota a seguito. Ai livelli equivalenti misurati con sorgente in funzione (prima e dopo l'installazione della barriera) si sottrae il coefficiente correttivo K_1 determinato (in dB o dB(A)) secondo l'espressione seguente:

$$K_1 = 10 \log (1 - 10^{-0,1 \Delta L})$$

in cui:

$$\Delta L = L_{amb} - L_{fondo}$$

dove:

L_{amb} = Livello sonoro misurato con sorgente in funzione

L_{fondo} = Livello sonoro del rumore di fondo

Se $\Delta L > 10$ dB non si applica nessuna correzione.

Se $\Delta L < 3$ dB la precisione dei risultati risulta significativamente ridotta.

Infine, in ciascuna procedura di collaudo è previsto che nel Rapporto di Prova si segnali l'incertezza dei risultati e tale indicazione va effettuata secondo quanto indicato nella norma UNI EN ISO 3741:2010 la quale prevede che le misurazioni in sito effettuate con il metodo del rumore reale producano scarti tipo in genere pari o minori di quelli indicati nel seguente prospetto. Tali scarti tipo prendono in considerazione gli effetti cumulativi di tutte le cause di incertezza.

Frequenze centrali bande di ottava Hz	Frequenze centrali bande di un terzo di ottava Hz	Scarto tipo dB
125	Da 100 a 160	3
250	da 200 a 316	2
da 500 a 4000	Da 400 a 5000	1,5
8000	Da 8300 a 10000	3

Nel caso di misure in ponderazione A, si adotta uno scarto tipo pari a 1,5 dB(A).

Definizioni

Si riportano di seguito le definizioni dei parametri acustici utilizzati nella serie di schede 25 non ricompresi nel Capitolo 9 (Glossario) del 1° Livello.

Ambiente chiuso: Ambiente destinato alla presenza continua o saltuaria di persone o comunità, racchiuso da 6 superfici.

Attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio, $\Delta L'$: Differenza in decibel, tra il livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente prima e dopo la posa in opera del rivestimento.

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, D_{nT} : Isolamento acustico, in decibel, corrispondente al valore di riferimento del tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente:

$$D_{nT} = D + 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad [dB]$$

dove:

D è l'isolamento acustico in decibel;

T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente;

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento; per le abitazioni $T_0 = 0,5$ s

Isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, D_n : Isolamento acustico, in decibel, corrispondente all'area equivalente di assorbimento acustico di riferimento nell'ambiente ricevente:

$$D_n = D - 10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad [dB]$$

dove:

D è l'isolamento acustico in decibel;

A è l'area equivalente di assorbimento acustico nell'ambiente ricevente, espressa in metri quadri;

A_0 è l'area equivalente di assorbimento acustico in metri quadri (per ambienti in abitazioni o di dimensioni confrontabili $A_0 = 10 \text{ m}^2$)

Livello medio di pressione sonora \overline{L}_p

$$\overline{L}_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{10^{0.1L_{p1}} + 10^{0.1L_{p2}} + \dots + 10^{0.1L_{pn}}}{n} \right) \quad dB$$

dove L_{p1} , L_{p2} , ..., L_{pn} sono i livelli di pressione sonora, in dB, dei quali si deve calcolare la media.

Livello di pressione sonora di calpestio, L_i : Livello medio di pressione sonora misurato in terzi di ottava nell'ambiente ricevente quando il solaio sottoposto a prova è eccitato dal generatore di calpestio normalizzato.

Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, L'_n : Livello di pressione sonora di calpestio L_i , aumentato di un termine correttivo espresso in decibel:

$$L'_n = L_i + 10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad dB$$

Dove:

L_i è il livello di pressione sonora di calpestio

A è l'area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente, espressa in metri quadri;

A_0 è l'area equivalente di assorbimento acustico in metri quadri, $A_0 = 10 \text{ m}^2$

Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, L'_{nT} : Livello di pressione sonora di calpestio L_i , diminuito di un termine correttivo espresso in decibel:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad dB$$

Dove:

L_i è il livello di pressione sonora di calpestio

T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente;

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento; per le abitazioni $T_0 = 0,5$ s

Locale di prova: Spazio chiuso, esterno alla cabina, in cui viene generato il suono. ossia l'ambiente rumoroso nel quale la cabina è inserita

$L_{A_{\text{imax}}}$, $L_{A_{\text{smax}}}$: Livello di pressione sonora misurato con dinamica Impulse ovvero Slow e con ponderazione A.

Livello di riferimento, L_{ref} : Livello di rumore stabilito in contratto.

Livello di rumore ambientale, L_a : Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, che si misura con l'impianto in funzione.

Livello di rumore residuo, L_r : Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, che si misura con l'impianto non in funzione.

Livello di rumore d'impianto, L_i : Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, prodotto dal solo impianto.

Livello di rumore medio dell'ambiente, L_{am} : Media dei livelli di rumore ambientali rilevati nelle varie posizioni di misurazione

$$L_{\text{am}} = 10 \lg \left[1 / N \sum 10^{(L_a)_j / 10} \right]$$

Dove:

J è il campione j^{esimo} rilevato nel punto generico di misurazione j ;

N è il numero totale di punti.

Potere fonoisolante apparente, R' : Dieci volte il logaritmo in base dieci del rapporto tra la potenza sonora W_1 , incidente su una parete sottoposta a prova, e la potenza sonora totale trasmessa nell'ambiente ricevente se, in aggiunta alla potenza sonora W_2 trasmessa attraverso il divisorio, la potenza sonora W_3 , trasmessa dagli elementi laterali o da altri componenti è significativa; è espresso in decibel:

$$R' = D + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad [dB]$$

dove:

D è l'isolamento acustico;

S è la superficie del divisorio [m²];

A è l'area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente [m²]

Posizione del ricevente: Punto in cui deve essere determinata l'attenuazione della pressione sonora.

Rumore rosa: rumore con valori uguali di energia per frequenze a larghezza percentuale di banda costante.

Sorgente sonora impulsiva: sorgente che possa emettere energia sonora concentrata in un breve intervallo di tempo (< 1 s, ad esempio uno sparo).

Scheda 25.1

Coperture totali o parziali

Scopo della presente procedura è quello di fornire a tutti gli operatori del settore un metodo pratico semplificato per la verifica dei risultati ottenuti a seguito di un intervento di cabinatura fonoisolante, totale o parziale, effettuato su una o più sorgenti di rumore, generalmente rappresentate da macchine o da componenti di impianto.

La procedura che segue è stata elaborata in coerenza con le normative tecniche di riferimento più aggiornate.

Questa procedura si applica ad interventi di cabinatura totale o parziale (cappottature) di macchine, parti di macchine, componenti di impianto in genere, purché siano verificabili le condizioni di prova specificate nei paragrafi successivi.

Non si applica alle cabine specificamente riservate ad ospitare operatori.

Condizioni di prova

Le condizioni di funzionamento della sorgente sonora oggetto dell'intervento dovranno essere rappresentative di un uso normale, e comunque dovranno essere le stesse per le misurazioni effettuate con e senza il cabinato.

L'ambiente di prova dovrà essere lo stesso (o comunque avere caratteristiche del tutto simili) per le misurazioni effettuate con e senza il cabinato.

Il livello del rumore di fondo non dovrà essere influente sul livello della sorgente prima e soprattutto dopo la prova. Affinché questa condizione sia rispettata la differenza tra il livello misurato con sorgente attiva e sorgente spenta dovrà essere superiore a 10 dB (in banda e/o in ponderazione A secondo il tipo di prova).

Nel caso in cui la suddetta condizione non fosse pienamente rispettata, se ne terrà conto nel calcolo dell'attenuazione finale secondo la procedura indicata nella norma UNI EN ISO 3746:2011.

Posizioni di misura

Le posizioni microfoniche utilizzate per le misurazioni con il cabinato installato dovranno essere possibilmente le stesse di quelle utilizzate per le prove senza la cabina, eventualmente concordate con il committente, e possibilmente collocate ad una distanza di ≥ 1 m dalle pareti del cabinato.

Salvo diverse indicazioni, il microfono verrà posto a 1,5 m dal pavimento lungo il perimetro del cabinato, non in prossimità di aperture non protette sulle pareti dello stesso.

Laddove risulti individuabile presso la sorgente o nelle immediate vicinanze una posizione specifica interessata dalla presenza più o meno stabile di operatori, tale posizione sarà senz'altro da considerarsi prioritaria ai fini della verifica.

Grandezze da determinare

Ai fini della presente procedura, la grandezza prioritaria da determinare in ciascuna posizione è costituita dal Livello equivalente di pressione sonora ponderata A (L_{pA}), prima e dopo l'installazione della cabina.

In dipendenza da eventuali particolari caratteristiche di emissione (componenti tonali, componenti impulsive) ed in accordo con il Committente, potranno essere determinate le seguenti altre grandezze.

- Livello equivalente di pressione sonora in bande di frequenza di 1 ottava o di 1/3 d'ottava (L_p)
- Livello sonoro impulsivo misurato come $L_{pAS\ Max}$ (per interventi utili alla riduzione dell'inquinamento verso l'esterno)
- Livello sonoro impulsivo misurato come L_{pPeak} (per interventi atti alla riduzione dei livelli di esposizione dei lavoratori)

In tutti i casi il valore di L dovrà essere riferito esclusivamente al rumore prodotto dalla sorgente oggetto della verifica, quindi, se del caso, dovrà essere debitamente corretto per l'influenza del rumore di fondo secondo l'apposita procedura.

Determinazione dell'Attenuazione della Pressione Sonora

- 1 Determinazione dell'attenuazione in una posizione specificata

L'attenuazione nella posizione specificata (ad esempio la posizione operatore) sarà determinata come:

$$D_p = L_p \text{ (senza cappottatura)} - L_p \text{ (con cappottatura)} \text{ dB}$$

se misurata nelle singole bande di frequenza, oppure come:

$$D_{pA} = L_{pA} \text{ (senza cappottatura)} - L_{pA} \text{ (con cappottatura)} \text{ dB(A)}$$

se misurata in ponderazione A.

Allo stesso modo potrà essere determinata l'attenuazione sui livelli impulsivi come:

$$D_{pAS\ Max} = L_{pAS\ max} \text{ (senza cappottatura)} - L_{pAS\ max} \text{ (con cappottatura)} \text{ dB(A)}$$

oppure:

$$D_{pPeak} = L_{pPeak} \text{ (senza cappottatura)} - L_{pPeak} \text{ (con cappottatura)} \text{ dB(A)}$$

- 2 Determinazione dell'attenuazione media tra più posizioni specificate

Nel caso in cui le posizioni di misura risultino più di una, e si desideri calcolare l'attenuazione media prodotta dal cabinato, il metodo sopra illustrato sarà ripetuto per ciascuna delle suddette posizioni e l'attenuazione media sarà calcolata come

$$\overline{D_p} = L_p \text{ medio senza cappottatura} - L_p \text{ medio con cappottatura}$$

in cui D_p assume di volta in volta il significato riferito al parametro desiderato.

Scheda 25.2

Schermi e barriere

Scopo della presente procedura è quello di fornire a tutti gli operatori del settore un metodo pratico semplificato per la verifica dei risultati ottenuti a seguito dell'installazione di una barriera acustica (o schermo fonoisolante / fonoassorbente) posta tra una o più sorgenti di rumore (interne od esterne) e uno o più ricevitori.

La procedura che segue è stata elaborata in coerenza con le normative tecniche di riferimento più aggiornate.

Questa procedura si applica ad interventi di installazione di barriere acustiche o schermi fonoisolanti / fonoassorbenti, purchè siano verificabili le condizioni di prova specificate nei paragrafi successivi. Gli schermi possono essere sia fissi che mobili.

Condizioni di prova

L'ambiente di prova dovrà essere lo stesso (o comunque avere caratteristiche del tutto simili) per le misurazioni effettuate con e senza la barriera. In particolare dovranno essere equivalenti, prima e dopo l'intervento:

- la sorgente di rumore (vedere paragrafo successivo);
- nel caso di barriere il profilo ed il tipo di terreno, eventuali ostacoli interferenti e/o superfici riflettenti in un settore avente apertura 60° da entrambe le parti della linea che unisce la posizione del ricevente con la posizione della sorgente;
- nel caso di barriere le condizioni del vento e la temperatura (variazione massima consentita 10° C).

Si raccomanda che le misure vengano effettuate nelle medesime posizioni prima e dopo l'installazione della barriera (*metodo diretto*). Se ciò non è possibile (ad es. se la barriera è già stata installata) si applica il *metodo indiretto*, con il quale si fa una stima del livello di pressione sonora che si aveva "prima" mediante misure effettuate in un sito equivalente a quello in esame. In tal caso, un sito può essere considerato equivalente a quello in esame se valgono le equivalenze già citate anche tra i due siti.

Il livello del rumore di fondo non dovrà essere influente sul livello della sorgente prima e soprattutto dopo la prova. Affinchè questa condizione sia rispettata la differenza tra il livello misurato con sorgente attiva e sorgente spenta dovrà essere superiore a 10 dB (in banda e/o in ponderazione A secondo il tipo di prova).

Nel caso in cui la suddetta condizione non fosse pienamente rispettata, se ne terrà conto nel calcolo dell'attenuazione finale secondo la procedura indicata nella norma UNI EN ISO 3746:2011.

Equivalenza delle sorgenti

Possono essere utilizzati tre tipi di sorgente di rumore:

- I) Sorgente naturale
- II) Sorgente naturale controllata
- III) Sorgente artificiale controllata

I) Sorgente naturale

È la preferibile. Deve essere continuamente monitorata durante le misure, a meno che non sia chiaramente stabilita e documentata la sua stabilità.

Le caratteristiche della sorgente che devono essere equivalenti prima e dopo l'intervento sono: il contenuto dello spettro, la direttività, le distribuzioni spaziali e temporali, le condizioni operative come il numero e tipo di sorgenti individuali nel caso di sorgenti composite. Ad esempio se la sorgente è una strada, il flusso veicolare ed il rapporto tra veicoli pesanti e leggeri deve essere più o meno lo stesso prima e dopo l'intervento.

II) Sorgente naturale controllata

È meglio utilizzarla se le condizioni della sorgente 1 sono cambiate in maniera significativa tra prima e dopo l'intervento: ad esempio, nel caso di sorgente rappresentata da traffico veicolare, se il flusso dei veicoli varia in misura determinante, è meglio selezionare uno o più veicoli di test come sorgenti tipiche.

Da utilizzare nel caso che la sorgente sia distribuita su una grande area, come un'industria o il traffico autostradale.

III) Sorgente artificiale controllata

Da utilizzare quando non può essere stabilita con certezza l'equivalenza della sorgente 1 prima e dopo l'intervento.

Consigliata se le sorgenti 1 e 2, in presenza di lunghe distanze tra sorgente e ricevente, alti livelli di rumore di fondo o alte barriere, non hanno un livello di potenza sonora sufficiente per completare le misure dopo l'intervento.

La simulazione deve riprodurre fedelmente le bande in frequenza più significative dello spettro emesso dalla sorgente naturale.

Posizioni di misura

Ricevente ben definito

Se la barriera / schermo è destinata a proteggere un ricevente la cui posizione è nota, le misurazioni saranno effettuate prima e dopo l'intervento nella stessa posizione del ricevente.

Salvo diverse indicazioni, il microfono verrà posto a 1,55 m dal pavimento, conformemente a quanto previsto dalla UNI EN ISO 11200:2010.

Intervento a protezione di un'area

Se la posizione del ricevente non è ben definita e la barriera / schermo è destinata a proteggere acusticamente un'area più o meno vasta, le posizioni microfoniche devono essere ubicate lungo una linea perpendicolare alla barriera. La distanza tra le posizioni microfoniche e la barriera deve essere uguale a un quarto dell'altezza della barriera, metà dell'altezza, una

volta l'altezza e due volte l'altezza della barriera, sempre che la configurazione dell'installazione lo consenta, e purché le posizioni indicate siano all'interno dell'area da proteggere e la distanza minima sia 1 metro. Il microfono verrà posto a 1,55 m dal pavimento.

Nel caso di uno schermo di grandi dimensioni e nel caso di schermi di forma complessa, la posizione delle linee di misurazione deve essere concordata tra le parti interessate. Se viene usata una sola linea, si deve scegliere una linea situata nelle vicinanze del centro geometrico dello schermo.

Grandezze da determinare

Ai fini della presente procedura, la grandezza prioritaria da determinare in ciascuna posizione è costituita dal Livello equivalente di pressione sonora ponderata A (L_{pA}), prima e dopo l'installazione della barriera.

In dipendenza da eventuali particolari caratteristiche di emissione (componenti tonali, componenti impulsive) ed in accordo con il Committente, potrà essere determinato il Livello equivalente di pressione sonora in bande di frequenza di 1 ottava o di 1/3 d'ottava (L_p).

L'intervallo delle frequenze da considerare è da 63 Hz a 4000 Hz in banda d'ottava e da 50 Hz a 5000 Hz in terzi di banda d'ottava. Le misure in frequenza sono raccomandate quando si utilizza una sorgente artificiale controllata.

La durata della misura deve essere sufficientemente lunga da risultare rappresentativa del rumore reale.

In tutti i casi il valore di L dovrà essere riferito esclusivamente al rumore prodotto dalla sorgente oggetto della verifica, quindi, se del caso, dovrà essere debitamente corretto per l'influenza del rumore di fondo secondo l'apposita procedura.

Determinazione dell'Attenuazione della Pressione Sonora

Determinazione dell'attenuazione nella posizione del ricevente

L'attenuazione nella posizione del ricevente sarà determinata come:

$$D_{IL} = L_p \text{ (senza barriera)} - L_p \text{ (con barriera)} \text{ dB}$$

se misurata nelle singole bande di frequenza, oppure come

$$D_{IL,A} = L_{pA} \text{ (senza barriera)} - L_{pA} \text{ (con barriera)} \text{ dB(A)}$$

se misurata in ponderazione A.

Determinazione dell'attenuazione media tra più posizioni specificate

Nel caso in cui le posizioni di verifica (scelte in base a quanto indicato al paragrafo Posizioni di misura) risultino più di una e si desideri calcolare l'attenuazione media prodotta dalla barriera, questa sarà calcolata come

$$D_{IL} = L_p \text{ medio senza barriera} - L_p \text{ medio con barriera}$$

in cui D_{IL} assume di volta in volta il significato riferito al parametro desiderato.

Scheda 25.3

Silenziatori

Scopo della presente procedura è quello di fornire a tutti gli operatori del settore un metodo pratico semplificato per la verifica, nelle condizioni di effettiva installazione, dei risultati ottenuti a seguito della applicazione di un silenziatore.

La procedura che segue è stata elaborata in coerenza con le normative tecniche di riferimento più aggiornate.

Questa procedura si applica ad interventi in cui sia prevista l'installazione di un silenziatore qualsiasi (silenziatore di ventilazione, di scarico motori, di sfiato fluidi in pressione, ecc.), purché siano verificabili le condizioni di prova specificate nei paragrafi successivi.

Ne risultano quindi esclusi i silenziatori che, risultando inseriti in linea nel circuito, presenteranno entrambe le bocche di ingresso e di uscita collegate al circuito.

Condizioni di prova

Le condizioni di funzionamento della apparecchiatura, sia essa un macchinario oppure una valvola di sfiato, dovranno essere rappresentative dell'uso normale previsto e che sono alla base del dimensionamento di qualsiasi silenziatore.

Ovviamente queste dovranno essere le stesse sia prima che dopo l'installazione del silenziatore. Poiché i silenziatori possono essere installati sia su bocche che danno su ambienti chiusi sia su bocche che danno direttamente all'atmosfera l'ambiente di prova potrà essere sia chiuso che aperto.

Per ambienti chiusi sarà necessario che il silenziatore, con la sua presenza, non ne modifichi sostanzialmente le caratteristiche quale in particolare il tempo di riverbero.

Il livello del rumore di fondo non dovrà essere influente sul livello da misurare prima e soprattutto dopo l'installazione del silenziatore. Affinché questa condizione sia rispettata la differenza tra il livello misurato con sorgente attiva e sorgente spenta dovrà essere superiore a 10 dB (in banda e/o in attenuazione A secondo il tipo di prova).

Nel caso in cui la suddetta condizione non fosse pienamente rispettata, se ne terrà conto nel calcolo dell'attenuazione finale secondo la procedura indicata nella norma UNI EN ISO 3746:1997, par. 8.2 e riportata nella nota in premessa.

Posizioni di misura

Le posizioni microfoniche utilizzate per le misurazioni con il silenziatore installato dovranno essere possibilmente le stesse di quelle utilizzate per le prove senza silenziatore.

Data la specificità delle possibili condizioni è sempre preferibile che la o le posizioni di misu-

ra siano concordate con il committente in modo chiaro, eventualmente anche mediante l'utilizzo di uno schema grafico che mostri chiaramente le posizioni reciproche di bocca di aspirazione/scarico e punto di misura, prima ancora dell'ordine.

In mancanza di maggiori precisazioni ci si riferirà ad una posizione ad una distanza non inferiore a 1 m e possibilmente di fianco rispetto alla bocca, cioè a 90° dall'asse della bocca stessa. Laddove risulti individuabile presso la sorgente o nelle immediate vicinanze una posizione specifica interessata dalla presenza più o meno stabile di operatori, tale posizione sarà senz'altro da considerarsi prioritaria ai fini della verifica.

Particolare attenzione dovrà poi essere messa nell'evitare che, nella/nelle posizioni di misura, possa essere misurato un livello di pressione sonora dipendente non da quanto emesso dal silenziatore quanto da tubazioni a monte dello stesso.

Grandezze da determinare

Ai fini della presente procedura, la grandezza prioritaria da determinare in ciascuna posizione è costituita dal Livello equivalente di pressione sonora ponderata A (L_{pA}), prima e dopo l'installazione della cabina.

In tutti i casi il valore di L dovrà essere riferito esclusivamente al rumore prodotto dalla sorgente oggetto della verifica, quindi, se del caso, dovrà essere debitamente corretto per l'influenza del rumore di fondo secondo l'apposita procedura.

Determinazione dell'Attenuazione della Pressione Sonora

Determinazione dell'attenuazione in una posizione specificata

L'attenuazione nella posizione specificata sarà determinata come:

$$D_p = L_p \text{ (senza silenziatore)} - L_p \text{ (con silenziatore)} \text{ dB}$$

se misurata nelle singole bande di frequenza, oppure come:

$$D_{pA} = L_{pA} \text{ (senza silenziatore)} - L_{pA} \text{ (con silenziatore)} \text{ dB(A)}$$

se misurata in ponderazione A.

Determinazione dell'attenuazione media tra più posizioni specificate

Nel caso in cui le posizioni di verifica (scelte in base a quanto indicato al paragrafo Posizioni di misura) siano più di una, e si desideri calcolare l'attenuazione media prodotta dal silenziatore, questa sarà calcolata come:

$$\overline{D_p} = L_p = \text{medio senza silenziatore} - L_p \text{ medio con silenziatore}$$

in cui D_p assume di volta in volta il significato riferito al parametro desiderato.

Scheda 25.4

Trattamenti fonoassorbenti ambientali

Scopo della presente procedura è quello di fornire a tutti gli operatori del settore un metodo pratico semplificato per la verifica dei risultati ottenuti dai trattamenti fonoassorbenti ambientali; essa è stata elaborata in coerenza con le normative di riferimento più aggiornate.

Questa procedura stabilisce due diversi metodi per la determinazione della capacità di fonoassorbimento degli ambienti chiusi nel campo di frequenze da 100 Hz a 5000 Hz (ovvero 125-4000 Hz), a seconda che si voglia determinare il valore del decadimento temporale del campo sonoro o la legge di decadimento dell'energia all'aumento della distanza dalla sorgente.

Il confronto dei dati ottenuti con la ripetizione delle misure fornisce l'indicazione dell'efficienza acustica dell'intervento di fonoassorbimento ambientale realizzato.

Il presente metodo è valido per ambienti chiusi di qualsiasi forma e dimensione, mentre non si applica alle camere riverberanti per le quali si rimanda alla UNI EN ISO 354:2010.

I due metodi forniscono informazioni relative a due coefficienti diversi tra loro e quindi non direttamente confrontabili.

Procedimenti di prova

1 - Metodo del decadimento temporale del campo sonoro

Si applica in ambienti chiusi di forma compatta, in cui il rapporto tra la dimensione massima e quella minima non sia maggiore di 3.

Per ambienti di forma non regolare si dovranno considerare i valori medi delle tre dimensioni.

Si possono seguire due procedimenti:

- interruzione del segnale generato da una sorgente stazionaria;
- eccitazione dell'ambiente con una sorgente impulsiva.

1.a) Interruzione del segnale generato da una sorgente stazionaria

Apparecchiatura di prova e misurazione

Deve essere costituita da:

Sorgente sonora campione di rumore rosa formata da un generatore associato ad un amplificatore di potenza idonea e da uno o più altoparlanti. L'intervallo utile alla lettura del decadimento, per ogni frequenza, va dal valore massimo sino al valore che supera di 6 dB il livello residuo.

Fonometro o fonometro integratore (possibilmente di classe 1) dotato di filtri per bande di ottava o terzo di ottava associato ad un *registratore* su carta o su memoria oppure, preferibil-

mente, ad un *analizzatore di spettro* in tempo reale, il tutto conforme alle CEI EN 61672-1:2003, CEI EN 61672-2:2004 e CEI EN 61260/A1:2002.

Per la successiva analisi di tali parametri è anche possibile utilizzare un sistema di registrazione, come DAT o computer con scheda audio, purché detto sistema abbia una dinamica di almeno 50 dB

Esecuzione della prova

Le misurazioni saranno effettuate in scala lineare negli intervalli di banda 125 - 4.000 Hz (se in banda di 1 ottava), o 100 - 5.000 Hz (se in banda di 1/3 di ottava).

Il sistema di altoparlanti dovrà essere disposto in modo da assicurare in tutto l'ambiente una condizione di campo sonoro sufficientemente uniforme (differenza tollerata non superiore a 5 dB tra un punto di verifica ed un altro posti a distanza minima dalla sorgente maggiore dell'altezza del locale).

Le misurazioni dovranno essere effettuate in almeno tre punti diversi, avendo cura di posizionare il microfono in modo tale da rispettare tutte le seguenti condizioni:

- Altezza da terra pari a 1,5 m
- Distanza dalla sorgente ≥ 3 m
- Distanza da ogni superficie riflettente $\geq 1,5$ m
- Distanza tra una postazione microfonica e l'altra ≥ 2 m

Elaborazione dei dati e grandezze misurate

In ogni punto di misura sarà quindi valutata la pendenza della curva di decadimento temporale, (e quindi del tempo di riverberazione corrispondente), o direttamente dall'apparecchiatura di misura, oppure utilizzando l'apposito goniometro (in questo caso si dovranno indicare i valori minimo e massimo derivanti dalla lettura).

Ogni serie di rilievi relativi allo stesso punto di misura deve essere mediata aritmeticamente ed il risultato di tale media, con la relativa tolleranza, rappresenta il valore del tempo di riverberazione nella relativa banda di frequenza.

1.b) Interruzione del segnale generato da una sorgente impulsiva

Apparecchiatura di prova e misurazione

Deve essere costituita da:

Sorgente sonora campione di rumore rosa formata da un generatore associato ad un amplificatore di potenza idonea e da un altoparlante o da un sistema di altoparlanti (ad es. a dodecaedro). L'intervallo utile alla lettura del decadimento, per ogni frequenza, va dal valore massimo sino al valore che supera di 10 dB il livello residuo.

Fonometro (possibilmente in classe 1) dotato di filtri in banda di 1/3 e/o di 1 ottava, associato ad un *registratore* su carta o su memoria, oppure, in alternativa, da un *analizzatore di spettro* in tempo reale, il tutto conforme alle CEI EN 61672-1:2003, CEI EN 61672-2:2004 e CEI EN 61260/A1:2002.

In alternativa potrà essere utilizzato un sistema di registrazione, come DAT o computer con scheda audio, purché detto sistema abbia una dinamica di almeno 50 dB.

Esecuzione della prova

Le misurazioni saranno effettuate in scala lineare negli intervalli di banda 125 - 4.000 Hz (se in banda di 1 ottava), o 100 - 5.000 Hz (se in banda di 1/3 di ottava), ed in almeno tre punti

diversi, avendo cura di posizionare il microfono in modo tale da rispettare tutte le seguenti condizioni:

- Altezza da terra pari a 1,5 m
- Distanza dalla sorgente ≥ 3 m
- Distanza da ogni superficie riflettente $\geq 1,5$ m
- Distanza tra una postazione microfonica e l'altra ≥ 2 m

Elaborazione dei dati e grandezze misurate

In ogni punto di misura sarà quindi valutata la pendenza della curva di decadimento temporale, (e quindi del tempo di riverberazione corrispondente), o direttamente dall'apparecchiatura di misura, oppure utilizzando l'apposito goniometro (in questo caso si dovranno indicare i valori minimo e massimo derivanti dalla lettura).

Ogni serie di rilievi relativi allo stesso punto di misura deve essere mediata aritmeticamente ed il risultato di tale media, con la relativa tolleranza, rappresenta il valore del tempo di riverberazione nella relativa banda di frequenza.

2 - Metodo del decadimento spaziale del campo sonoro

La seguente procedura si applica negli ambienti chiusi in cui una dimensione risulti molto minore delle altre due, eccitando l'ambiente con un segnale generato da una sorgente stazionaria.

Apparecchiatura di prova

Deve essere costituita da:

Sorgente sonora campione di rumore rosa formata da un generatore associato ad un amplificatore di potenza idonea e da un altoparlante o da un sistema di altoparlanti (ad es. a dodecaedro). Tale generatore dovrà fornire, per ogni frequenza, un segnale di potenza tale da superare di almeno 10 dB il livello residuo misurato nel punto finale della curva di decadimento.

Uno o, meglio, due fonometri (possibilmente in classe 1) dotati di filtri in banda di 1/3 e/o di 1 ottava; oppure, in alternativa, da uno o, meglio due analizzatori di spettro in tempo reale; oppure ancora da un analizzatore bicanale di spettro in tempo reale, il tutto conforme alle CEI EN 61672-1:2003, CEI EN 61672-2:2004 e CEI EN 61260/A1:2002.

Esecuzione della prova

Le misurazioni saranno effettuate in scala lineare negli intervalli di banda 125 - 4.000 Hz (se in banda di 1 ottava), o 100 - 5.000 Hz (se in banda di 1/3 di ottava).

Si dovrà procedere secondo la seguente metodologia:

- Predisporre la sorgente a terra, ad una distanza dalla superficie più vicina non inferiore all'altezza del soffitto o dell'intradosso del trattamento fonoassorbente (se presente). Gli altoparlanti, se in unità separate, dovranno essere collocati vicini l'uno all'altro a formare una sorgente quanto più possibile di tipo omnidirezionale e puntiforme.
- Individuare una o più linee libere in funzione delle dimensioni e della forma fisica del locale, lungo le quali posizionare un microfono a distanze crescenti dalla sorgente sonora possibilmente secondo una scansione del tipo:

1m-2m-3m...-10m-12m-14m...-20m-24m-28m...-40m-48m-56m...

sino ad un punto finale posto ad una distanza da una parete riflettente non inferiore all'altezza media libera del soffitto (o dell'intradosso del trattamento fonoassorbente, se presente).

L'altezza del microfono sarà mantenuta sempre pari a 1,5 m da terra.

- Rilevare il livello di pressione sonora in ciascuna posizione avendo cura di verificare di tanto in tanto (eventualmente utilizzando il secondo apparecchio di misura) la costanza del segnale di emissione in un raggio non inferiore a 0,5 m dall'unità di altoparlanti.

Elaborazione dei dati e grandezze misurate

Dopo aver effettuate le prove si procederà a:

- Riportare su grafico, uno per ogni frequenza, i valori dei livelli di pressione sonora misurati alle varie distanze dalla sorgente; sull'asse y saranno riportati i valori in dB, mentre sull'asse x saranno riportati i logaritmi in base 10 delle distanze in metri, in modo da realizzare un grafico semilogaritmico.
- Determinare per ogni curva (corrispondente ad una data banda di frequenza) la retta di regressione lineare dei punti sperimentali che esprimono il livello di pressione sonora in funzione del logaritmo della distanza dalla sorgente *, avendo cura di partire dal livello di pressione sonora misurato ad una distanza dalla sorgente pari all'altezza media libera del soffitto (o dell'intradosso del trattamento fonoassorbente, se presente).
- Verificare che il coefficiente di correlazione lineare ** di ciascuna curva non risulti maggiore di -0,97, altrimenti la prova non è da considerarsi significativa.
- Determinare infine, per ogni banda di frequenza, il valore dello Scostamento

$$\Delta L_2 = L_{(2a)} - L_a \quad \text{dB}$$

in cui L_a ed $L_{(2a)}$ rappresentano i livelli di pressione sonora sulla retta di regressione corrispondenti a distanze una doppia dell'altra.

- * Retta che approssima il più possibile la curva spezzata ottenuta dall'unione dei punti sperimentali. Viene normalmente determinata con l'ausilio di comuni calcolatrici scientifiche programmabili.
- ** Anch'esso fornito dalla calcolatrice contestualmente alla determinazione della retta di regressione

Scheda 25.5

Cabine per operatori

Scopo della presente procedura è quello di fornire a tutti gli operatori del settore un metodo pratico semplificato per la verifica dei risultati ottenuti da una cabina fonoisolante per operatori allo scopo di proteggere gli stessi da un ambiente rumoroso.

Si precisa che la procedura qui descritta è stata elaborata in coerenza con le normative di riferimento più aggiornate.

La presente procedura si applica esclusivamente a una cabina di protezione acustica per gli operatori che stazionano al suo interno.

Non si applica a cabinati fonoisolanti destinati esclusivamente a macchine o componenti di impianto.

Condizioni di prova

La prova viene condotta in sito e il locale di prova non deve soddisfare alcun requisito specifico. Per determinare l'isolamento della pressione sonora della cabina si utilizza il campo sonoro esterno reale generato nel locale di prova.

Il rumore reale dovrebbe essere possibilmente diffuso e stabile nel tempo e nello spazio. Se il rumore varia nel tempo, si deve effettuare la misurazione all'esterno e all'interno della cabina contemporaneamente.

È opportuno spegnere qualsiasi sorgente di rumore interna della cabina che possa influenzare le misure.

Posizioni di misura

Posizione dei microfoni nel locale di prova (esterno alla cabina)

Si deve usare un numero di posizioni microfono almeno pari al numero di pareti verticali costituenti la cabina.

Il microfono sarà posizionato a non meno di 1 m dalle pareti della cabina.

Posizione dei microfoni in cabina

Nel caso sia possibile identificare una postazione operatore sarà sufficiente effettuare la misura in quel punto. In mancanza di una postazione operatore ben definita si procederà nel definire quella ritenuta predominante e lì si effettuerà la misura.

Nel caso di cabine di notevoli dimensioni il numero di posizioni di misura verrà aumentato in

proporzione (indicativamente si assuma un punto di misura ogni 15 mq di pavimento). La distanza tra la posizione del microfono e le superfici interne della cabina non dovrà essere minore di $0,2 d$, dove d è la dimensione minore all'interno della cabina. Tutte le posizioni dovranno trovarsi ad almeno un metro dal livello del pavimento, o comunque all'altezza dell'orecchio dell'operatore

Grandezze da determinare

Si assume come grandezza prioritaria da determinare il livello di pressione sonora equivalente ponderato A: L_{Aeq} .

In dipendenza da eventuali particolari caratteristiche di emissione (componenti tonali, componenti impulsive, ecc.) ed in accordo con la committenza, potranno essere determinate, in aggiunta o in alternativa, le seguenti grandezze.

- Livello equivalente di pressione sonora in bande di frequenza di ottava o 1/3 d'ottava.
- Livello sonoro impulsivo misurato come L_{peak} (per cabine atte alla riduzione dei livelli di esposizione di picco dei lavoratori ai sensi del D.lgs. 81/08).

L'intervallo di frequenze per bande di 1/3 di ottava deve essere compreso almeno tra 100 Hz e 5000 Hz e per le bande di ottava almeno tra 125 Hz e 4000 Hz.

Determinazione del grado di isolamento della pressione sonora

L' "isolamento della pressione sonora" ottenuto dalla cabina è determinato come:

$$D_p = (L_p)_{camera} - (L_p)_{cabina} \quad \text{dB}$$

dove:

- $(L_p)_{camera}$ è il livello medio di pressione sonora in bande di terzo di ottava o bande di ottava nel locale di prova;
- $(L_p)_{cabina}$ è il livello medio di pressione sonora in bande di terzo di ottava o bande di ottava all'interno della cabina.

L' "isolamento della pressione sonora ponderato A" è dato da:

$$D_{PA} = (L_{PA})_{camera} - (L_{PA})_{cabina} \quad \text{dB(A)}$$

dove:

- $(L_{PA})_{camera}$ è il livello medio di pressione sonora ponderato A del rumore ambientale reale nel locale di prova;
- $(L_{PA})_{cabina}$ è il livello medio di pressione sonora ponderato A all'interno della cabina

Scheda 25.6

Requisiti acustici passivi degli edifici

Scopo della presente procedura è quello di fornire a tutti gli operatori del settore dei metodi pratici semplificati per la misurazione in opera dei requisiti acustici passivi degli edifici. Si precisa che la procedura qui descritta è stata elaborata in coerenza con le normative di riferimento più aggiornate.

Questa procedura stabilisce, a seconda degli elementi dell'edificio da esaminare, diversi metodi per la determinazione della capacità di isolamento acustico.

Possiamo dividere l'analisi delle proprietà isolanti come segue.

- Pareti interne, pavimenti e porte il metodo è usato per stabilire l'isolamento tra pareti interne e la protezione fornita agli occupanti dell'edificio.
- Rumori da calpestio di solai, si utilizza un generatore normalizzato di calpestio, il metodo è applicabile sia a solai nudi, sia a pavimentazioni con rivestimenti.
- Elementi di facciata e di intere facciate - metodi degli elementi e metodi globali, con il metodo degli elementi si riesce a stimare il potere fonoisolante di un elemento di facciata mentre il metodo globale ha lo scopo di stimare la differenza tra esterno-interno, per tutti e due i metodi si può utilizzare come sorgente di rumore sia un altoparlante, sia il rumore da traffico disponibile in loco.

Procedimento di prova

1. Pareti interne, pavimenti e porte

Condizioni di prova

Se gli ambienti sono di volumi differenti, si dovrebbe scegliere il più ampio come ambiente emittente se nessuna procedura è stata concordata prima.

Le misurazioni devono essere fatte in bande di terzi di ottava e tra ambienti con forma identica e di uguali dimensioni e dovrebbero avvenire con oggetti diffondenti il suono in ogni ambiente, di norma sono sufficienti a garantire la giusta diffusione tre o quattro oggetti nella stanza.

Apparecchiatura di prova e misurazione

Deve essere costituita da:

Sorgente sonora campione: il suono generato nell'ambiente emittente deve essere costante e avere uno spettro continuo nella gamma di frequenza considerata, se vengono impiegati dei filtri o rumore a larga banda lo spettro del suono nell'ambiente emittente non deve presentare differenze di livello maggiori di 6 dB tra bande adiacenti di terzo di ottava, inoltre la potenza sonora dovrebbe essere tale da ottenere nell'ambiente ricevente un livello di pressio-

ne sonora maggiore di almeno 10 dB rispetto al rumore di fondo in qualsiasi banda di frequenza.

Sorgente sonora campione di rumore rosa formata da un generatore associato ad un amplificatore di potenza idonea e da un altoparlante o da un sistema di altoparlanti (ad es. a dodecaedro).

La norma vieta espressamente l'utilizzo di sorgenti multiple emittenti il medesimo segnale in fase, in modo da evitare che i differenti tempi di arrivo del segnale creino esaltazioni o attenuazioni di determinate bande di frequenza.

Fonometro o fonometro integratore (possibilmente di classe 1) dotato di filtri per bande di ottava o terzo di ottava associato ad un registratore su carta o su memoria oppure, preferibilmente, ad un analizzatore di spettro in tempo reale, il tutto conforme alle CEI EN 61672-1:2003, CEI EN 61672-2:2004 e CEI EN 61260/A1:2002.

Per la successiva analisi di tali parametri è anche possibile utilizzare un sistema di registrazione, come DAT o computer con scheda audio, purché detto sistema abbia una dinamica di almeno 50 dB

Esecuzione della prova

Posizionamento della sorgente.

La sorgente andrà collocata in modo tale da generare un suono più diffuso possibile e ad una distanza opportuna, dalla parete di separazione e dagli elementi dell'ambiente che possono influenzare la prova, affinché la radiazione proveniente dalla sorgente non sia dominante sulla superficie delle pareti, del pavimento o del soffitto che contribuiscono alla trasmissione sonora. Assicurarsi che le posizioni dei microfoni siano fuori dal campo sonoro della sorgente con una distanza minima (usando una sorgente tipo dodecaedro) di 1m tra microfono e sorgente.

La sorgente andrà posizionata tenendo conto delle indicazioni di seguito riportate:

- La distanza tra le diverse posizioni occupate dalla sorgente non deve essere minore di 0,7m.
- Almeno due posizioni devono essere a una distanza non minore di 1,4 m.
- La distanza tra le pareti dell'ambiente e il centro della sorgente non deve essere minore di 0,5m.

Per controllare che la radiazione della sorgente sia omnidirezionale, misurare i livelli di pressione sonora intorno alla sorgente in condizioni di campo libero ad una distanza di 1,5 m.

Posizionamento del microfono.

Il livello medio di pressione sonora andrà determinato utilizzando un microfono singolo spostato da una posizione alla successiva oppure una serie di microfoni, si può anche utilizzare il metodo basato su un microfono a movimento continuo, i livelli di pressione sonora nelle diverse posizioni andranno mediati su base energetica.

Il microfono andrà posizionato rispettando dei valori minimi di separazione (se possibile usare valori di separazione maggiori):

- 0,7 m tra le posizioni dei microfoni;
- 0,5 m tra ciascuna posizione di microfono e le pareti dell'ambiente o i diffusori (per esempio tavole,mobili);
- 1,0 m tra ciascuna posizione di microfono e la sorgente sonora.

Se si utilizzano posizioni fisse del microfono, esse devono essere almeno nel numero di cinque in ciascun ambiente e uniformemente distribuite, se invece viene utilizzato il metodo del microfono mobile, la traiettoria del microfono deve, avere un raggio di almeno 0,7 m, essere

inclinata in modo da coprire una vasta area dello spazio risultando allo stesso tempo lontana da possibili disturbi derivanti da diffusori, e avente un periodo di durata non inferiore a 15 s. Sempre nel caso di posizioni del microfono fisse, utilizzando una singola sorgente sonora, il numero minimo di misure è dieci, mentre utilizzando una sorgente sonora multipla il numero minimo di misure è cinque, laddove si utilizzi microfono mobile e sorgente multipla il numero minimo delle misure è uno.

Le misurazioni saranno effettuate impiegando filtri di banda di terzo di ottava almeno negli intervalli di banda 125 - 4.000 Hz (se in banda di 1 ottava), o 100 - 5.000 Hz (se in banda di 1/3 di ottava) laddove servano informazioni nelle gamme di basse frequenze impiegare filtri di 1/3 ottava negli intervalli di banda 50 - 5000 Hz.

Devono essere inoltre effettuate misurazioni del rumore di fondo per assicurare che le rilevazioni nell'ambiente ricevente non siano influenzate da rumori esterni, il livello del rumore di fondo deve essere minore di almeno 6 dB rispetto al livello combinato del segnale e del rumore di fondo.

Grandezze da determinare

Ai fini della presente procedura, la grandezza prioritaria da determinare che descrive il comportamento acustico di una parete divisoria con tutte le modalità realizzative e i materiali presenti è l'isolamento acustico D , di seguito verranno determinati l'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, D_n , l'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, D_{nT} e il potere fonoisolante apparente R' .

- Determinazione dell'isolamento acustico, D
L'isolamento acustico è la differenza, in decibel, tra i le medie dei livelli di pressione sonora prodotti nei due ambienti da una o più sorgenti poste in essi e sarà definito come:

$$D = L_1 - L_2 \quad [dB]$$

L_1 è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente emittente

L_2 è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente.

- Determinazione del potere fonoisolante apparente R'
Per il calcolo del Potere fonoisolante apparente R' è necessaria la valutazione dell'area equivalente di assorbimento acustico determinata attraverso il tempo di riverberazione misurato in conformità con la UNI EN ISO 354:2010, utilizzando la formula di Sabine:

$$A = \left(\frac{0,16V}{T_{60}} \right)$$

dove:

A è l'area equivalente di assorbimento acustico, in m^2 ;

V è il volume dell'ambiente, in m^3 ;

T_{60} è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente, in secondi

Di seguito il potere fonoisolante apparente R' sarà determinato come:

$$R' = D + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad [dB]$$

dove:

S è la superficie del divisorio [m^2];

A è l'area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente [m^2]

In generale, la potenza sonora trasmessa nell'ambiente ricevente è la somma di diverse componenti, il calcolo di R' sopra esposto è attuabile se si è in presenza di campi sonori sufficientemente diffusi nei due ambienti e prende in considerazione tutta la potenza sonora che arriva nell'ambiente ricevente e non solo quella che attraversa l'elemento che si sta valutando sopra esposto.

- Determinazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, D_n ,

$$D_n = D - 10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad [dB]$$

dove:

D è l'isolamento acustico in decibel;

A è l'area equivalente di assorbimento acustico nell'ambiente ricevente, espressa in metri quadri;

A_0 è l'area equivalente di assorbimento acustico in metri quadri (per ambienti in abitazioni o di dimensioni confrontabili $A_0 = 10 \text{ m}^2$)

- Determinazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, D_{nT} :

$$D_{nT} = D + 10 \lg \left(\frac{T_{60}}{T_0} \right) \quad [dB]$$

dove:

D è l'isolamento acustico in decibel;

T_{60} è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente;

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento; per le abitazioni $T_0 = 0,5 \text{ s}$

Le grandezze individuate sopra sono necessarie per la stima dell'indice di valutazione $D_n(f)$ o $D_{nT}(f)$, determinato seguendo la UNI EN ISO 717-2:2007.

2. Rumori da calpestio di solai

Condizioni di prova

Per rumori impattivi si intendono quelli causati dalla caduta di oggetti sul pavimento, dai passi delle persone, si tratta cioè di rumori trasmessi per via strutturale e che interessano il complesso pavimento-solaio. Il requisito acustico che caratterizza il comportamento di questi componenti edilizi nei confronti dei rumori impattivi è il *livello di rumore di calpestio* (L_n), la prestazione viene valutata attraverso la misura del livello di pressione sonora nell'ambiente sottostante quando sul pavimento sottostante agisce una macchina normalizzata generatrice di rumori impattivi.

La misurazione dell'isolamento acustico da calpestio di solai deve essere eseguita in bande di terzo di ottava a meno che non venga concordato di eseguirla in bande di ottava.

Apparecchiatura di prova e misurazione

Deve essere costituita da:

Sorgente sonora campione: Il rumore di calpestio generato nell'ambiente emittente deve essere prodotto dal generatore di calpestio normalizzato. per i requisiti del generatore fare riferimento all'appendice A della UNI EN ISO 140-4: 2010.

Il generatore di calpestio deve essere posto in almeno quattro posizioni diverse scelte a caso sul pavimento sottoposto a prova e se si è in presenza di una superficie di prova ricoperta con rivestimento soffice o altamente disuniforme, si possono usare dei distanziatori sotto i supporti per assicurare un'altezza di caduta di 40 mm.

Fonometro o fonometro integratore (possibilmente di classe 1) dotato di filtri per bande di ottava o terzo di ottava associato ad un *registratore* su carta o su memoria oppure, preferibilmente, ad un *analizzatore di spettro* in tempo reale, il tutto conforme alle CEI EN 61672-1:2003, CEI EN 61672-2:2004 e CEI EN 61260/A1:2002.

Per la successiva analisi di tali parametri è anche possibile utilizzare un sistema di registrazione, come DAT o computer con scheda audio, purché detto sistema abbia una dinamica di almeno 50 dB.

Esecuzione della prova

Posizionamento della sorgente.

Il generatore andrà collocato tenendo presente che la distanza minima fra la macchina e il bordo del pavimento deve essere di 0,5 m, e nel caso di strutture portanti non omogenee (solai nervati, misti, ecc.) possono rendersi necessarie più posizioni.

La linea congiungente i martelli dovrebbe essere orientata a 45° rispetto all'asse delle travi.

Posizionamento del microfono.

Il livello medio di pressione sonora andrà determinato utilizzando un microfono singolo spostato da una posizione alla successiva oppure una serie di microfoni in posizioni fisse, si può anche utilizzare il metodo basato su un microfono a movimento continuo, i livelli di pressione sonora nelle diverse posizioni andranno mediati su base energetica.

Il microfono andrà posizionato rispettando dei valori minimi di separazione (se possibile usare valori di separazione maggiori):

- 0,7 m tra le posizioni dei microfoni;
- 0,5 m tra ciascuna posizione di microfono e le pareti dell'ambiente o i diffusori (per esempio tavole, mobili)
- 1,0 m tra ciascuna posizione di microfono e il solaio superiore eccitato dal generatore di calpestio.

Se si utilizzano posizioni fisse del microfono, esse devono essere almeno nel numero di quattro in ciascun ambiente e uniformemente distribuite, se invece viene utilizzato il metodo del microfono mobile, la traiettoria del microfono deve, avere un raggio di almeno 0,7 m, essere inclinata in modo da coprire una vasta area dello spazio risultando allo stesso tempo lontana da possibili disturbi derivanti da diffusori, e avente un periodo di durata non inferiore a 15 s. Qualora si utilizzino posizioni del microfono fisse, il numero minimo di misurazioni è sei, rispettando una combinazione di almeno quattro posizioni del microfono e almeno quattro posizioni del generatore di calpestio, laddove si utilizzi microfono mobile il numero minimo di misurazioni è quattro. Anche se la norma non specifica alcunché a riguardo si consiglia di

variare l'altezza del microfono di misura tra 1 m e 2 m dal suolo, evitando l'altezza standard di 1,5 m poiché a tale quota è possibile che si vengano a trovare nodi e ventri di tutte le onde stazionarie.

Le misurazioni saranno effettuate impiegando filtri di banda di terzo di ottava almeno negli intervalli di banda 125 - 4.000 Hz (se in banda di 1 ottava), o 100 - 5.000 Hz (se in banda di 1/3 di ottava) allorché servano informazioni nelle gamme di basse frequenze impiegare filtri di 1/3 ottava negli intervalli di banda 50 - 5000 Hz.

Grandezze da determinare

Ai fini della presente procedura, la grandezza prioritaria da determinare è il Livello di pressione sonora di calpestio, L_i , al fine di stimare il comportamento di un pavimento vanno determinati il livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, L'_n , il livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, L'_{nT} e l'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio, $\Delta L'$, la grandezza che descrive il comportamento acustico di rivestimenti di pavimento.

Determinazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, L'_n

$$L'_n = L_i + 10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad [dB]$$

dove:

L_i è il livello di pressione sonora di calpestio;

A è l'area equivalente di assorbimento acustico nell'ambiente ricevente in m^2 ;

A_0 è l'area equivalente di assorbimento acustico in metri quadri m^2 , per ambienti in abitazioni o di dimensioni confrontabili $A_0 = 10 m^2$;

Determinazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, L'_{nT}

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg \left(\frac{T_{60}}{T_0} \right) \quad [dB]$$

dove:

L_i è il livello di pressione sonora di calpestio

T_{60} è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente;

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento; per le abitazioni $T_0 = 0,5 s$

Le grandezze individuate sopra sono necessarie per la stima dell'indice di valutazione $L'_n(f)$ o $L'_{nT}(f)$, determinato seguendo la UNI EN ISO 717-2:2007.

3. Elementi di facciata e intere facciate

Condizioni di prova

Il procedimento specifica che per tutti e due i metodi è possibile usare sia un altoparlante

come sorgente sonora esterna, sia il rumore da traffico disponibile in loco, le differenze di scelta tra l'uso del metodo degli elementi e l'uso del metodo globale è nella grandezza finale che si andrà a determinare, con il metodo degli elementi si stima, ed è più accurato, *il potere fonoisolante* (grandezza finale) di un elemento di facciata, per esempio una finestra, mentre con i metodi globali si stima l'attenuazione (grandezza finale) sonora di una facciata.

Apparecchiatura di prova e misurazione

Sorgente: il suono generato dall'altoparlante deve essere costante e avere uno spettro continuo nella gamma di frequenza considerata, se le misure sono effettuate in bande di terzi di ottava, devono essere usate almeno le bande con frequenza centrale da 100 Hz a 3150 Hz, preferibilmente da 50 Hz a 5000Hz, se invece si misura in bande di ottava devono essere usate almeno le bande con frequenza centrale da 125 Hz a 2000 Hz, preferibilmente da 63 a 4000 Hz, inoltre la potenza sonora dovrebbe essere tale da ottenere nell'ambiente ricevente un livello di pressione sonora maggiore di almeno 6 dB rispetto al rumore di fondo in qualsiasi banda di frequenza .

Rumore da traffico: La durata della misurazione deve contenere almeno 50 passaggi di veicoli e durante le misurazioni il rumore di fondo nell'ambiente ricevente deve essere almeno di 10 dB minore del livello equivalente di pressione sonora misurato.

Fonometro di classe 1 dotato di filtri per bande di ottava o terzo di ottava associato ad un registratore su carta o su memoria oppure ad un analizzatore di spettro in tempo reale, il tutto conforme alle CEI EN 61672-1:2003, CEI EN 61672-2:2004 e CEI EN 61260/A1:2002.

Per la successiva analisi di tali parametri è anche possibile utilizzare un sistema di registrazione, come DAT o computer con scheda audio, purché detto sistema abbia una dinamica di almeno 50 dB

Esecuzione della prova

Posizionamento della sorgente: (altoparlante).

La sorgente andrà collocata in una o più posizioni fuori dall'edificio a terra e ad una distanza d' dalla facciata con un angolo di incidenza del suono di $45^\circ \pm 5^\circ$ la distanza r tra la sorgente sonora e il centro del provino deve essere almeno 5 m per il metodo degli elementi e almeno 7 m per il metodo globale (vedere figura 1 della UNI EN ISO 140-5: 2007).

Posizionamento del microfono nell'ambiente ricevente.

Il livello medio di pressione sonora andrà determinato utilizzando un microfono singolo spostato da una posizione alla successiva oppure una serie di microfoni, si può anche utilizzare il metodo basato su un microfono a movimento continuo, i livelli di pressione sonora nelle diverse posizioni andranno mediati su base energetica, in aggiunta, determinare il livello del rumore di fondo.

Il microfono andrà posizionato rispettando dei valori minimi di separazione (se possibile usare valori di separazione maggiori)

- 0,7 m tra le posizioni dei microfoni;
- 0,5 m tra ciascuna posizione di microfono e le pareti dell'ambiente o i diffusori (per esempio tavole,mobili)
- 1,0 m tra ciascuna posizione di microfono e la sorgente sonora.

Se si utilizzano posizioni fisse del microfono, esse devono essere almeno nel numero di cinque in ciascun ambiente e uniformemente distribuite,

se invece viene utilizzato il metodo del microfono mobile, la traiettoria del microfono deve, avere un raggio di almeno 0,7 m, essere inclinata in modo da coprire una vasta area dello

spazio risultando allo stesso tempo lontana da possibili disturbi derivanti da diffusori, e avvenire un periodo di durata non inferiore a 15 s.

Le misurazioni saranno effettuate impiegando filtri di banda di terzo di ottava che devono rispettare i requisiti della IEC 60942

Grandezze da determinare

Ai fini della presente procedura, la grandezze che si andranno a determinare sono il livello medio di pressione sonora su una superficie di prova $L_{1,s}$, e il livello medio di pressione sonora all'esterno a 2m dalla facciata $L_{1,2m}$.

In base poi alla scelta del metodo e della tipologia di sorgente di rumore che si intende usare verranno determinati, il potere fonoisolante apparente R'_{45° , il potere fonoisolante apparente $R'_{tr,s}$, l'isolamento acustico, D_{2m} , l'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT}$ e l'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, $D_{2m,n}$.

- Determinazione del livello medio di pressione sonora su una superficie di prova $L_{1,s}$
Effettuare le misure con il microfono fissato direttamente sul provino con l'asse parallelo al piano della facciata e rivolto verso l'alto o il basso, la distanza dal provino al centro della membrana del microfono deve essere di 10 mm o minore, in base al diametro del microfono, se l'asse del microfono è parallelo alla superficie di prova, e 3mm o minore se l'asse è normale alla superficie del provino, il microfono deve essere equipaggiato con uno schermo antivento emisferico. Si sceglieranno tra 3 e 10 posizioni di misura che andranno distribuite sulla superficie da misurare asimmetricamente, è opportuno cominciare da 3 posizioni di misura ($n=3$), se la differenza di livello di pressione sonora tra due posizioni in una banda di frequenza è maggiore di n , aumentare il numero di posizioni di misurazioni fino a 10, allo stesso modo usare sempre 10 posizioni se il provino è montato in una rientranza della facciata, inoltre se la differenza dei livelli di pressione tra le posizioni di misura è maggiore di 10 dB, deve essere riportato nel resoconto della prova.

Il livello $L_{1,s}$ si determina come la media delle n posizioni:

$$L_{1,s}: 10 \lg (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) - 10 \lg (n) \quad [\text{dB}]$$

dove L_1, L_2, \dots, L_n , sono i livelli nelle posizioni 1,2,...,n.

- Determinazione del livello medio di pressione sonora all'esterno a 2m dalla facciata $L_{1,2m}$.
Posizionare il microfono all'esterno a metà della larghezza della facciata a $2,0 \pm 0,2$ m dal piano della facciata o 1,0 m da un'eventuale balaustra o altre simili sporgenze, l'altezza del microfono deve essere 1,5 m al di sopra del pavimento dell'ambiente ricevente, se la stanza è molto grande o se ha più di un muro esterno, usare diverse posizioni della sorgente.
- Determinazione del potere fonoisolante apparente R'_{45°

$$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right) - 1,5 \quad [\text{dB}]$$

dove:

$L_{1,s}$ è il livello medio di pressione sonora sulla intera superficie di misura;

L_2 è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente;
 S è la superficie del provino;
 A è l'area equivalente di assorbimento acustico nell'ambiente ricevente

- Determinazione del potere fonoisolante apparente $R'_{tr,s}$,

$$R'_{tr,s} = L_{1,s} - L_2 + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right) - 3$$

dove:

$L_{1,s}$ è il livello medio di pressione sonora sulla intera superficie di misura;
 L_2 è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente;
 S è la superficie del provino;
 A è l'area equivalente di assorbimento acustico nell'ambiente ricevente.

- Determinazione dell'isolamento acustico, D_{2m} ,

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad [\text{dB}]$$

dove:

$L_{1,2m}$ è il livello medio di pressione sonora all'esterno, 2 m davanti alla facciata;
 L_2 è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente.

- Determinazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT}$

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad [\text{dB}]$$

Dove:

$L_{1,2m}$ è il livello medio di pressione sonora all'esterno, 2 m davanti alla facciata;
 L_2 è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente.
 $T_0 = 0.5 \text{ s}$

- Determinazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, $D_{2m,n}$

$$D_{2m,n} = D_{2m} - 10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad [\text{dB}]$$

Dove:

D_{2m} è il livello medio di pressione sonora all'esterno, 2 m davanti alla facciata;
 $A_0 = 10 \text{ m}^2$;

Le grandezze individuate sopra sono necessarie per la stima dell'indice di valutazione $D_n(f)$ o $D_{nT}(f)$, determinato seguendo la UNI EN ISO 717-2:2007.

Scheda 25.7

Impianti di climatizzazione e ventilazione

Scopo della presente procedura è quello di fornire a tutti gli operatori del settore dei metodi pratici semplificati per la misurazione in opera della rumorosità dovuta ad impianti di climatizzazione e ventilazione. Si precisa che la procedura qui descritta è stata elaborata in coerenza con le normative di riferimento più aggiornate.

Questa procedura stabilisce, diversi metodi per la determinazione della rumorosità immessa dagli impianti all'interno degli ambienti dell'edificio, descritta dal parametro denominato Livello corretto del rumore di impianto, L_{ic} .

Condizioni di prova

Le condizioni di funzionamento dell'impianto dovranno essere compatibili con i parametri di progetto compresi i transitori e gli avviamenti.

La rumorosità di un impianto è di solito, caratterizzata da una fase di avviamento, seguita da una o più fasi di regime; è possibile al fine di individuare il modo di funzionamento che provoca la massima rumorosità di regime considerare il funzionamento a pieno carico o parzializzato.

Le prove andranno effettuate in presenza di minima influenza del livello di rumore residuo e, ove possibile, si dovranno escludere quelle sorgenti che contribuiscono ad elevare il livello di rumore residuo, specialmente se fluttuante.

Apparecchiatura di prova e misurazione

Fonometro o fonometro integratore (possibilmente di classe 1) dotato di filtri per bande di ottava o terzo di ottava associato ad un registratore su carta o su memoria oppure, preferibilmente, ad un analizzatore di spettro in tempo reale, il tutto conforme alle CEI EN 61672-1:2003, CEI EN 61672-2:2004 e CEI EN 61260/A1:2002.

Per la successiva analisi di tali parametri è anche possibile utilizzare un sistema di registrazione, come DAT o computer con scheda audio, purché detto sistema abbia una dinamica di almeno 50 dB

Posizioni di misura

Le posizioni microfoniche utilizzate per le misurazioni sono legate alle dimensioni degli ambienti e alla posizione degli utilizzatori, le misure andranno eseguite tenendo conto delle indicazioni di seguito riportate e comunque posizionando sempre il microfono ad una distanza di almeno 1 m da pareti e superfici riflettenti e ad un'altezza compresa tra 1,2 e 1,5 m.

- Condizione A. Presenza di ambienti di piccole dimensioni, con superficie in pianta minore di 20m², posizionare il microfono nella zona centrale del locale.
- Condizione B. Presenza di ambienti di medie dimensioni, con superficie in pianta maggio-

ri di 20m², nei quali è ben individuata la posizione degli utilizzatori, effettuare misurazioni in più punti, in corrispondenza delle posizioni degli utilizzatori.

- Condizione C. Presenza di ambienti di medie dimensioni, con superficie in pianta maggiori di 20m², ove non è ben individuata la posizione degli utilizzatori, effettuare misurazioni in almeno 5 punti regolarmente disposti in pianta.

Grandezze da determinare

Ai fini della presente procedura, le grandezze prioritarie da determinare in ciascuna posizione sono costituite dal Livello di rumore ambientale (L_a) e dal Livello di rumore residuo (L_r). In dipendenza da eventuali particolari caratteristiche di emissione (componenti tonali, componenti impulsive) ed in accordo con il Committente, potranno essere determinate le seguenti altre grandezze.

- Livello equivalente di pressione sonora in bande di frequenza di 1 ottava o di 1/3 d'ottava (L_p)
- Livello sonoro impulsivo misurato come $L_{pAS\ Max}$ (per interventi utili alla riduzione dell'inquinamento verso l'esterno)
- Livello sonoro impulsivo misurato come L_{pPeak} (per interventi atti alla riduzione dei livelli di esposizione dei lavoratori)

La determinazione del Livello di rumore ambientale (L_a) è legata alla classificazione degli ambienti in base ai criteri sopra esposti, più in particolare: se siamo in presenza di Condizioni A, L_a viene determinato direttamente tramite un'unica misura a centro ambiente; se ci troviamo nelle Condizioni B, il valore da considerare come L_a sarà pari al valore massimo dei livelli sonori rilevati in corrispondenza delle postazioni occupate dagli utilizzatori; se infine è presente la Condizione C, il livello di rumore ambientale L_a è dato dal livello di rumore medio dell'ambiente (L_{am}). Il Livello di rumore residuo (L_r) per tutte le tre classificazioni, dovrà essere misurato, per ogni ambiente, in almeno una posizione in cui è stato rilevato (L_a).

Qualora si verifichi la presenza di componenti impulsive/tonali nel rumore ambientale, si deve verificare che non siano imputabili al rumore residuo.

La misura dei livelli sonori (L_a) e (L_r), deve essere eseguita in ambienti finiti e arredati.

Determinazione del Livello di rumore d'impianto, L_i

$$L_i = L_a \quad \text{se } L_i - L_a \geq 10 \text{ dB}$$

$$L_i = 10 \lg (10^{L_a/10} - 10^{L_r/10}) \quad \text{se } 6 \text{ dB (A)} < L_a - L_r < 10 \text{ dB}$$

$$L_i = L_a - 1.6 \text{ dB (A)} \quad \text{se } L_a - L_r \leq 6 \text{ dB}$$

Il livello del rumore d'impianto deve essere corretto per un fattore K nei casi di :

presenza di componenti tonali	$K_i = + 3\text{dB}$
presenza di componenti impulsive	$K_i = + 3\text{dB}$
ambienti non arredati	$K_r = - 10 \lg T_{60} / T_o \text{ dB}$

In tal caso, il Livello di rumore d'impianto corretto, L_c , sarà dato dalla relazione:

$$L_c = L + K_f + K_i + K_r$$

Per quanto riguarda i parametri che compaiono nel fattore di correzione K_r per ambienti non arredati, si ricorda che:

T_{60} = Tempo di riverberazione a 1000 Hz

T_0 = Tempo di riverberazione di riferimento in funzione del volume del locale, ricavabile secondo il seguente prospetto, a seconda del valore del volume dell'ambiente:

$$V \leq 100 \text{ m}^3$$

$$T_0 = 0,5 \text{ s}$$

$$100 < V < 2500 \text{ m}^3$$

$$T_0 = t_0 \sqrt{V/V_0} \text{ con } t_0 = 1 \text{ s e } V_0 = 400 \text{ m}^3$$

$$V \geq 2500 \text{ m}^3$$

$$T_0 = 2,5 \text{ s}$$

Scheda 26**Modulistica per la raccolta di informazioni acustiche sui nuovi insediamenti produttivi o sulla loro ristrutturazione**

In questa Scheda è esposto un modello per la raccolta informazioni in vista di un nuovo insediamento o una ristrutturazione di un luogo di lavoro con problemi di rumorosità. A livello indicativo si suggerisce di limitare l'utilizzo della Scheda ai progetti che coinvolgono luoghi di lavoro in cui operano lavoratori con LEX superiore ad 85 dB(A) o con LCpicco superiore a 137 dB(C).

La Scheda, affidata alla compilazione del Datore di Lavoro e del personale competente da lui incaricato, può essere utilizzata dagli Sportelli Unici o direttamente dai Servizi delle ASL. Indirettamente vengono delineate le attenzioni al problema acustico che devono essere presenti nelle aziende in fase di progettazione dei posti di lavoro.

Requisiti acustici per la progettazione e ristrutturazione degli ambienti di lavoro ai fini della riduzione del rischio rumore da compilare per i reparti/locali con lavoratori che presentano livelli di esposizione a rumore (LEX) superiori ad 85 dBA.

- 1) Anagrafica del richiedente (se non già presente nella pratica) e del personale competente (consulente per le valutazioni acustiche richieste in questa Scheda)

Il sottoscritto Cognome _____ Nome _____
 Tel. _____ cell. _____ Fax _____
 E-mail _____
 denominazione o ragione sociale _____
 con sede legale _____
 Tel. _____ Fax _____ E-mail _____

Il sottoscritto comunica di essersi avvalso in qualità di personale qualificato per le valutazioni acustiche di questa Scheda:

Cognome _____ Nome _____
 Data di nascita ___/___/___ Luogo di nascita _____ Prov. _____
 Nr. Iscrizione _____ all'Ordine Professionale degli _____
 della Provincia di _____; eventuale ed ulteriore
 abilitazione specifica: _____

Ditta/Studio: _____
 Tel. _____ Fax _____ Cell. _____
 E-mail _____ @ _____

Dichiara i seguenti dati relativi ai requisiti acustici degli ambienti di lavoro

2) L'Azienda

Impianto sito in _____ Via _____ n. _____
 Superficie totale dell'area m² _____ Superficie coperta m² _____ Cubatura _____ m³

Riportare la planimetria complessiva dell'azienda con il layout

3) Reparti/Locali con esposti a più di 80 dB(A)

Reparto/Locale 1

Denominazione _____ riferimento planimetria edificio _____
 Volumetria _____ m³ Caratteristiche fonoassorbenti del locale _____ T₆₀
 DL₂

Indicare:

- per tutte le macchine con L_{Aeq} > 70 dB(A): L_{pA} e, se pertinenti L_{wA} e L_{piccoC}
- per tutte le lavorazioni con L_{Aeq} > 80 dB(A): L_{Aeq}, durata max giornaliera e settimanale

Indicare le misure tecniche, organizzative e procedurali adottate e che si intendono adottare prima di avviare l'attività produttiva:

procedura (scritta) per l'acquisto di macchine meno rumorose (allegare)

cabine acustiche: indicare le macchine cabinate

schermi acustici (riportare in pianta la collocazione)
 silenziatori (indicare quanti e riportare in pianta la collocazione)
 trattamenti fonoassorbenti ambientali (indicare in pianta le aree trattate)
 cabine di riposo acustico: indicare quante, le loro dimensioni e dove sono collocate
 altre (descrivere)

Indicare i L_{EX} in dB(A) previsti per le diverse mansioni, a seguito degli interventi previsti

Riportare la mappa del rumore previsto nel Reparto/Locale

Reparto/Locale 2

... (ripetere lo Schema del Reparto 1)

Reparto/Locale n

...

_____ lì _____ (data)

FIRMA del legale rappresentante

Scheda 27

Riduzione dell'impatto acustico di stabilimenti industriali

Dato per acquisito che l'azienda in progettazione si avvarrà delle macchine, attrezzature e impianti che garantiscono i minori livelli di emissione sonora, la riduzione dell'impatto acustico dell'insediamento industriale sull'ambiente circostante richiede che vengano affrontati con particolare attenzione problemi quali:

- l'ubicazione dell'insediamento;
- la collocazione dello stabilimento, la logistica e la disposizione delle sorgenti interne;
- la disposizione delle sorgenti esterne;
- l'isolamento acustico.

27.1. Ubicazione dell'insediamento e aspetti normativi

La "Legge quadro sull'inquinamento acustico" n. 447 del 6 ottobre 1995³, all'articolo 8 ha introdotto l'obbligo di predisporre una documentazione di impatto acustico e/o una valutazione previsionale del clima acustico dei nuovi insediamenti produttivi.

La documentazione di impatto acustico deriva da una relazione acustica di impatto acustico prevista ai sensi del secondo comma dell'art. 8 della Legge 447/95. È un documento tecnico preventivo e consiste nella previsione degli effetti ambientali dal punto di vista acustico, in seguito alla realizzazione di interventi sul territorio quali:

- Aeroporti
- Strade
- Discoteche
- Circoli privati e pubblici esercizi ove sono installati macchinari o impianti rumorosi
- Impianti sportivi e ricreativi
- Ferrovie

al fine di valutarne la compatibilità con la situazione acustica esistente.

La valutazione previsionale del clima acustico, prevista ai sensi del terzo comma dell'art. 8 della Legge 447/95, deriva da una relazione acustica di clima acustico. È un documento tecnico preventivo atto a caratterizzare dal punto di vista acustico un'area sulla quale si prevede di realizzare attività suscettibili di particolare tutela, quali:

- Scuole e asili nido
- Ospedali, Case di cura e riposo
- Parchi pubblici

³ Il D.lgs. 194/2005 ha recepito la nuova direttiva 2002/49/CE sul rumore ambientale, ma di fatto ancora non ha modificato nulla della L.Q. 447/95 e dei decreti applicativi.

- Nuovi insediamenti residenziali prossimi a :
 - Aeroporti
 - Strade
 - Discoteche
 - Circoli privati e pubblici esercizi ove sono installati macchinari o impianti rumorosi
 - Impianti sportivi e ricreativi
 - Ferrovie

A questo proposito, il primo aspetto da considerare a livello progettuale è l'individuazione del clima acustico dell'area di insediamento e di quella circostante al fine del rispetto dei valori limite assoluti di emissione (misurati in prossimità delle sorgenti e in corrispondenza dei ricettori) e di immissione (misurati in prossimità dei ricettori) prescritti dalla vigente normativa e riportati in Tabella 27.1.

Tabella 27.1: Valori limite assoluti di immissione prescritti dall'art. 3 del D.P.C.M. 14/11/97

Classe di territorio		Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
I	aree particolarmente protette	50	40
II	aree prevalentemente residenziali	55	45
III	aree di tipo misto	60	50
IV	aree di intensa attività umana	65	55
V	aree prevalentemente industriali	70	60
VI	aree esclusivamente industriali	70	70

La valutazione di compatibilità acustica dell'insediamento dovrà fare riferimento al piano di zonizzazione acustica adottato dal Comune. Qualora questo piano non sia stato ancora approvato, si raccomanda di valutare la probabile classificazione che verrà adottata per l'area di insediamento e per le aree limitrofe, sulla base del piano regolatore comunale e della destinazione d'uso delle aree stesse. Ciò in quanto, come si evince dalla Tabella 27.2, non necessariamente i limiti provvisori di zona (tratti dall'art. 6 del D.P.C.M. 01/03/91) coincideranno con i limiti di zona valevoli a seguito dell'adozione da parte del Comune della zonizzazione acustica. In particolare va sottolineato che i limiti provvisori assegnati a "tutto il territorio nazionale", coincidendo con i limiti della classe V "aree prevalentemente industriali", risultano incompatibili con quelli delle aree a carattere residenziale (classe II) e a intensa attività umana (classe IV).

Tabella 27.2: Confronto tra classificazione acustica prescritta dalla vigente normativa e limiti provvisori applicabili in attesa che i Comuni provvedano alla zonizzazione acustica

Classe del territorio (art.3, D.P.C.M. 14/11/97)		Classificazione provvisoria (art.6, D.P.C.M. 01/03/91)	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
III	aree di tipo misto	zona B	60	50
IV	aree di intensa attività umana	zona A	65	55
V	aree prevalentemente industriali	tutto il territorio nazionale	70	60
VI	aree esclusivamente industriali	zona esclusivamente industriale	70	70

Si può quindi sintetizzare affermando che l'area per l'insediamento va scelta considerando:

- il piano di classificazione acustica comunale (approvato o previsto);
- i valori limite assoluti di immissione (fissati o prevedibili) per detta area e per le aree limitrofe;
- il rumore prodotto da eventuali altri insediamenti caratterizzanti acusticamente l'area in esame.

Il rumore emesso dallo stabilimento in via di realizzazione dovrà poi rispettare i limiti riportati nella Tabella 27.3. Detti limiti si applicano a tutte le aree del territorio circostanti l'insediamento in oggetto secondo la loro classificazione acustica.

Per tutte le aree, ad eccezione di quelle esclusivamente industriali, occorrerà inoltre prevedere il rispetto (nel funzionamento a regime) dei valori limite differenziali, definiti dallo stesso D.P.C.M. 14/11/97, che impongono che il rumore ambientale (complessivo) non superi il rumore residuo (presente durante la disattivazione della sorgente disturbante) di oltre 5 dB(A) in periodo diurno e di oltre 3 dB(A) in periodo notturno.

Nel valutare il rispetto dei limiti suddetti si dovrà infine porre attenzione alla presenza di eventuali caratteristiche impulsive, tonali o di bassa frequenza che, secondo lo stesso D.P.C.M. 14/11/97, penalizzano il rumore prodotto.

Come ultima annotazione si rammenta che i limiti di immissione e di emissione, misurati all'esterno delle abitazioni, riguardano l'intero periodo di riferimento (diurno 06-22, notturno 22-06), mentre i limiti differenziali, misurati all'interno delle abitazioni a finestre aperte e/o chiuse, si riferiscono ad un periodo rappresentativo del fenomeno in esame.

Tabella 27.3: Valori limite di emissione prescritti dalla vigente normativa (art. 2, D.P.C.M. 14/11/97)

Classe del territorio	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
I aree particolarmente protette	45	35
II aree prevalentemente residenziali	50	40
III aree di tipo misto	55	45
IV aree di intensa attività umana	60	50
V aree prevalentemente industriali	65	55
VI aree esclusivamente industriali	65	65

27.2. Collocazione dello stabilimento e disposizione delle sorgenti interne

Una volta che l'area per l'insediamento sia già definita, compatibilmente con i vincoli urbanistici è opportuno allontanare il più possibile lo stabilimento dai ricettori sensibili potenzialmente disturbati quali abitazioni, scuole, ospedali, altre aziende ecc. Ad esempio, se è prevista una palazzina uffici annessa allo stabilimento, questa può essere interposta tra lo stabilimento e i ricettori, come riportato nella Figura 27.1.

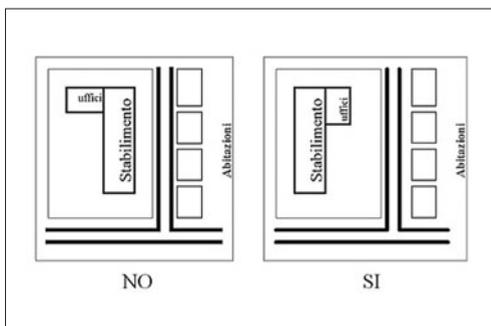


Figura 27.1: Interposizione della palazzina uffici tra lo stabilimento e le abitazioni.

Inoltre, anche se la modalità ottimale di controllo della propagazione acustica è di intervenire potenziando l'isolamento acustico degli involucri, in tutti i casi in cui questo è possibile, la distribuzione delle sorgenti all'interno dello stabilimento è opportuno venga realizzata in modo che l'impatto acustico verso i ricettori sia il più possibile contenuto: i reparti in cui si svolgeranno le attività più disturbanti (es.: martellamento) o in cui saranno installate le macchine più rumorose (es.: magli, presse, telai, ...) andranno più opportunamente collocati nella zona opposta a quella in cui si affacciano i ricettori. Tutto ciò a maggior ragione se si pensa di operare (anche parzialmente, nella stagione estiva o per la movimentazione dei materiali) con i portoni dello stabilimento aperti.

27.3. Disposizione delle sorgenti esterne

Per minimizzare le emissioni sonore, particolare attenzione va posta nella disposizione delle sorgenti di rumore all'esterno dello stabilimento.

Le sorgenti di tipo fisso (impianti di trattamento dell'aria, compressori, pompe, torri evaporative ecc.) vanno preferibilmente collocate il più lontano possibile dai ricettori prossimi (vedi Figura 27.2) ed il loro impatto acustico va valutato preventivamente sulla base di modelli matematici. Qualora queste previsioni evidenzino possibili superamenti dei valori limite (di immissione, di emissione, differenziali) occorrerà intervenire sulle sorgenti acquistando macchinari a bassa emissione sonora o intervenendo con adeguate bonifiche (schermi o barriere, silenzianti, ecc.).

Oltre alle sorgenti di tipo fisso, nella localizzazione e nell'orientamento dello stabilimento vanno considerate anche le attività svolte all'esterno che possono rappresentare importanti fonti di inquinamento acustico e principalmente:

- eventuali attività svolte all'aperto associate al ciclo produttivo (lavori di demolizione; collaudi, manutenzione e pulizia di macchinari e impianti; smerigliatura, martellatura ...);
- attività di movimentazione, carico, scarico, deposito di materie prime e rifiuti;
- traffico indotto.

Anche per tali attività andrà effettuata una valutazione preventiva di impatto acustico prevedendo eventualmente bonifiche acustiche, in accordo con quanto sopra esposto per le sorgenti fisse.

In Figura 27.3 è riportato un esempio di ottimizzazione delle vie d'accesso allo stabilimento.

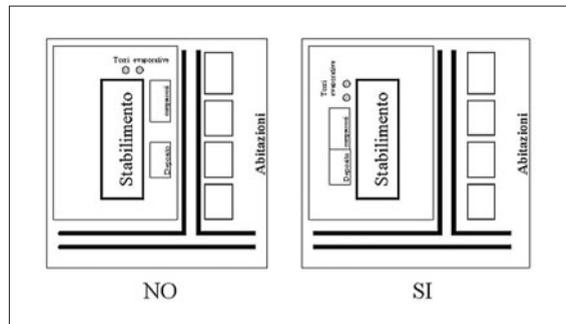


Figura 27.2: Esempio di interposizione dello stabilimento tra sorgenti fisse esterne e ricettori potenzialmente disturbati.

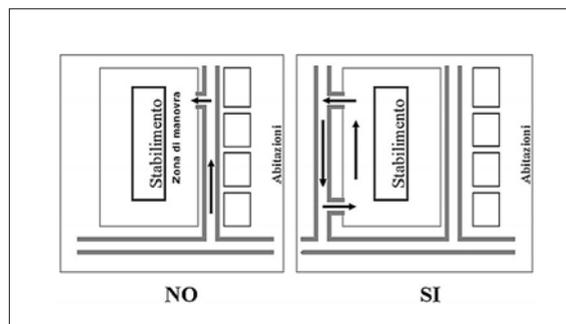


Figura 27.3: Esempio di pianificazione delle zone di manovra per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dal traffico indotto dalle attività industriali

27.4. Isolamento acustico

Nella normalità dei casi (insediamenti produttivi non eccessivamente rumorosi realizzati in lottizzazioni dedicate, circondati da aree acusticamente omogenee, nel rispetto delle distanze dai confini ...) l'isolamento acustico che deve essere fornito dagli involucri dell'edificio non dovrebbe presentare particolari esigenze progettuali.

Qualora, invece, gli involucri siano destinati ad ospitare lavorazioni molto rumorose e/o ci si trovi di fronte a situazioni di prossimità con ricettori particolarmente esigenti quanto a livelli di rumore, il controllo del rumore prodotto all'interno dell'ambiente di lavoro e immesso all'esterno richiede un'accurata progettazione esecutiva del fabbricato. Di seguito è riportata la metodologia da seguire.

- a) Identificazione dei valori acustici da rispettare in corrispondenza del confine e dei ricettori.
- b) Stima, mediante tecniche di previsione basate su calcolo numerico e modelli di simulazione al computer, dei livelli di rumorosità massima che si possono propagare dallo stabilimento.
- c) Conoscenza dei livelli di emissione dei macchinari installati.
- d) Scelta delle caratteristiche fonoisolanti e delle dimensioni dei materiali costruttivi e dei vari componenti edilizi (coperture, tamponamenti, porte, portoni, serramenti, ecc.). Tale scelta dei componenti è effettuata sulla base dei criteri di valutazione dell'isolamento acustico prescritti dalle norme di buona tecnica (la norma UNI EN 12354-4:2003, la UNI EN ISO 140-5:2000).
- e) Progettazione tale da impedire la creazione di ponti acustici e la trasmissione del suono per via solida verso l'esterno causata da aperture nell'edificio o da intercapedini comunicanti verso l'esterno o per inadeguatezza dei basamenti.

Per chi si avvicina per la prima volta al problema dell'isolamento acustico, come regole generali, va tenuto presente quanto segue.

- a) L'isolamento del rumore trasmesso per via aerea determinato da divisori a parete singola dipende essenzialmente dalla loro massa; in genere un raddoppio della massa comporta un incremento di isolamento di circa 6 dB.
- b) A parità di massa, le pareti doppie possono presentare, se adeguatamente progettate, un isolamento superiore di circa 10 dB rispetto a quello delle pareti singole. A questo proposito va individuata la distanza ottimale tra le due pareti, vanno evitati collegamenti rigidi tra le stesse e vanno inseriti adeguati pannelli fonoassorbenti nell'intercapedine risultante.
- c) Rispetto alle pareti, le porte e le finestre forniscono generalmente un minor isolamento acustico.
- d) Nella stima dell'isolamento acustico determinato dalle pareti si deve tenere conto del fatto che il rendimento effettivo è quasi sempre inferiore al rendimento intrinseco delle pareti utilizzate ricavato dai certificati di laboratorio, a causa della trasmissione sonora laterale.

Nella Sezione B2 del terzo livello è riportata una ampia rassegna dei materiali e tecnologie per il fonoisolamento.

Scheda 28**Modulistica per segnalazione di presunta non conformità ai RES da parte delle Asl**

....., li

prot. n°

Raccomandata A.R.

Al Ministero dello Sviluppo Economico
D.G.M.C.C.V.N.T. - Divisione XVIII Normativa Tecnica
Via Sallustiana, 53
00187 ROMA

Al Ministero del Lavoro e delle
Politiche Sociali
D.G. per le Attività Ispettive
Divisione III
Via Cesare De Lollis, 12
00185 ROMA

e, per conoscenza

All'Assessorato Sanità Servizio Prevenzione
Via
CAP..... Città

OGGETTO: Segnalazione di presunta non conformità ai requisiti essenziali di sicurezza della
macchina/quasi macchina
alla Direttiva:

- 98/37/CE
 2006/42/CE

ai sensi dell'art. 70 comma 4 del DLgs 81/2008

In allegato alla presente si trasmette la relazione di segnalazione di presunta non conformità ai requisiti essenziali di sicurezza, di cui all'allegato I alla sopra indicata Direttiva Comunitaria redatta da operatori dello scrivente Servizio.

Questa comunicazione viene inviata ai sensi degli articoli citati in oggetto affinché codesti Ministeri possano iniziare le procedure di accertamento previste dalla normativa.

Si resta in attesa di conoscere gli esiti degli accertamenti espletati e degli eventuali provvedimenti adottati.

Con l'occasione si porgono distinti saluti.

Il Responsabile del Servizio
(.....)

RELAZIONE DI ACCERTAMENTO DI PRESUNTA NON CONFORMITÀ
AI REQUISITI ESSENZIALI DI SICUREZZA

- della Direttiva 98/37/CE
- della Direttiva 2006/42/CE

DATI RELATIVI ALLA MACCHINA

MACCHINA (o "quasi macchina"):

MODELLO:

MATRICOLA O NUMERO DI SERIE

ANNO DI COSTRUZIONE:

LA MACCHINA RISULTA ANCORA IN PRODUZIONE NO non rilevabile
 SÌ

Data termine di produzione

COMPRESA NELL'ALLEGATO IV: NO SÌ

Se SÌ, la dichiarazione di conformità riporta i dati dell'Organismo notificato? NO SÌ

se SÌ indicare "l'Organismo di certificazione notificato":

ESEMPLARE UNICO NO SÌ

DATI RELATIVI AL FABBRICANTE

NOMINATIVO E RAGIONE SOCIALE

INDIRIZZO: via n° città (.....)

TELEFONO:

DATI RELATIVI AL MANDATARIO (se nominato)

NOMINATIVO E RAGIONE SOCIALE

INDIRIZZO: via n° città (.....)

TELEFONO:

PERSONA AUTORIZZATA A COSTITUIRE IL FASCICOLO TECNICO

NOMINATIVO

INDIRIZZO: via n° città (.....)

TELEFONO:

DATI IDENTIFICATIVI DI DOVE È STATA RINVENUTA

NOMINATIVO E RAGIONE SOCIALE

INDIRIZZO: via n° città (.....)

TELEFONO: DATA ACCERTAMENTO

DATI IDENTIFICATIVI DI CHI HA FATTO L'ACCERTAMENTO

ASL/ARPA SERVIZIO

INDIRIZZO: via n° città (.....)

TELEFONO: FAX

OPERATORE DA CONTATTARE PER EVENTUALI CHIARIMENTI:

ACCERTAMENTO COLLEGATO AD UN INFORTUNIO? NO SÌ

se SÌ, mortale:? NO SÌ

Informazioni sull'incidento:

Sede della lesione:

Agente:

Natura della lesione:

Gravità: _____ - giorni di inabilità temporanea assoluta 1° certificato medico _____

_____ - giorni totali di inabilità temporanea assoluta _____

DESCRIZIONE DELLA MACCHINA

.....

.....

.....

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLE SITUAZIONI DI PERICOLO

.....

.....

.....

SEGNALAZIONE DI PRESUNTA NON CONFORMITÀ

- La macchina è stata introdotta sul mercato in violazione alle procedure di immissione di cui al DPR 459/96 o al D.lgs. 17/2010 per i seguenti motivi:

.....

.....

- La macchina non è conforme ai seguenti requisiti essenziali di sicurezza:

- allegato punto in quanto

.....

- allegato punto in quanto

.....

PRESCRIZIONI/NOTIZIA DI REATO ADOTTATI NEI CONFRONTI DELL'UTILIZZATORE AI SENSI DEL D.lgs. 758/94:

Testo prescrizione e norme di legge violate:

.....

AI SENSI DELL'ART. 70 c. 4 D.lgs. 81/2008 e s.m.i. I PROVVEDIMENTI CONTRAVVENZIONALI NEI CONFRONTI DEL FABBRICANTE VERRANNO ADOTTATI QUALORA, ALLA CONCLUSIONE DELL'ACCERTAMENTO TECNICO EFFETTUATO DALL'AUTORITÀ NAZIONALE PER LA SORVEGLIANZA DEL MERCATO, RISULTI LA NON CONFORMITÀ DELL'ATTREZZATURA AD UNO O PIÙ REQUISITI ESSENZIALI DI SICUREZZA.

ALLEGATI:

- 1) Dichiarazione di conformità
- 2) Istruzioni per l'uso
- 3) Fotografie
- 4) Filmati (eventuali)

Note e istruzioni per la compilazione

Riquadro: dati relativi alla macchina

- 1) Nel caso in cui la non conformità, per macchine e componenti dell'allegato IV, riguardi il mancato coinvolgimento dell'organismo notificato o la sua mancata indicazione sulla dichiarazione di conformità effettuata questo controllo e comunicarne l'esito. Si rammenta che per le macchine soggette alla Direttiva 2006/42/CE, ai sensi dell'art. 9 comma 3 del D.lgs. 17/2010, se la macchina è fabbricata conformemente ad una o più norme armonizzate di tipo C, pubblicate sulla G.U.C.E., e nella misura in cui tali norme coprono tutti i pertinenti requisiti di sicurezza e di tutela della salute, il fabbricante o il suo mandatario non è tenuto a rivolgersi ad un organismo notificato, ma può applicare la procedura di valutazione della conformità con controllo interno sulla fabbricazione della macchina di cui all'allegato VIII. L'adozione di tale procedura può essere verificata rintracciando sulla dichiarazione CE di conformità gli estremi della/e norma/e armonizzata/e adottata/e.
L'elenco delle macchine riportato nell'allegato IV è esaustivo e non può riguardare prodotti assimilabili.
- 2) L'importanza dell'indicazione dell'organismo notificato per le macchine dell'allegato IV è legata alla successiva richiesta di INAIL (ex ISPESL) del fascicolo tecnico.
- 3) Ai fini di questa compilazione, per "esemplare unico" si intende:
 - Macchina costruita su specifiche dell'utilizzatore
 - Insieme di macchine e/o quasi macchine (impianti complessi, linee di produzione, ecc.)
 N.B.: nel caso in cui la presunta non conformità riguardi specificatamente una macchina (dotata di propria dichiarazione di conformità) dell'insieme, a prescindere dall'accoppiamento con le altre macchine si dovrà procedere redigendo due distinte segnalazioni di presunta non conformità, di cui una riferita alle macchine e una all'insieme di cui fa parte.
- 4) Per le segnalazioni riferite a macchine commercializzate sotto la Direttiva 98/37/CE è opportuno verificare se la macchina risulti ancora in produzione per consentire al Ministero dello Sviluppo Economico di estendere eventualmente il controllo anche alla produzione 2006/42/CE.

Riquadro: dati relativi al fabbricante

- 1) Per fabbricante si intende la persona fisica o giuridica che si assume la responsabilità giuridica della conformità delle macchine o delle quasi macchine ai fini dell'immissione sul mercato.

Riquadro: persona autorizzata a costituire il fascicolo tecnico

- 1) Da compilare solo per le macchine commercializzate sotto la Direttiva 2006/42/CE: nella dichiarazione CE di conformità, infatti, devono essere sempre indicati il nome e l'indirizzo della persona stabilita nell'UE autorizzata a compilare e rendere disponibile alle autorità di sorveglianza del mercato il fascicolo tecnico. L'indicazione del nome e indirizzo della persona autorizzata a costituire il fascicolo tecnico è finalizzata alla successiva eventuale richiesta di INAIL (ex ISPESL) del fascicolo tecnico.

Riquadro: dati relativi al /mandatario

Questa parte va compilata solo nel caso in cui il fabbricante ha nominato un mandatario all'interno della UE. Il fabbricante stabilito al di fuori dell'UE non è comunque obbligato a designare un mandatario: egli potrà assolvere a tutti i suoi obblighi direttamente. La possibilità di nominare un mandatario nell'UE è data ai fabbricanti di macchine o quasi-macchine, che siano o meno stabiliti nell'UE, per facilitare l'adempimento dei loro obblighi ai sensi della direttiva. Il mandatario deve ricevere mandato scritto dal fabbricante che specifichi espressamente quali degli adempimenti di cui all'articolo 5 della Direttiva 2006/42/CE gli sono affidati. Il ruolo del mandatario non va pertanto confuso con quello dell'agente commerciale o del distributore. Il mandatario, se firma la dichiarazione di conformità, deve risiedere all'interno della UE.

Riquadro: accertamento collegato ad un infortunio

- 1) Per "informazioni sull'infortunio" si intende una breve descrizione della lavorazione o della attività svolta al momento dell'infortunio (utilizzare 1° certificato infortunio INAIL);
- 2) La "sede della lesione" è la parte del corpo umano interessata dalla lesione (utilizzare codifiche INAIL);
- 3) Alla voce "agente" va identificato il tipo del mezzo lesivo che ha causato il danno (utilizzare codifiche INAIL);
- 4) La "natura della lesione" è la tipologia di lesione che ha provocato il danno (esempio: ferita da taglio, schiacciamento, fratture, lesioni da elettricità, ecc..) (utilizzare codifiche INAIL);
- 5) La "gravità dell'infortunio" va quantificata con i giorni di lavoro persi in totale a causa dell'infortunio stesso. In assenza del dato si inserisce la prognosi del primo certificato medico.

Punto: segnalazione di non conformità

- 1) È possibile che non siano state rilevate violazioni ai requisiti dell'allegato I, ma che la macchina si trovi ugualmente in condizioni di non conformità, per violazione delle procedure di immissione sul mercato (ai sensi dell'art. 13 del D.lgs. 17/2010), quali:
 - a. indebita marcatura: apposizione della marcatura su prodotti non rientranti nel campo di applicazione di cui all'art. 1
 - b. assenza della marcatura CE, conforme all'art. 12, commi 1 e 2, ovvero l'assenza della dichiarazione CE di conformità;
 - c. apposizione su una macchina di una marcatura diversa dalla marcatura CE, vietata ai sensi dell'art. 12, commi 3 e 4 del D.lgs. 17/2010
 - d. mancato rispetto delle procedure di valutazione della conformità di cui all'art. 9 del D.lgs. 17/2010 (in particolare per le macchine comprese nell'allegato IV, la mancata sottoposizione alla procedura di esame per la certificazione CE del tipo di cui all'allegato IX, se le stesse sono state fabbricate non rispettando o rispettando solo parzialmente le norme armonizzate di cui all'art. 4, comma 2, ovvero fabbricate seguendo norme armonizzate che non coprono tutti i pertinenti requisiti di sicurezza e di tutela della salute o in assenza di norme armonizzate per la specifica macchina).
 - e. non corretta redazione della dichiarazione CE di conformità rispetto a quanto previsto dall'allegato IIA o IIC della Direttiva 98/37/CE (DPR 459/96) o di cui all'allegato II della Direttiva 2006/42/CE (D.lgs. 17/2010).
 - f. non corretta redazione delle istruzioni (art. 3 comma 3 lettera "c") o delle istruzioni per l'assemblaggio delle quasi macchine (all. VI) ovvero istruzioni non conformi ai contenuti di cui all'allegato I punto 1.7 e seguenti.

Scheda 29

Normativa di legge e tecnica essenziale

Riferimenti legislativi Nazionali

1. Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 - Testo Unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
2. Decreto Legislativo 17/2010 recepimento della Direttiva 2006/42/CE Nuova Direttiva Macchine”;
3. Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n.262 “emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all’aperto;
4. D.P.C.M. del 5/12/1997 “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”;
5. 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 scolastica;
6. D.P.C.M. 215/99 Regolamento recante norme per la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo e nei pubblici esercizi.

Norme Tecniche

1. UNI EN ISO 140-4:2000 Acustica - Misurazione dell’ isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell’ isolamento acustico per via aerea tra ambienti;
2. UNI EN ISO 140-5: 2007 Acustica - Misurazione dell’ isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell’ isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate;
3. UNI EN ISO 140-7:2000 Acustica - Misurazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell’isolamento dal rumore di calpestio di solai;
4. UNI EN ISO 140-14: 2004 Misurazione dell’ isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 14: Linee guida per situazioni particolari in opera;
5. UNI EN ISO 717-1:2007 Acustica - Valutazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Isolamento acustico per via aerea;
6. UNI EN ISO 717-2:2007 Acustica - Valutazione dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 2: Isolamento del rumore di calpestio;
7. UNI EN ISO 3382-1:2009 Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 1: Sale da spettacolo;
8. UNI EN ISO 3382-2:2008 Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 2: Tempo di riverberazione negli ambienti ordinari;
9. UNI EN ISO 3382-3:2012 Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 3: Open space;

10. UNI EN ISO 3741:2010 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora - Metodi di laboratorio in camere riverberanti;
11. UNI EN ISO 3743-1:2010 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora - Metodi tecnici progettuali in campo riverberante per piccole sorgenti trasportabili - Parte 1: Metodo di comparazione per camere di prova a pareti rigide;
12. UNI EN ISO 3743-2:2010 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore utilizzando la pressione sonora - Metodi tecnici progettuali in campo riverberante per piccole sorgenti trasportabili - Parte 2: Metodi in camere riverberanti speciali;
13. UNI EN ISO 3744:2010 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora - Metodo tecnico progettuale in un campo essenzialmente libero su un piano riflettente;
14. UNI EN ISO 3745:2012 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora - Metodi di laboratorio in camere anecoica e semi-anecoica;
15. UNI EN ISO 3746:2011 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora - Metodo di controllo con una superficie avvolgente su un piano riflettente;
16. UNI EN ISO 3747:2011 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora - Metodi tecnico progettuale/ controllo per applicazioni in opera in un ambiente riverberante;
17. UNI EN ISO 4871:2009 Acustica - Dichiarazione e verifica dei valori di emissione sonora delle macchine e delle apparecchiature;
18. UNI 8199:1998 Acustica - Collaudo acustico degli impianti di climatizzazione e ventilazione - Linee guida contrattuali e modalità di misurazione;
19. UNI EN ISO 9241-6:2001 Requisiti ergonomici per il lavoro di ufficio con videoterminali (VDT) - Guida sull'ambiente di lavoro;
20. UNI 9432:2011 Acustica - Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro;
21. UNI EN ISO 9612:2011 Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale;
22. UNI EN ISO 9614-1:2009 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico - Parte 1: Misurazione per punti discreti;
23. UNI EN ISO 9614-2:1998 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico - Misurazione per scansione;
24. UNI EN ISO 9614-3:2009 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico - Parte 3: Metodo di precisione per la misurazione per scansione;
25. UNI/TR 11232-1:2007 Vibrazioni mano-braccio - Linee guida per la riduzione del rischio da vibrazione. Parte 1: Metodo tecnico progettuale per la progettazione delle macchine;
26. UNI/TR 11232-2:2007 Vibrazioni mano-braccio - Linee guida per la riduzione del rischio da vibrazione. Parte 2: Misure di prevenzione sul posto di lavoro;
27. UNI EN ISO 11200:2009 Acustica - Rumore emesso dalle macchine e dalle apparecchiature - Linee guida per l'uso delle norme di base per la determinazione dei livelli di pressione sonora al posto di lavoro e in altre specifiche posizioni;
28. UNI EN ISO 12001:2009 Acustica - Rumore emesso dalle macchine e dalle apparecchiature - Regole per la stesura e la presentazione di una procedura per prove di rumorosità;

29. UNI TR/11347 Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro;
30. UNI EN ISO 11546-1:2009 Acustica - Determinazione delle prestazioni acustiche di cappottature - Parte 2: Misurazioni di laboratorio (ai fini della dichiarazione);
31. UNI EN ISO 11546-2:2009 Acustica - Determinazione delle prestazioni acustiche di cappottature - Parte 2: Misurazioni in opera (ai fini dell'accettazione e della verifica);
32. UNI EN ISO 11688-1:2009 Acustica - Suggerimenti pratici per la progettazione delle macchine e delle apparecchiature a bassa emissione di rumore - Parte 1: Pianificazione;
33. UNI EN ISO 11688-2:2002 Acustica - Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore - Parte 2: Elementi di fisica per la progettazione a bassa emissione;
34. 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;
35. 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;
36. 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;
37. UNI EN ISO 11820:1999 Acustica - Misurazioni su silenziatori in sito;
38. UNI EN ISO 11821:1999 Acustica - Misurazione dell'attenuazione sonora in sito di uno schermo mobile;
39. UNI EN ISO 11957:2009 Acustica - Determinazione della prestazione di isolamento acustico di cabine - Misurazioni in laboratorio e in opera;
40. UNI EN ISO 14163:2001 Acustica - Linee guida per la riduzione del rumore con i silenziatori;
41. UNI EN ISO 14257:2004 Acustica - Misurazione e descrizione parametrica delle curve di decadimento del suono nello spazio degli ambienti di lavoro per la valutazione delle loro prestazioni acustiche;
42. UNI CEN/TR 15172-1:2008 Vibrazioni al corpo intero - Linee guida per la riduzione del rischio da vibrazione. Parte 1: Metodo tecnico progettuale per la progettazione delle macchine;
43. UNI CEN/TR 15172-2:2008 Vibrazioni al corpo intero - Linee guida per la riduzione del rischio da vibrazione. Parte 2: Misure di prevenzione sul posto di lavoro;
44. UNI EN ISO 15667:2002 Acustica - Linee guida per la riduzione del rumore mediante cabine e cappottature;
45. UNI EN ISO 17624:2005 Acustica - Linee guida per il controllo del rumore negli uffici e nei luoghi di lavoro mediante l'utilizzo di schermi acustici.

Scheda 30

Modulistica per segnalazione di presunta non conformità ai RES da parte delle Asl

Nelle schede tecniche seguenti sono riportati esempi di interventi di bonifica acustica realizzati sul territorio nazionale con l'indicazione di una serie di parametri acustici e non tra cui: il comparto produttivo, tipo di intervento realizzato, i risultati acustici, fattori di criticità, stima dei costi. Le schede tecniche sono organizzate secondo il seguente indice:

- C1. Interventi sulle sorgenti
- C2. Coperture totali o parziali
- C3. Sistemi schermanti
- C4. Trattamenti fonoassorbenti
- C5. Sistemi silenzianti
- C6. Cabine per operatore
- C7. Sistemi antivibranti
- C8. Interventi sul *lay-out*
- C9. Sistemi per l'edilizia

Si ringraziano le aziende che hanno collaborato alla definizione delle schede di bonifica presenti in questa sezione, in particolare le aziende associate a CIADI Unione Costruttori Impianti ed Apparecchiature di insonorizzazione - Federata ANIMA.

C1. Interventi sulle sorgenti

Comparto produttivo:
settore cartario e altri
settore cartario e altri

Tipo di intervento:
sostituzione ingranaggi
sostituzione ingranaggi

Scheda n. C1.1

Descrizione della problematica:

A causa delle forze d'attrito e compressione che si creano sulle superfici di contatto delle ruote dentate in acciaio, il rumore prodotto da una scatola d'ingranaggi diviene in molti casi una componente rilevante del rumore complessivo generato da una macchina

Descrizione dell'intervento:

Sostituzione delle ruote dentate in acciaio con:

- a) ruote dentate in bronzo
- b) ruote dentate in plastica speciale

Risultati acustici:

Caso A

Sostituzione delle ruote dentate in acciaio con analoghe in bronzo nella scatola ingranaggi di una macchina per il riavvolgimento carta: potenza motore 15 kW, velocità di rotazione 200-1000 g/m.

Posto di lavoro:

Prima della sostituzione $L_{Aeq} = 99$ dB(A)

Dopo la sostituzione $L_{Aeq} = 86$ dB(A)

Caso B

Sostituzione ruote dentate in acciaio con analoghe in nylon speciale impregnato con molibdeno in una taglierina per carta avente un motore elettrico di circa 6 kW e una velocità massima di produzione pari a 100 m/m:

Posto di lavoro:

Prima della sostituzione $L_{Aeq} = 93,5$ dB(A)

Dopo la sostituzione $L_{Aeq} = 85$ dB(A)

Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

Intervento citato da:

HEALTH&SAFETY EXECUTIVE, A report from HM Factory Inspectorate: 100 Practical Applications of Noise reduction Methods, 1983, London

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
lavorazione del legno,
metalmecanico e altri

Tipo di intervento:
attenuazione del rumore emesso
da seghe circolari

Scheda n. C1.2

Descrizione della problematica:

Il rumore emesso dalle seghe a lama circolare costituisce un grave problema in molte industrie, in quanto può spesso comportare livelli sonori di esposizione giornaliera superiori a 100 dB(A) ed inoltre, in molti casi, si è rivelato impraticabile il ricorso a tecniche di incapsulamento acustico.

Descrizione dell'intervento:

Smorzamento delle vibrazioni della lama, e quindi di una delle cause del rumore da essa prodotto durante il taglio, mediante:

- A) applicazione di rivestimento antivibrante su una superficie
- B) applicazione di rivestimento antivibrante su due superfici
- C) apertura di apposite fenditure nel corpo del disco e loro riempimento con resine elastiche

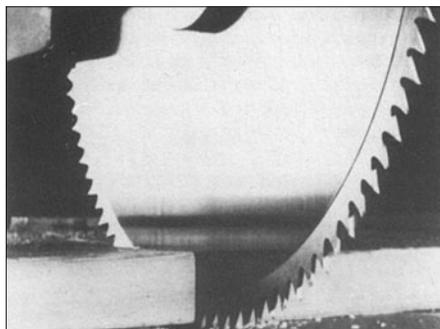


Figura Caso A

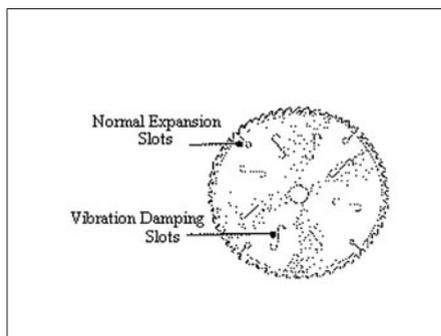


Figura Caso C: Disposizione sul disco delle fenditure antivibranti (Vibration damping slots)

Comparto produttivo:
lavorazione del legno,
metalmeccanico e altri

Tipo di intervento:
attenuazione del rumore emesso
da seghe circolari

Segue scheda n. C1.2

Risultati acustici:

Caso A

Applicazione su una superficie di una lama da 50 denti, diametro 76 cm, velocità 1445 g/m, di un rivestimento antivibrante costituito da uno strato adesivo di polimero viscoelastico, di spessore 0,04 mm, e da un lamierino in acciaio da 0,2 mm con la superficie esterna stagnata.

Posto di lavoro operatore - Taglio di tavola in legno duro, spess. 5 cm

Lama circolare nuda $L_{Aeq} = 101$ dB(A)

Lama circolare con rivestimento $L_{Aeq} = 98$ dB(A)

Caso B

Applicazione su entrambe le superfici di una lama circolare di un rivestimento costituito da uno strato di gomma morbida, di spessore doppio di quello della lama, da una pellicola vinilica, e da un lamierino metallico di spessore pari ad $\frac{1}{4}$ di quello della lama. Il raggio di tale rivestimento è pari ad $\frac{1}{3}$ del raggio della lama.

L'attenuazione acustica determinata da questo tipo d'intervento è risultata pari a -6 dB(A) nel caso di taglio di componenti in legno

Caso C

Nella lama circolare vengono aperte, mediante laser, delle sottili fenditure (vedi figura) la cui larghezza dipende dallo spessore del disco. La forma di queste fessure è ad S ed il loro numero dipende dal diametro della lama. Ad esempio in una lama da 350 mm sono previste 8 fessure. Dopo il taglio le fessure vengono riempite con una resina speciale che indurendosi attenua l'indebolimento meccanico della lama dovuto alla presenza delle fessure.

Questo accorgimento, che riduce sensibilmente le vibrazioni della lama e quindi il rumore che ne deriva, migliora anche sensibilmente la qualità del taglio prodotto e può essere adottato per lame con diametri da 150 mm fino a 1,5 m, impiegate sia nel taglio del legno, che della pietra e dei metalli.

La riduzione di rumore determinata da lame così modificate dipende dal tipo di lama, dal tipo di materiale tagliato e dalle sue dimensioni.

Dalle misure effettuate si è rilevato che l'attenuazione sul posto di lavoro può variare da un minimo di 2 dB(A) ad un massimo di 10 dB(A)

Fattori di criticità:

Caso A&B

I valori di attenuazione acustica indicati si riferiscono a lavorazioni saltuarie. Inoltre ad ogni ricondizionamento della lama circolare occorre prevedere il distacco e la risistemazione del rivestimento antivibrante.

Costi approssimativi:

Intervento descritto da:

Caso A: *Health&Safety Executive, A report from HM Factory Inspectorate: 100 Practical Applications of Noise reduction Methods, London, 1983.*

Caso B: *L.Ph. Drozdova et al., Some features of Noise control of Circular-Saw Machine Tools, Proceedings Inter-Noise 97, Budapest 25-27 August 1997, pagg. 287-290*

Caso C: *K.A. Broughton, Practical Assessment of the "Damping" Effects of "Quiet" Laser Cut Circular Saw Blades, Proceedings Euro-Noise '92, London 14-18 September 1992, pagg. 521- 531*

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
lavorazione del travertino

Tipo di intervento:
attenuazione del rumore emesso da frese attestatrici

Scheda n. C1.3

Descrizione della problematica:

Il rumore emesso dalle frese attestatrici per lastre di travertino a lama circolare costituisce un serio problema in molti laboratori, in quanto può spesso comportare livelli sonori di esposizione giornaliera superiori a 90 dB(A) ed inoltre, in molti casi, si è rivelato impraticabile il ricorso a tecniche di incapsulamento acustico.

Descrizione dell'intervento:

Attenuazione della rumorosità tramite sostituzione del disco tradizionale di 350 mm di diametro con anima piena di metallo con disco silenziato utilizzando la tecnologia a sandwich, in cui l'anima è costituita da due parti di metallo incollate a uno strato di rame.



Strato di Rame



Disco tradizionale pieno



Disco silenziato tipo sandwich

Risultati acustici:

Livello di potenza sonora LWA:
disco tradizionale nuovo: 116,3 dB(A)
disco silenziato nuovo: 111,7 dB(A)

Livello di pressione sonora L_{Aeq} al posto operatore:
disco tradizionale nuovo: 95,6 dB(A)
disco silenziato nuovo: 90,8 dB(A)

Fattori di criticità:

Nessuno

Costi approssimativi:

€ 350,00

Intervento di tipo:

standard

prototipo

Comparto produttivo:
lavorazione del legno

Tipo di intervento:
sostituzione utensile

Scheda n. C1.4

Descrizione della problematica:

Le piallatrici da legno usano solitamente teste portautensili rotanti ad alta velocità per spianare e rifinire la superficie delle tavole di legno. A tale componente meccanico sono da attribuire, per gran parte anche se non esclusivamente, gli elevati livelli di rumore che si hanno in corrispondenza, e nelle vicinanze, del posto di lavoro dell'operatore addetto a questa macchina.

Descrizione dell'intervento:

Sostituzione della testa portautensili ad azione parallela con una ad azione elicoidale, con il risultato di attenuare notevolmente le medie e alte frequenze e, di conseguenza, i livelli sonori all'orecchio operatore.



Esempio di attuale testa portautensili ad azione parallela



Esempio di attuale testa portautensili ad azione elicoidale

Risultati acustici:

Nel grafico di Fig. 1 è riportato il confronto tra i livelli sonori di banda prodotti da una piallatrice dotata rispettivamente di una testa portautensili ad azione parallela ed una testa portautensili ad azione elicoidale.

Nel grafico di Fig. 2 è riportato invece il confronto acustico, in termini di L_{Aeq} rilevato in corrispondenza del posto di lavoro dell'operatore, tra le due teste in relazione alla lunghezza della tavola lavorata.

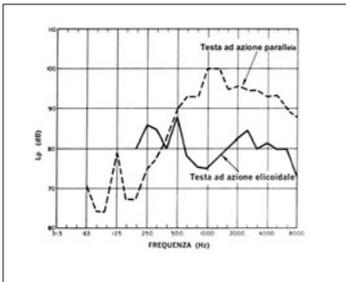


Figura 1

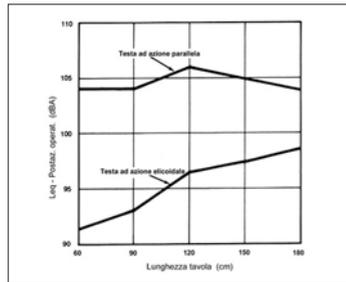


Figura 2

Fattori di criticità:
Costi approssimativi:
Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria cartotecnica

Tipo di intervento:
Riduzione superfici di contatto

Scheda n. C1.5

Descrizione della problematica:

Il taglio di bobine per la produzione di carta e scatole in cartone ondulati a mezzo di un impianto di ribobinatura comporta il contatto con i rulli di supporto producendo alti livelli di rumorosità.

Per ridurre il problema si è pensato all'installazione di un sistema frenante e alla modifica del percorso della carta durante il processo di taglio effettuato dalla macchina ribobinatrice.



Descrizione dell'intervento:

La realizzazione prevedeva la sostituzione dei rulli di supporto in ferro con analoghi in acciaio cromato e di minore diametro così da ridurre al minimo la superficie di contatto carta/rulli.

Il sistema di movimentazione della carta è costituito da due rulli dei quali uno è a contatto con la parte liscia e l'altro è a contatto con la parte ondulata della carta. Il contributo maggiore al rumore era generato proprio dallo scorrimento della parte ondulata rispetto al rullo dovuto all'elevata velocità di rotazione dello stesso. Per ovviare al problema si è proceduto all'installazione di un sistema frenante tramite freno ad aria a regolazione manuale.

La riduzione della velocità ha evitato lo scorrimento e la relativa generazione di rumore.

Fattori di criticità:

Nessuno
 Anno di realizzazione: 2006

Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 1 m dalla macchina all'altezza di 1.6 m (posizione operatore):
 - prima intervento: > 92.6 dB
 - dopo intervento: < 86.7 dB

Costi approssimativi:

€ 2500

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

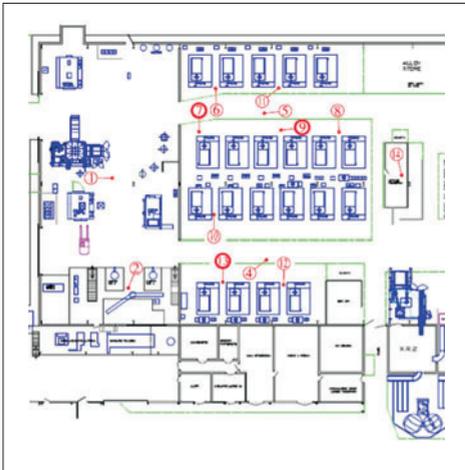
Comparto produttivo:
Industria
metalmeccanica

Tipo di intervento: applicazione di materassini
 zona di caduta pezzi e insonorizzazione
 scarichi di aria compressa su presse

Scheda n. C1.6

Descrizione della problematica:

L'intervento è stato implementato in un'azienda produttrice di ruote in lega leggera per autoveicoli: all'interno dello stabilimento avvengono processi di fusione e stampo della materia prima e successive lavorazioni meccaniche delle ruote mediante l'impiego di macchine utensili. Oggetto dell'intervento è stato il reparto fonderia, dotato di n.21 presse di fusione atte a produrre le ruote in lega di alluminio per gli autoveicoli. In particolare, alti livelli di rumorosità sono generati dalla ruota nelle fasi di caduta dallo stampo e di scorrimento sulla rulliera, oltre che dagli scarichi dell'aria compressa di raffreddamento degli stampi stessi.



ID.	Postazione	dB(A)
5	Area centrale presse	87,6
7	Pressa n. 11	96,6
8	Pressa n. 15, 16	91,0
13	Pressa n. 1, 2	90,2
1	Postazione Centrale forni fusori	88,5
-	Carrello elevatore in area forni fusori e presse	88,0

Descrizione dell'intervento:

Le presse del reparto fonderia in questione sono state oggetto degli interventi tecnici di seguito specificati:

- installazione sui piatti e sui rulli di ciascuna pressa, di idonei materassini (di materiale resistente al calore), tali da attenuare in modo significativo la rumorosità generata dalla ruota nelle fasi di caduta dallo stampo e di scorrimento sulla rulliera;
- interventi di insonorizzazione degli scarichi dell'aria compressa di raffreddamento degli stampi mediante l'adozione di guaine insonorizzanti in silicone per il rivestimento dei tubi di scarico e di silenziatori sullo scarico dell'aria compressa.

Fattori di criticità:

Nessuno
 Anno di realizzazione: 2000

Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 1 m dalle macchine all'altezza di 1.6 m (posizione operatore):
 - prima intervento: tra 90.2 e 96.6 dB(A)
 - dopo intervento: tra 86.7 e 91.0 dB(A)

Costi approssimativi:

€ 63000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

C2. Coperture totali o parziali

Comparto produttivo:
Produzione elettrodomestici

Tipo di intervento:
copertura totale

Scheda n. C2.1

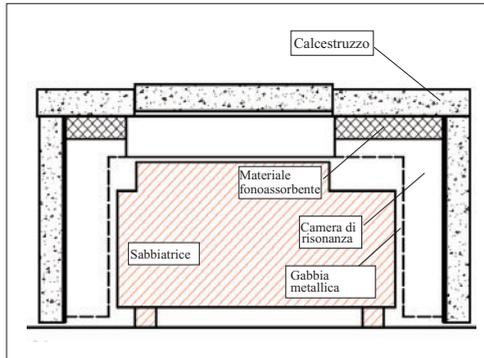
Descrizione della problematica:

Rumore di tipo continuo elevato a basse frequenze, immesso nell'ambiente di lavoro

Descrizione dell'intervento:

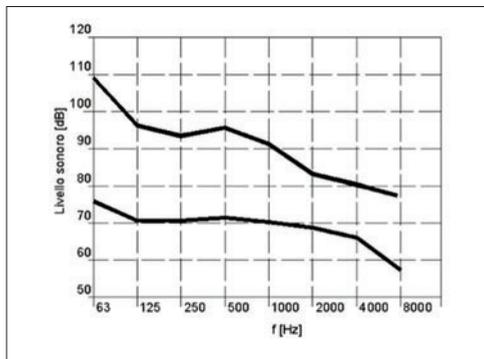
Chiusura totale mediante pannelli in calcestruzzo e struttura metallica; fonoassorbimento interno ottenuto a mezzo di risuonatori centrati su basse frequenze.

Anno di realizzazione: 1978



Risultati acustici:

Spettro dei livelli sonori rilevati prima e dopo l'intervento



Fattori di criticità:

Il rumore a frequenze molto basse (<100Hz) produce un notevole disturbo in un ambiente di lavoro molto esteso

Costi approssimativi:

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
stampaggio

Tipo di intervento:
copertura parziale

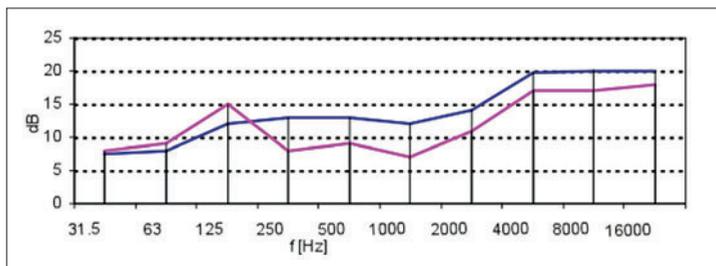
Scheda n. C2.2

Descrizione della problematica:

Emissioni sonore di tipo continuo / impulsivo in ambiente

Descrizione dell'intervento:

Chiusura delle presse mediante copertura parziale in carpenteria metallica; accessi con sportelli automatici e pannelli motorizzati.
Anno di realizzazione: 1992



Fattori di criticità:

aperture continue, sicurezza, manutenzione, calore

Costi approssimativi:

250.000,0 £/m²

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
tessitura

Tipo di intervento:
copertura totale

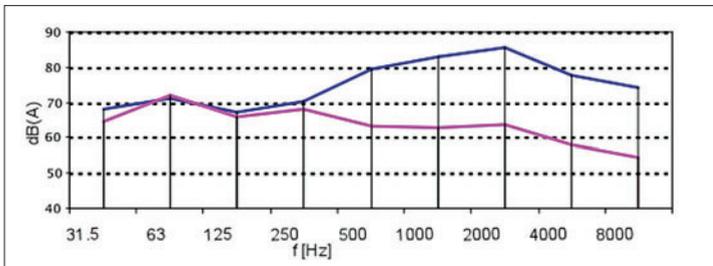
Scheda n. C2.3

Descrizione della problematica:

Emissione sonora in ambiente, spettro sonoro più pronunciato alle medie/alte frequenze.

Descrizione dell'intervento:

Chiusura mediante copertura totale in carpenteria metallica della macchina; sistema di ventilazione forzata.
Anno di realizzazione: 1987



Risultati acustici:

Livelli di pressione sonora medi rilevati prima e dopo l'intervento, a 1m di distanza dalla chiusura/aperture continue, sicurezza, manutenzione, calore

Fattori di criticità:

sicurezza, manutenzione, controllo, calore

Costi approssimativi:

2.500.000,0 £

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
stampaggio

Tipo di intervento:
copertura totale

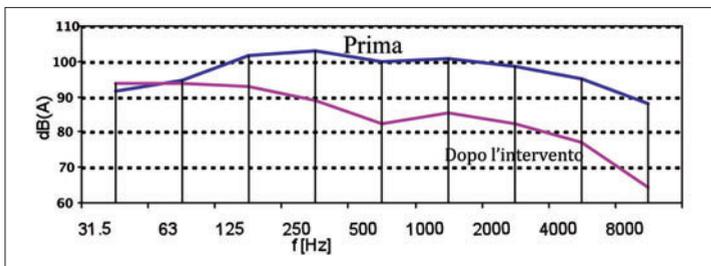
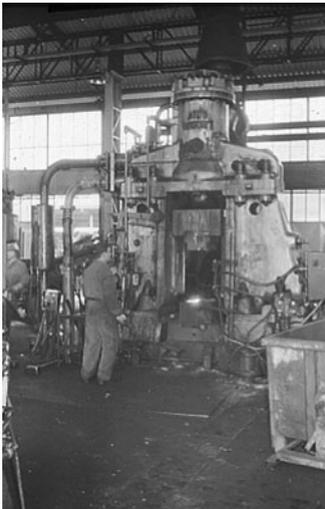
Scheda n. C2.4

Descrizione della
problematica:

Emissione di rumore in ambiente; rumore di tipo continuo / impulsivo.

Descrizione
dell'intervento:

Chiusura mediante copertura totale del maglio; appoggio elastico; sistema di ventilazione forzata; portelli di accesso automatici (che consentono operazioni a macchina ferma e si chiudono prima di iniziare la fase di stampaggio).
Anno di realizzazione: 1985.



Fattori di criticità: sicurezza, manutenzione, controllo, calore

Costi approssimativi: 15.000.000,0 £

Intervento di tipo: standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
impianto trattamento
aria

Tipo di intervento:
copertura totale

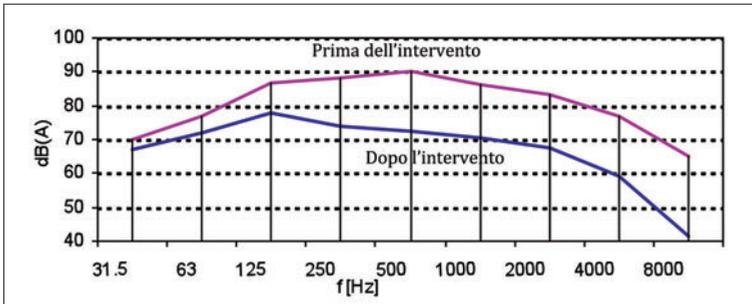
Scheda n. C2.5

Descrizione della problematica:

Emissione di rumore in ambiente.

Descrizione dell'intervento:

Chiusura integrale delle due unità di trattamento aria, con sistema di ventilazione forzata.
 Anno di realizzazione: 1991



Risultati acustici:

Livelli di pressione sonora medi rilevati prima e dopo l'intervento, a 1m dalla chiusura

Fattori di criticità:

dimensionamento a carico del vento (200 km/h)
 carico statico, sicurezza, manutenzione, controllo, calore

Costi approssimativi:

200.000,0 £/m² + silenziatori

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Reparto
imbottigliamento

Tipo di intervento:
copertura parziale

Scheda n. C2.6

Descrizione della problematica:

Emissione di rumore della linea in ambiente; elevato contributo sonoro dovuto agli urti tra le bottiglie.

Descrizione dell'intervento:

Chiusura parziale della linea di imbottigliamento, con zone vetrate e portelli per ispezione e controllo e aperture per passaggio prodotto.
 Anno di realizzazione: 1989



Risultati acustici:

Attenuazione sonora media = 12 dB

Fattori di criticità:

sicurezza, manutenzione, ispezione e controllo

Costi approssimativi:

19.500.000,0 £

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Centrale idroelettrica

Tipo di intervento:
copertura totale

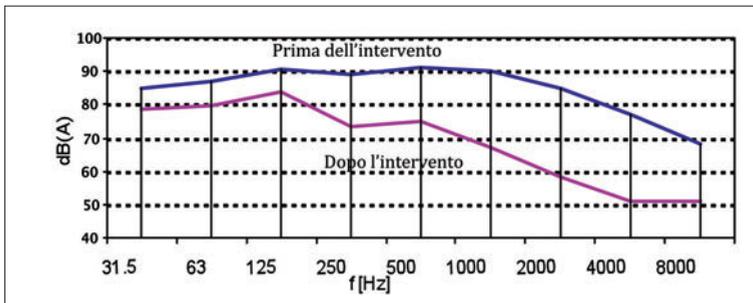
Scheda n. C2.7

Descrizione della problematica:

Emissione di rumore in ambiente; rumore di tipo continuo

Descrizione dell'intervento:

Chiusura del gruppo turbina-generatore tramite intelaiatura in carpenteria metallica e tamponamenti fonoisolanti e fonoassorbenti. Sistemi di apertura funzionali al lay-out del reparto.
 Anno di realizzazione: 1987



Risultati acustici:

Livelli di pressione sonora medi, prima e dopo l'intervento, ad 1m dalla chiusura.

Fattori di criticità:

sicurezza, manutenzione, calore

Costi approssimativi:

78.000.000,0 €

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria del vetro

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzante

Scheda n. C2.8

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di una linea di tempra per il vetro con applicazione della Direttiva Macchine (98/37/CEE), in quanto i cabinati insonorizzanti debbono essere considerati componenti di sicurezza (lettera del Ministero dell'Industria prot. N.762440 del 31 luglio 1998).



Descrizione dell'intervento:

Il cabinato è realizzato con pannellature composite per quanto possibile leggere, ma sufficientemente resistenti per offrire una adeguata durata nel tempo.

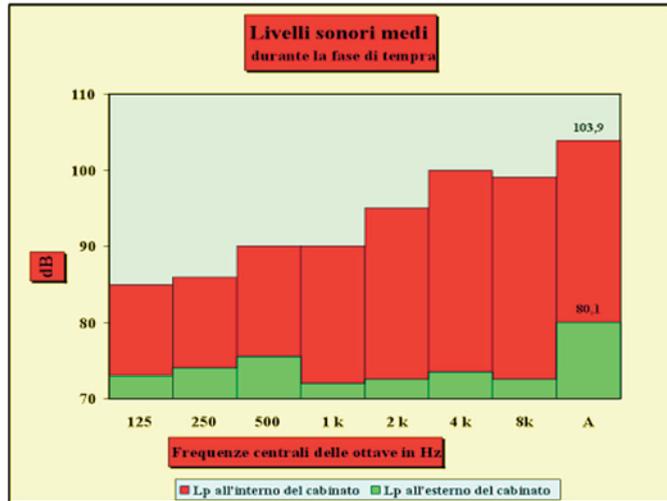
Sono utilizzati scatolati, ricavati da pressopiegatura di lamiere zincate e preverniciate in grado di offrire le migliori garanzie di resistenza alla corrosione, all'interno dei quali sono introdotti i complessi insonorizzanti racchiusi verso la superficie interna del cabinato da lamiere a perforazione speciale previa l'interposizione di un velo di vetro a garanzia dell'impedimento dello spolverio dei materiali fonoassorbenti.

Anno di realizzazione: 1999

Comparto produttivo:
Industria del vetro

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzante

Segue scheda n. C2.8



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
- prima intervento: > 97 dB
- dopo intervento: < 80 dB

Fattori di criticità:

Nella realizzazione del cabinato insonorizzante sulla linea si deve soprattutto prendere in considerazione la grande portata d'aria indispensabile per la tempra del vetro. Questo implica la realizzazione di imponenti silenziatori di espulsione dell'aria al fine di limitare la sovrappressione interna. Le operazioni di normale manutenzione sono eseguibili senza ricorrere a qualsivoglia smontaggio. Il cabinato consente, per le operazioni di manutenzione straordinaria, agevoli smontaggi parziali o totali. Caratteristiche essenziali dei materiali da impiegarsi, oltre a quelle acustiche, riguardano il comportamento al fuoco dei materiali fonoassorbenti che sono in Classe "0"(zero) di reazione al fuoco.

Costi approssimativi:

€ 25.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria motoristica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzante

Scheda n. C2.9

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di un gruppo elettrogeno per impiego navale la cui rumorosità ha caratterizzato per moltissimi anni la vita del personale di macchina.



Descrizione dell'intervento:

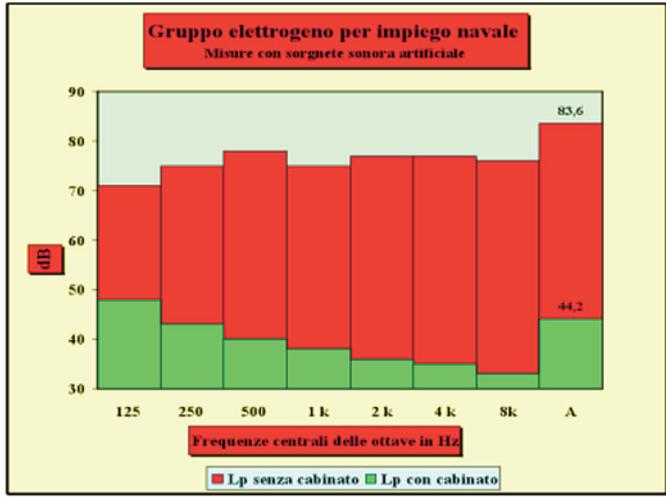
Il cabinato è il risultato delle esigenze richieste dall'impiego specifico, in ogni caso si evidenzia la ricerca esasperata della tenuta acustica di ogni elemento con particolare cura alle penetrazioni ed agli elementi smontabili od apribili. Questo si impone, per il rispetto delle caratteristiche acustiche in un ambiente riverberante, dato il numero elevato di elementi mobili, necessario per l'accessibilità al gruppo, negli spazi ristretti della sala macchine. La semplicità dei sistemi di apertura coniugata alla sicurezza d'impiego è indispensabile in un ambiente caratterizzato da sollecitazioni particolarmente elevate.

Anno di realizzazione: 1999

Comparto produttivo:
Industria motoristica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzante

Segue scheda n. C2.9



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
- prima intervento: n.d.
- dopo intervento: n.d.

Fattori di criticità:

La caratteristica della garanzia di funzionamento è posta da subito come elemento essenziale ed ha storicamente richiesto l'impiego di metodologie di calcolo sofisticate anche in funzione delle specifiche sollecitazioni cui è sottoposto ogni componente di bordo.
Si deve tenere conto di differenti esigenze, spesso in contrasto con quelle acustiche, che possono così essere riassunte:
Spazio disponibile limitato.
Peso complessivo contenuto.
Smaltimento delle calorie dissipate.
Ispezionabilità interna.
Accessibilità completa al gruppo per la sua manutenzione.
Utilizzo di componentistica semplice e facilmente reperibile e sostituibile.
Dimensioni ridotte e pesi contenuti di ogni componente.
Resistenza alle sollecitazioni trasmesse dalla nave durante la navigazione, particolarmente severe negli impieghi militari.

Costi approssimativi:

€ 30.000

Intervento di tipo:

standard

prototipo

Comparto produttivo:
Industria motociclistica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzante

Scheda n. C2.10

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di una sala prova per motori motociclistici con un cabinato insonorizzante in applicazione della Direttiva Macchine (98/37/CEE), in quanto questi manufatti debbono essere considerati componenti di sicurezza (lettera del Ministero dell'Industria prot. N.762440 del 31 luglio 1998).



Descrizione dell'intervento:

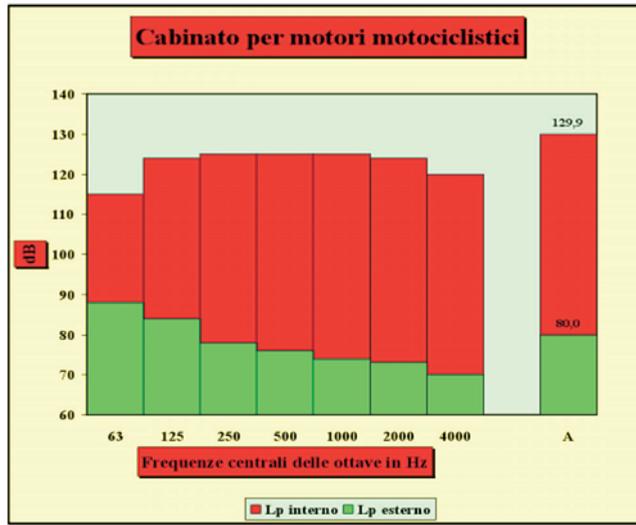
Il cabinato è realizzato con pannellature composite di massa elevata e particolarmente resistenti per offrire una adeguata durata nel tempo. Sono utilizzati scatolati, ricavati da pressopiegatura di lamiere zincate e successivamente verniciate in grado di offrire le migliori garanzie di resistenza alla corrosione, all'interno dei quali sono introdotti i complessi insonorizzanti racchiusi verso la superficie interna del cabinato da lamiere a perforazione speciale previa l'interposizione di un velo di vetro a garanzia dell'impedimento dello spolverio dei materiali fonoassorbenti.

Anno di realizzazione: 1991

Comparto produttivo:
Industria motociclistica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzante

Segue scheda n. C2.10



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
- prima intervento: > 110 dB
- dopo intervento: < 80 dB

Fattori di criticità:

Nella realizzazione del cabinato insonorizzante linea si deve soprattutto prendere in considerazione la portata d'aria necessaria al raffreddamento dei motori simulando le condizioni di marcia e l'evacuazione dei gas da scarico. Questo implica la realizzazione di un sofisticato sistema di ingresso e di espulsione dell'aria al fine di non modificare le condizioni di depressione o sovrappressione interna. Le operazioni di normale manutenzione sono eseguibili senza ricorrere a qualsivoglia smontaggio. Caratteristiche essenziali dei materiali da impiegarsi, oltre a quelle acustiche, riguardano il comportamento al fuoco dei materiali fonoassorbenti che sono in Classe "0"(zero) di reazione al fuoco.

Costi approssimativi:

€ 80.000

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria motoristica

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante

Scheda n. C2.11

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di una sala prova per motori per veicoli industriali con un cabinato insonorizzante in applicazione della Direttiva Macchine (98/37/CEE), in quanto questi manufatti debbono essere considerati componenti di sicurezza (lettera del Ministero dell'Industria prot. N.762440 del 31 luglio 1998).



Descrizione dell'intervento:

La necessità di fornire al motore condizioni ambientali per quanto possibile analoghe a quelle del normale utilizzo e la continua presenza di personale che deve prestare la massima attenzione alle operazioni, impone la segregazione della postazione di prova in un ambiente opportuno.

L'esigenza sempre più marcata di una grande flessibilità degli impianti industriali, consiglia la realizzazione di quei cabinati opportunamente insonorizzati, oggi messi a disposizione dalla moderne tecnologie, in luogo delle classiche sale prova in muratura.

Sono realizzati con pannellature composite di materiali fonoassorbenti e fonisolanti e sono caratterizzati da:

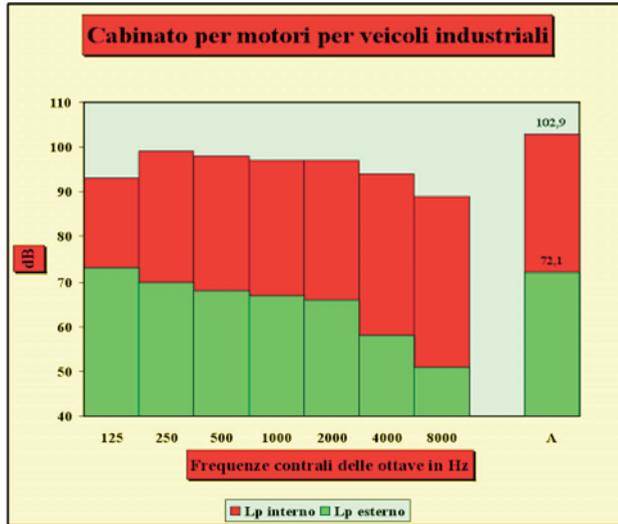
- ampie porte di accesso senza soglia, di facile manovrabilità e dotate di sistemi di apertura antipanico
- strutture dimensionate per la sopportazione di paranchi o carroponete
- sistemi di ventilazione forzata modulati sul disperdimento dei motori e sulla temperatura esterna, completi di idonei silenziatori e di serrande di regolazione e blocco in caso d'incendio, ed in condizione di mantenere i differenziali di pressione entro valori noti
- sistemi di alimentazione dell'aria comburente separati ed adattati alle specifiche esigenze del motore
- sistemi di evacuazione dei gas di scarico, aspirati o meno, caratterizzati da silenziatori ad elevata efficacia e debole perdita di carico
- aperture per le penetrazioni realizzate in funzione dei vari servizi ed in grado di fornire lo stesso isolamento acustico delle pareti
- sistemi antincendio a CO₂ od acqua nebulizzata in funzione delle differenti esigenze.

Anno di realizzazione: 1997

Comparto produttivo:
Industria motociclistica

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante

Segue scheda n. C2.11



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
- prima intervento: > 100 dB
- dopo intervento: < 75 dB

Fattori di criticità:

La progettazione dei cabinati deve pertanto tener conto, non solo dell'isolamento acustico, ma anche di tutte quelle esigenze operative e funzionali proprie delle sale prova motori.

Tra le più comuni si possono annoverare:

- l'accessibilità
- la manovrabilità interna
- l'ispezionabilità
- il controllo della temperatura ambiente
- il controllo della temperatura e l'eventuale condizionamento dell'aria di alimentazione
- l'evacuazione dei gas di scarico
- l'ingresso e l'uscita dei fluidi e dei comandi necessari al funzionamento ed al controllo
- la rilevazione e al conseguente estinzione di possibili incendi nel rigoroso rispetto delle norme di sicurezza.

Costi approssimativi:

€ 70.000

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria aeronautica

Tipo di intervento:
Fabbricato insonorizzante

Scheda n. C2.12

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di una hush-house per velivoli militari.



Descrizione dell'intervento:

É la più moderna tra le installazioni aeronautiche e consente di realizzare le cosiddette prove alla piazzola in condizioni di sicurezza per il personale e di rispetto per l'ambiente.

La fotografia sopra riportata mostra la hush-house, realizzata per conto della società produttrice, per la prova dei velivoli MB-339 e AM-X.

Pur essendo installata in ambito industriale, è stata concepita con criteri di smontabilità e trasferibilità di tipo militare.

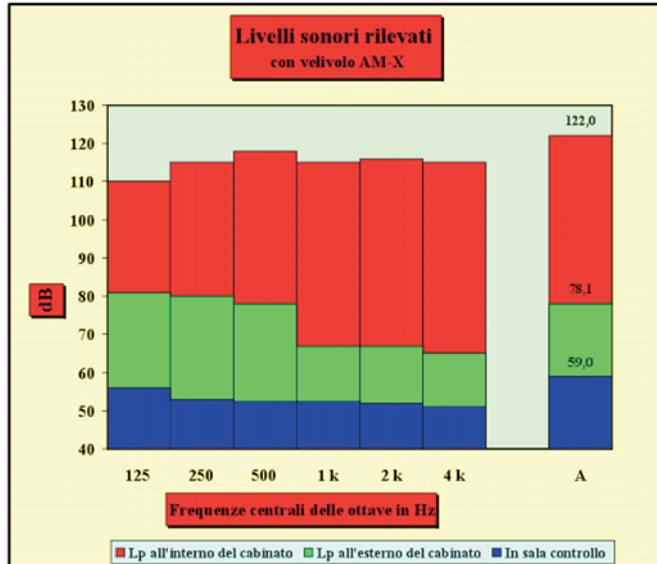
Prevede due diversi ambienti: il primo per il velivolo in prova ed il secondo per gli operatori addetti alla prova.

Anno di realizzazione: 1990

Comparto produttivo:
Industria aeronautica

Tipo di intervento:
Fabbricato insonorizzante

Segue scheda n. C2.12



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
- prima intervento: > 110 dB
- dopo intervento: < 60 dB

Fattori di criticità:

Sono senz'altro legati alle grandi dimensioni 17 metri di larghezza, 19 metri di lunghezza e 9 metri di altezza con costruzione interamente metallica, alla porta di accesso del velivolo di una massa di 50 tonnellate ed alla necessità di convogliare ingentissime masse d'aria con temperature di gas di scarico del velivolo dell'ordine dei 650 °C.

In questo ambito devono essere realizzate le condizioni di sicurezza sia per il personale addetto alla prova in ambiente separato ma con necessità di visibilità sull'intera sala prova sia per l'addetto al velivolo per il quale devono essere realizzate le condizioni di "fuga" in caso di emergenza.

Costi approssimativi:

€ 2.000.000

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria dell'energia

Tipo di intervento:
Fabbricato insonorizzante

Scheda n. C2.13

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di una turbina a gas con un fabbricato insonorizzante con le caratteristiche del cabinato insonorizzante in applicazione della Direttiva Macchine (98/37/CEE), in quanto questi manufatti debbono essere considerati componenti di sicurezza (lettera del Ministero dell'Industria prot. N.762440 del 31 luglio 1998).



Descrizione dell'intervento:

La realizzazione si compone essenzialmente del cabinato turbina a gas con relativo cabinato adiacente per i propri ausiliari, oltre ad altri piccoli cabinati di servizio.

Le dimensioni del corpo principale sono approssimativamente:

larghezza: 12.000 mm

lunghezza: 16.500 mm

altezza: 9.800 mm

Data la maggiore prestazione acustica, il cabinato turbina ha diversa composizione acustica di pannellatura ma identica tipologia di parete, costituita da un'intelaiatura in acciaio zincato con funzione di supporto sia per le lamiere grecate preverniciate esterne che per le lamiere forate interne anch'esse zincate.

Per ottenere le migliori caratteristiche d'isolamento acustico, all'interno del pannello è presente una lamiera flottante montata su guarnizioni antivibranti.

L'impiego, per il riempimento, di materassini di lane minerali: incombustibili, imputrescibili ed in grado di offrire le migliori garanzie di stabilità nel tempo, completa la morfologia delle pannellature.

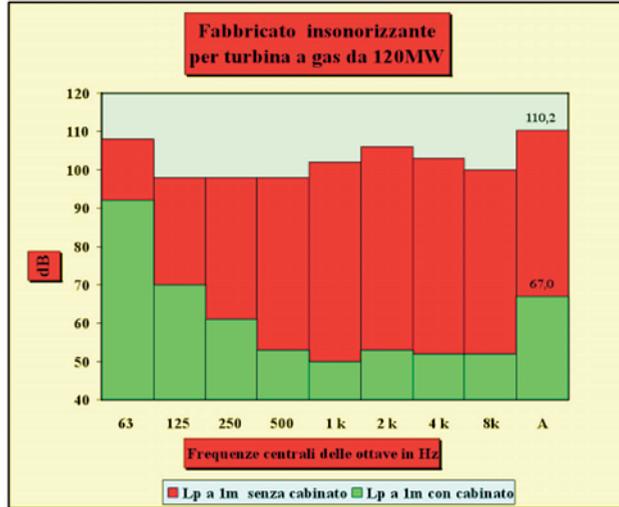
In funzione delle esigenze dell'utilizzatore possono essere installate all'interno del cabinato turbina delle vie di corsa complete di paranchi in corrispondenza del giunto lato alternatore e/o della zona delle camere di combustione, così come all'interno del cabinato ausiliari può essere installato un carroponete di servizio in grado di coprire l'intera area.

Anno di realizzazione: 1995

Comparto produttivo:
Industria dell'energia

Tipo di intervento:
Fabbricato insonorizzante

Segue scheda n. C2.13



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
- prima intervento: n.d.
- dopo intervento: n.d.

Fattori di criticità:

Al fine di soddisfare le esigenze del prodotto, la progettazione si è forzosamente orientata verso un cabinato costituito da una struttura portante tamponata con pannelli prefabbricati; oltre all'ancoraggio meccanico sono previsti opportuni coprigiunti per ottenere la massima efficacia acustica.

La progettazione della struttura portante è stata dimensionata oltre che per i carichi e gli sforzi specifici dovuti alle pannellature ed ai mezzi di sollevamento installati, anche in funzione delle normative particolari applicabili in sito alle costruzioni, con particolare riguardo ai carichi per neve, alle spinte del vento ed alle condizioni sismiche.

Per una elevata rapidità di smontaggio ci si è orientati su pannellature di grandi dimensioni, mentre per il tetto è stata realizzata una serie di elementi a tutta larghezza che consentono l'estrazione del rotore della turbina con la movimentazione di sole sei sezioni dotate di opportuni mezzi di sollevamento.

I sistemi di ventilazione, completi di filtrazione dell'aria in ingresso, sono ubicati, compatibilmente agli ingombri disponibili, in modo da permettere un'omogenea distribuzione interna ed una espulsione dal tetto mediante gruppi estrattori motorizzati. Oltre agli opportuni silenziatori, sia gli ingressi che le espulsioni sono dotate di serrande automatiche, per la tenuta all'estinguente dell'impianto antincendio, complete di microinterruttori di controllo multipli riportati alla logica centrale di funzionamento del turbogruppo.

Costi approssimativi:

€ 350.000

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Cementeria

Tipo di intervento:
copertura totale

Scheda n. C2.14

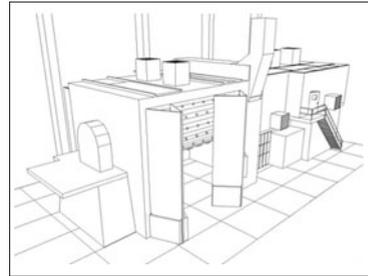
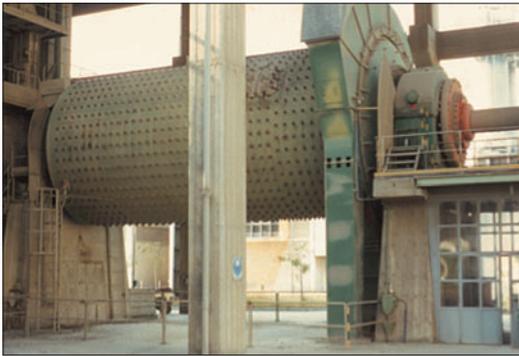
Descrizione della problematica:

I mulini a palle del cemento cotto e crudo sono in assoluto le fonti di più elevata rumorosità interna di una cementeria.

Descrizione dell'intervento:

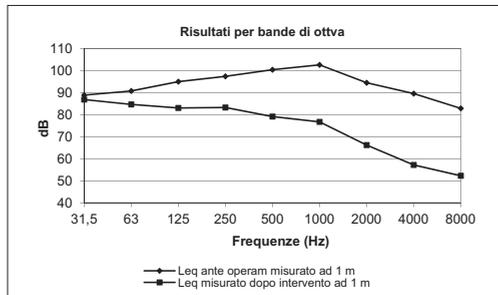
Cabina insonorizzante dotata di ventilazione forzata silenziata per lo smaltimento del calore.

Anno di realizzazione: 1996



Risultati acustici:

L_{Aeq} medio misurato ad 1 m dal perimetro esterno
- prima intervento: 104,6 dB(A)
- dopo intervento: 81 dB(A)



Fattori di criticità:

Estrema facilità di accesso ai lati del cilindro rotante mediante autogrù e carrelli elevatori.

Costi approssimativi:

in opera circa £ 270.000.000

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria cartaria

Tipo di intervento:
Cabina acustica

Scheda n. C2.15

Descrizione della problematica:

In uno stabilimento a ciclo continuo per la produzione della carta i tronchi di legno vengono movimentati da una zona all'altra dello stabilimento per le varie fasi della lavorazione mediante centinaia di metri di linee di trasportatori a nastro. Lungo queste linee esistono grandi tramogge metalliche di smistamento, dove i tronchi cambiano direzione. La caduta dei tronchi nelle tramogge, che normalmente si trovano all'aperto, è fonte di elevata rumorosità che inquina sia l'ambiente di lavoro, che le aree esterne confinanti con lo stabilimento.

Descrizione dell'intervento:

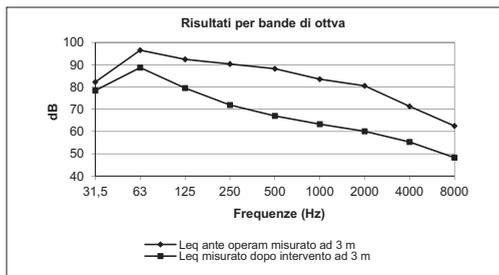
Cabina acustica avente una superficie complessiva di circa 400 m2 provvista di portoni di accesso e di ingressi nastri silenziati con bandelle di gomma tela pesante.

Anno di realizzazione : 2002



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 3 m dalla tramoggia:
 - prima intervento: 86,6 dB(A)
 - dopo intervento: 71 dB(A)



Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

in opera circa € 58.000,00

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

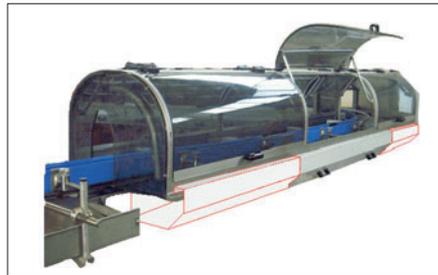
Comparto produttivo:
Imbottigliamento

Tipo di intervento:
Tunnel fonoisolante

Scheda n. C2.16

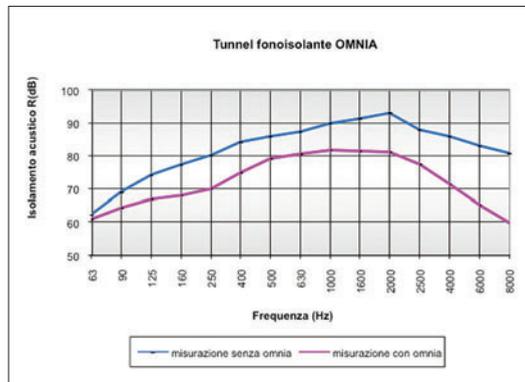
Descrizione della problematica:

Nel tratto di nastro trasportatore bottiglie compreso tra la macchina ispezionatrice e la riempitrice, le bottiglie si urtano tra loro provocando livelli sonori superiori a 90 dB (A) di L_{Aeq} . Occorre inoltre una protezione igienica per le bottiglie che sono già state ispezionate.



Descrizione dell'intervento:

Copertura del nastro con tunnel fonoisolante "OMNIA" (sistema brevettato Matis) con elementi trasparenti, incernierati dall'alto, apribili manualmente con pistoni di sostegno, chiusura della parte inferiore, contro i fianchi del nastro, con carterature realizzate in lamiera MTL inox, sfilabili a cassetto. Tutto il sistema è sostenuto da mensole vincolate ai fianchi del nastro. Dunque, Omnia oltre a garantire un efficace isolamento acustico, apporta alle linee una maggiore protezione igienica.



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad un metro dal nastro avente una velocità di transito di 14.000 bott./ora formato bottiglie da 0,72 l.
- Prima dell'intervento: 91, dB (A)
- Dopo l'intervento: 84,50 dB (A)

Fattori di criticità:

Adattamento agli impianti esistenti, presenza di sistema di regolazione larghezza guide automatico, curva 90° con quadro comando elettrico.

Costi approssimativi:

€ 1'600,00/ml. montato in opera

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria
metalmecanica

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante

Scheda n. C2.17

Descrizione della problematica:

L'attività della società è basata sulla subfornitura di particolari in lamiera, taglio laser, punzonatura e piegatura; in particolare si è potuto osservare che la foratura di lamiere di acciaio tramite macchina punzonatrice oleodinamica genera alti livelli di rumorosità.

Descrizione dell'intervento:

Il trattamento prevede di utilizzare un cabinato insonorizzante, previo rivestimento fonoassorbente posizionato in prossimità del muro così da esser costituito da 3 pareti ed il tetto. La cabina è formata da:

- Anta a ghigliottina frontale comandata elettricamente, posta su guide in acciaio laterali e controbilanciata con contrappesi; apertura utile mm. 3.400 x h. 1.900.
- Anta a battente unico sul lato frontale, apertura verso l'interno
- Anta scorrevole lato sinistro su guide in acciaio, con cuscinetti a sfere, completa di veletta di copertura insonorizzata e apertura per carrello alimentazione macchina.
- Anta scorrevole lato destro per accesso al quadro elettrico
- Pannello smontabile per accedere alla consolle dall'interno della cabina
- Vetrature in cristallo stratificato di sicurezza fissato con profili in gomma autobloccanti
- Silenziatore con ventilatore per aerazione forzata
- Dimensioni totali mm. 8200 x 7580 x h. 3200

La struttura superiore ed inferiore è realizzata in profilati di acciaio coibentati e verniciati.

Il tamponamento interno è composto da pannelli fonoisolanti-fonoassorbenti "TRIALFON", sp. mm. 80, in lamiera zincata e plastificata.

Tetto in doghe modulari "DIAPASON" disposte orizzontalmente.

Sono inoltre previste guarnizioni di tenuta antivibranti sul perimetro inferiore, sulla pannellatura perimetrale, sul tetto e sulle battute delle ante.

Infine le maniglie sono in tecnopolimero speciale a base poliuretanica, rinforzato con fibra di vetro, resistenti a solventi, oli e grassi.

Anno di realizzazione: 2007



Comparto produttivo:
Industria
metalmeccanica

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante

Segue scheda n. C2.17

Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- riduzione del rumore da 87 dB (A) a 72.0 dB (A), lavorando lamiera dello spessore di 1.5 mm
- riduzione del rumore da 90 dB (A) a 74.0 dB (A), lavorando lamiera dello spessore di 3.0 mm
- riduzione del rumore da 89 dB (A) a 72.0 dB (A), lavorando lamiera dello spessore di 5.0 mm

Le misurazioni sono state eseguite utilizzando un punzone piano del diametro di mm 23

Il tempo di rilevazione è stato di circa 40 secondi mentre il resto dell'officina era fermo

Fattori di criticità:

Cambiamento dell'organizzazione del lavoro: realizzazione di carrelli mobili di carico e scarico materiali

Per il carico e scarico dei prodotti in lavorazione devono essere aperte, durante il funzionamento, delle apposite porte, comandate da micro interruttori

Costi approssimativi:

€ 37.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Lavorazione materie
plastiche

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante

Scheda n. C2.18

*Descrizione della
problematica:*

L'attività della società è basata sul riciclo e macinazione polimeri termoplastici. In particolare la macinazione di scarti di produzione di oggetti termoformati o stampati e il loro trasporto e triturazione genera alti livelli di rumorosità. Si è reso quindi indispensabile l'intervento di insonorizzazione nella zona in cui sono presenti macchinari quali pressa, cesoia, nastro trasportatore e mulino di macinazione.



*Descrizione
dell'intervento:*

Il trattamento realizzato si articola essenzialmente in una soluzione che prevede di utilizzare una cabina con struttura in acciaio previo rivestimento fonoassorbente atto ad ottenere un cabinato insonorizzante.

Descrizione cabina:

- Lunghezza 9150 mm
- Larghezza 7800 mm
- Altezza 7300 mm
- Spessore pannelli 80 mm
- Telaio in tubolare di ferro di sezione 100×100×3 mm
- Apertura per passaggio materiale pressato
- Porta pedonale con doppio cristallo antisfondamento
- Portone con doppio cristallo antisfondamento
- Aperture per passaggio canalina elettrica
- Aperture per passaggio tubi
- Rivestimento interno con pannelli fonoassorbenti "Isofire wall - fono" di spessore 50 mm
- Potere fonoisolante dichiarato 18 dB

Anno di realizzazione: 2005

Risultati acustici:

L_{Aeq} misurati a 1.5 m dalla vetrata in posizione operatore:

- prima intervento: > 91 dB
- dopo intervento: < 67 dB

Fattori di criticità:

Nessuno

Costi approssimativi:

€ 16000 + IVA

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Metalmeccanico-Produzione
scaffalature metalliche

Tipo di intervento:
Cabina fonoisolante

Scheda n. C2.19

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione del macchinario per lo stampaggio di nastri metallici adibiti alla produzione di scaffalature ad uso civile con un cabina fonoisolante.



Descrizione dell'intervento:

Il trattamento realizzato si articola essenzialmente in una soluzione che prevede l'installazione di una cabina rivestita di materiale fonoassorbente, atto ad ottenere un cabinato insonorizzante con funzioni di produzione di materiale metallico. Gli obiettivi di tipo ambientale che devono essere rispettati sono il contenimento della rumorosità nell'ambiente di lavoro e il rispetto del livello ammissibile verso l'ambiente esterno.

La cabina fonoisolante racchiude il macchinario ed è completamente realizzata con pannelli in lamiera rivestiti sul lato interno da materiale fonoassorbente; in questo modo si realizzano tamponamenti ad elevato fonoisolamento (per la massa elevata), fonoassorbenti, ma di spessore limitato.

La cabina è realizzata mediante un telaio portante modulare, tamponata da pannelli prefabbricati in lamiera d'acciaio e fibra minerale con guaine e cartongesso.

Anno di realizzazione: 2003

Risultati acustici:

L_{Aeq} misurati a 1.5 m da terra ed alla distanza di 1 m dalla porta di accesso alla cabina, in posizione operatore:

- prima intervento: 100.5 dB(A)
- dopo intervento: 80.0 dB(A)

Fattori di criticità:

Il progetto prevede l'installazione definitiva della cabina e quindi va prestata una maggiore attenzione nelle manovre di asservimento con carrello elevatore. La soluzione insonorizzante deve inoltre essere parzialmente rimossa per le operazioni di manutenzione al motore della pressa

Costi approssimativi:

€ 35.000

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria del vetro

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante

Scheda n. C2.20

Descrizione della problematica:

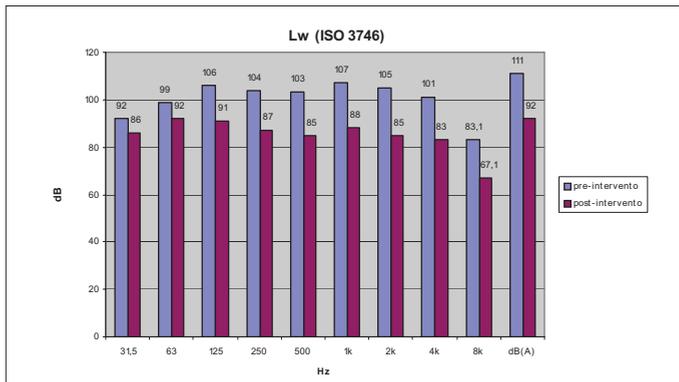
Insonorizzazione tramite una cappottatura di una pressa orizzontale a caldo per la produzione di bulloni con applicazione della Direttiva Macchine (98/37/CEE), in quanto i cabinati insonorizzanti debbono essere considerati componenti di sicurezza (lettera del Ministero dell'Industria prot. N.762440 del 31 Luglio 1998).



Descrizione dell'intervento:

La cabina è realizzata con strutture portanti in scatolato verniciate a polveri epossipoliestere e imbullonate fra loro. Al telaio portante sono avvitati i pannelli fonoisolanti/fonoassorbenti costituiti da involucro in lamiera pressopiegata verniciata a polveri epossipoliestere coibentati internamente con materiali fonoassorbenti ignifughi, protetti superficialmente con film anti-olio e rete microstrirata zincata di contenimento.

Anno di realizzazione: 2005



Comparto produttivo: Industria del vetro	Tipo di intervento: Cabinato insonorizzante	<i>Segue scheda n. C2.20</i>
<i>Risultati acustici:</i>	<p>L_{Aeq}:</p> <ul style="list-style-type: none"> - prima intervento: tra 94 e 102 dB - dopo intervento: <82 dB 	
<i>Fattori di criticità:</i>	<p>Nella realizzazione del cabinato insonorizzante si deve soprattutto prendere in considerazione il calore generato dai pezzi in lavorazione, precedentemente portati a circa 1000 °C di temperatura superficiale da un forno a induzione. Dove i pezzi sia di scarto che finiti vengono accumulati in speciali cassoni la cabina è senza pannelli al tetto per evitare danni strutturali dovuti all'irraggiamento dei pezzi incandescenti.</p> <p>La cabina è inoltre dotata di ventilatori di estrazione aria e di adeguati silenziatori per consentire il passaggio d'aria senza penalizzare il potere fonoisolante.</p> <p>Le operazioni di normale manutenzione sono eseguibili senza ricorrere a qualsivoglia smontaggio grazie alla presenza di porte di accesso a battente e scorrevoli al tetto per accedere agli organi della macchina.</p> <p>Il cabinato consente, per le operazioni di manutenzione straordinaria, agevoli smontaggi parziali o totali.</p> <p>Caratteristiche essenziali dei materiali da impiegarsi, oltre a quelle acustiche, riguardano il comportamento al fuoco dei materiali fonoassorbenti che sono in Classe "0"(zero) di reazione al fuoco.</p>	
<i>Costi approssimativi:</i>	n.d.	
Intervento di tipo:	standard [X]	prototipo []

Comparto produttivo:
Industria
metalmecanica

Tipo di intervento:
Cappottatura sistema di asciugatura
ad aria compressa.

Scheda n. C2.21

Descrizione della problematica:

L'intervento è stato attuato in un'azienda produttrice di componenti oleodinamici speciali, ovvero gruppi distributori per il comando dei sistemi oleodinamici stessi.

In particolare, l'intervento tecnico ha avuto come obiettivo la riduzione dell'emissione sonora proveniente dall'attività manuale di asciugatura con aria compressa dei pezzi in uscita dalle macchine di lavaggio.



Descrizione dell'intervento:

IL'intervento realizzato consiste nell'installazione di un'apposita cappottatura, dotata di maniche di manipolazione dei pezzi e di schermo in plexiglass che garantisce la perfetta visione del pezzo durante lo svolgimento dell'attività.

Si evidenzia che tale intervento tecnico ha migliorato, oltre alle condizioni espositive del lavoratore al rischio rumore, anche le condizioni di esposizione del lavoratore agli agenti chimici presenti sul pezzo in uscita dalla fase di lavaggio.

Anno di realizzazione: 2005

Fattori di criticità:

Nessuno

Risultati acustici:

L_{Aeq}

- prima intervento: 100.4 dB(A)

- dopo intervento: 86.5 dB(A)

Costi approssimativi:

€ 12.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

C3. Sistemi schermanti

Comparto produttivo:
Chimico

Tipo di intervento:
Schermatura

Scheda n. C3.1

Descrizione della problematica:

rumore di tipo continuo immesso nell'ambiente, dovuto all'espulsione dell'aria dai camini

Descrizione dell'intervento:

Schermatura di un impianto costituito da 4 compressori e di un insieme di pompe e tubazioni, realizzata con pannelli in carpenteria fonoisolanti e fonoassorbenti, di spessore 80mm.
Anno di realizzazione: 2002.



Fattori di criticità:

accessi pedonali e per manutenzione, prevenzione incendio

Costi approssimativi:

100.000,0 € (170,0 €/m²)

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

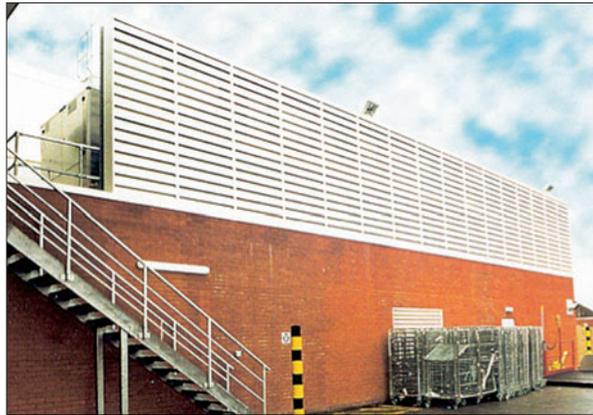
Comparto produttivo:
Terziario

Tipo di intervento:
Schermatura impianto
di condizionamento

Scheda n. C3.2

Descrizione della
problematica:

Persiane acustiche modello SLIMSHIELD®



Descrizione
dell'intervento:

Caratteristiche delle persiane acustiche modello SLIMSHIELD®.

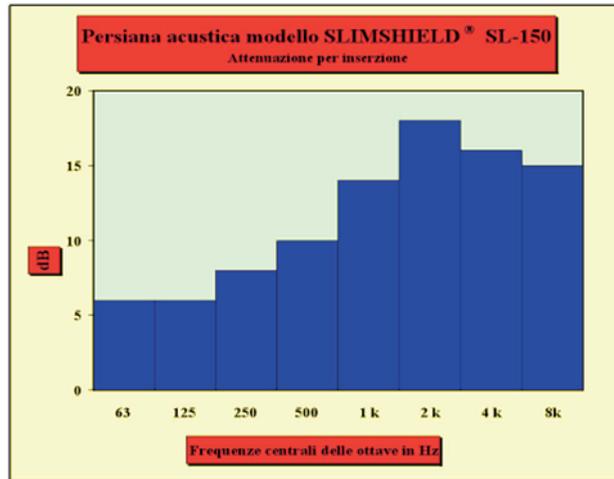
- Sono realizzate in acciaio zincato, preverniciato, acciaio inossidabile od alluminio.
- Il materiale fonoassorbente è incombustibile ed imputrescibile.
- Un particolare profilo d'attacco impedisce l'ingresso all'acqua piovana.
- Lo spessore da 150 mm permette di soddisfare ogni esigenza acustica e d'ingombro.
- L'assemblaggio dei diversi moduli consente l'adattamento ad ogni esigenza dimensionale.
- Il profilo lineare conferisce una particolare estetica
- Una rete zincata permette la funzione antivolatile.
- Numerose finiture superficiali soddisfano ogni esigenza architettonica.

Anno di realizzazione: 2002

Comparto produttivo:
Terziario

Tipo di intervento:
Schermatura impianto
di condizionamento

Segue scheda n. C3.2



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
- prima intervento: n.d.
- dopo intervento: n.d.

Fattori di criticità:

Le alette lineari e la costruzione modulare permettono l'uso in varie situazioni, anche con spazi a disposizione limitati ed esigenze architettoniche severe. Il prodotto è progettato per le migliori prestazioni acustiche e fluidodinamiche. Le tipiche applicazioni sono:

- Ingressi ed espulsioni d'aria per sistemi di processo e di ventilazione naturale o forzata.
- Schermatura di ogni macchina, soprattutto quelle di ventilazione e condizionamento.
- Barriere e schermi acustici.
- Cabinati a grande ventilazione.

Costi approssimativi:

€ 35.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Ambiente esterno

Tipo di intervento:
Barriera antirumore

Scheda n. C3.3

Descrizione della problematica:

Rumore stradale o rumore provocato da industrie, officine, stabilimenti ecc. Solitamente EcoWall si installa nei centri abitati sui confini di scuole, abitazioni private, asili, in ogni luogo dove l'inquinamento acustico supera i livelli consentiti, oppure più semplicemente per abbassare il rumore magari causato da una strada particolarmente trafficata.

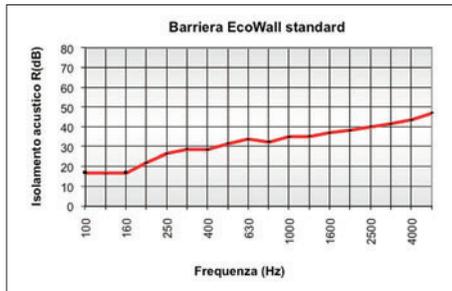


Descrizione dell'intervento:

La barriera EcoWall si installa tramite piantoni di sostegno HEA vincolati a fondazioni adeguate, plinti, muri, poli precedentemente costruiti. I pannelli in legno saranno poi inseriti dall'alto tra i piantoni di sostegno. Alla base, come appoggio e per evitare il contatto diretto tra i pannelli e il terreno, vengono infine inseriti tra i piantoni elementi prefabbricati in cemento armato. Tutti i materiali utilizzati nella barriera sono trattati in modo da resistere alle intemperie nonché agli elementi degradanti come vento e inquinamento. Il legno in particolare è trattato in autoclave per la classe 4 di resistenza.

Risultati acustici:

Misurazione effettuata a tre metri dalla barriera al di là della quale passava una strada altamente trafficata, barriera alta 2,5 m spessore pannelli 130 mm. Rilevamenti di L_{Aeq} presi nello stesso punto anche prima dell'installazione.
 - Prima dell'intervento: 70,3 dB (A)
 - Dopo l'intervento: 61,8 dB (A)



Fattori di criticità:

Finora nessuno

Costi approssimativi:

€ 140,00/mq. montato in opera

Intervento di tipo:

standard

prototipo

C4. Trattamenti fonoassorbenti

Comparto produttivo:
Industria tessile

Tipo di intervento:
Trattamento ambientale
mediante "Baffles"

Scheda n. C4.1

Descrizione della
problematica:

Miglioramento acustico nell'industria tessile



Descrizione
dell'intervento:

Le particolari caratteristiche acustiche del locale, molto riverberante e con una forte componente di campo diffuso anche vicino alle sorgenti, e le condizioni di lavoro del personale (mai stazionario se non per interventi a macchine ferme), hanno suggerito un intervento di tipo ambientale.

Il trattamento acustico è consistito nella correzione acustica ambientale ottenuta mediante l'applicazione a soffitto di una serie di pannellature fonoassorbenti tipo "Baffles" STOPSON - MOD. BV 50 le cui caratteristiche acustiche sono state testate presso l'Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris" di Torino secondo la Norma Internazionale ISO 354 - 1985. Le caratteristiche costruttive di questi baffles possono così essere riassunte:

- ideali per ogni uso industriale
- leggeri
- in Classe "0" zero di reazione al fuoco
- economici

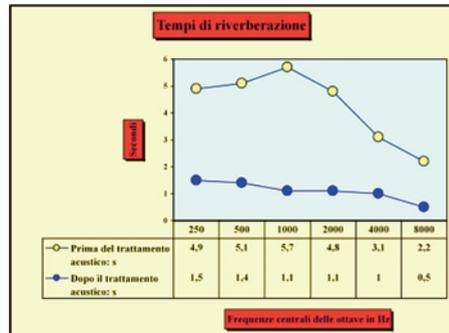
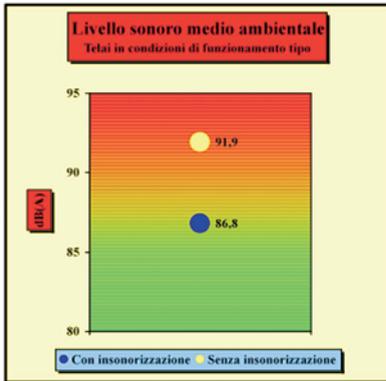
I baffles BV 50 sono ottenuti dall'assemblaggio in un telaio, ricavato dalla lavorazione di lamiere d'acciaio preverniciato e/o zincato, di materiali fonoassorbenti incombustibili, imputrescibili ed inalterabili nel tempo protetti superficialmente con un velo apprettato in fibra di vetro al fine di evitarne lo sfibrillamento.

Anno di realizzazione: 1996

Comparto produttivo:
Industria tessile

Tipo di intervento:
Trattamento ambientale
mediante "Baffles"

Segue scheda n. C4.1



Risultati acustici:

Media dei valori rilevati in quattro punti significativi.

L_{Aeq} :

- prima intervento: 92 dB
- dopo intervento: 87 dB

Fattori di criticità:

I tecnici devono porre la massima attenzione, nel corso della progettazione, ad ottimizzare l'investimento sia in funzione degli obiettivi di risultato sia del rapporto costi benefici.

Infatti, in funzione delle caratteristiche acustiche dell'ambiente, esiste un punto, sulla curva costi-attenuazione sonora, oltre il quale a costi via via crescenti corrispondono incrementi di risultati non più economicamente giustificabili.

È di estrema importanza individuare in fase di progettazione tale condizione al fine di indirizzare correttamente la scelta.

Una precisa conoscenza delle caratteristiche acustiche dei manufatti di cui è previsto l'impiego, consente di ottimizzare i risultati limitando gli investimenti a quanto necessario.

Le caratteristiche acustiche dei baffles BV 50 sono state verificate con misurazioni eseguite presso l'Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris" di Torino, conformemente alla Norma ISO 354-1985 con un'area di 12 m² trattata con elementi standard.

Per la progettazione è indispensabile, oltre alle dimensioni dell'ambiente nel quale i baffles saranno installati soprattutto nel rapporto altezza / minima dimensione trasversale, la valutazione delle sue caratteristiche acustiche: per questo si utilizza la misura del tempo di riverberazione alle varie frequenze dello spettro acustico.

Questo, unitamente alle caratteristiche dello spettro acustico emesso dal macchinario permette la valutazione dei risultati ottenibili.

Costi approssimativi:

€ 40.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria tessile

Tipo di intervento:
Trattamento ambientale
mediante "Baffles"

Scheda n. C4.2

Descrizione della
problematica:

Miglioramento acustico di un reparto tessitura.



Descrizione
dell'intervento:

Le particolari caratteristiche acustiche del locale, molto riverberante e con una forte componente di campo diffuso anche vicino alle sorgenti, e le condizioni di lavoro del personale (mai stazionario se non per interventi a macchine ferme), hanno suggerito un intervento di tipo ambientale.

Il trattamento acustico è consistito nella correzione acustica ambientale ottenuta mediante l'applicazione a soffitto di una serie di pannellature fonoassorbenti tipo "Baffles" STOPSON - MOD. BV 50 le cui caratteristiche acustiche sono state testate presso l'Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris" di Torino secondo la Norma Internazionale ISO 354 - 1985. Le caratteristiche costruttive di questi baffles possono così essere riassunte:

- ideali per ogni uso industriale
- leggeri
- in Classe "0" zero di reazione al fuoco
- economici

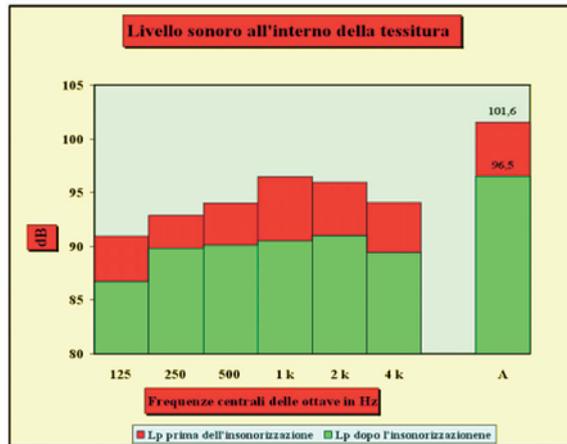
I baffles BV 50 sono ottenuti dall'assemblaggio in un telaio, ricavato dalla lavorazione di lamiera d'acciaio preverniciato e/o zincato, di materiali fonoassorbenti incombustibili, imputrescibili ed inalterabili nel tempo protetti superficialmente con un velo apprettato in fibra di vetro al fine di evitarne lo sfibrillamento.

Anno di realizzazione: 1999

Comparto produttivo:
Industria tessile

Tipo di intervento:
Trattamento ambientale
mediante "Baffles"

Segue scheda n. C4.2



Risultati acustici:

Media dei valori rilevati in quattro punti significativi.

L_{Aeq} :

- prima intervento: 102 dB

- dopo intervento: 97 dB

Fattori di criticità:

Una precisa conoscenza delle caratteristiche acustiche dei manufatti di cui è previsto l'impiego, consente di ottimizzare i risultati limitando gli investimenti a quanto necessario.

Le caratteristiche acustiche dei baffles BV 50 sono state verificate con misurazioni eseguite presso l'Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris" di Torino, conformemente alla Norma ISO 354-1985 con un'area di 12 m² trattata con elementi standard.

Per la progettazione è indispensabile, oltre alle dimensioni dell'ambiente nel quale i baffles saranno installati soprattutto nel rapporto altezza / minima dimensione trasversale, la valutazione delle sue caratteristiche acustiche: per questo si utilizza la misura del tempo di riverberazione alle varie frequenze dello spettro acustico.

Questo, unitamente alle caratteristiche dello spettro acustico emesso dal macchinario permette la valutazione dei risultati ottenibili.

Costi approssimativi:

€ 60.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

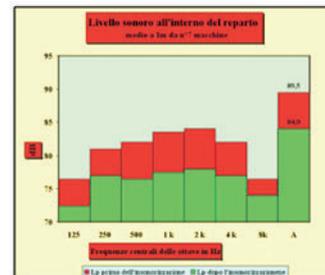
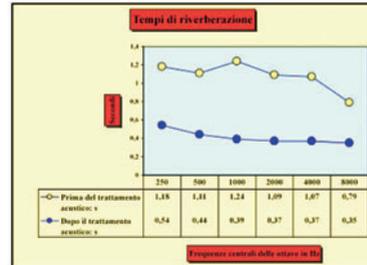
Comparto produttivo:
Industria meccanica

Tipo di intervento:
Trattamento ambientale
mediante "Baffles"

Scheda n. C4.3

Descrizione della
problematica:

Miglioramento acustico di un reparto tranciatura



Risultati acustici:

Media dei valori rilevati in quattro punti significativi.

L_{Aeq} :

- prima intervento: 89 dB

- dopo intervento: 84 dB

Fattori di criticità:

Una precisa conoscenza delle caratteristiche acustiche dei manufatti di cui è previsto l'impiego, consente di ottimizzare i risultati limitando gli investimenti a quanto necessario.

Le caratteristiche acustiche dei baffles BV 50 sono state verificate con misurazioni eseguite presso l'Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris" di Torino, conformemente alla Norma ISO 354-1985 con un'area di 12 m² trattata con elementi standard.

Per la progettazione è indispensabile, oltre alle dimensioni dell'ambiente nel quale i baffles saranno installati soprattutto nel rapporto altezza / minima dimensione trasversale, la valutazione delle sue caratteristiche acustiche: per questo si utilizza la misura del tempo di riverberazione alle varie frequenze dello spettro acustico.

Questo, unitamente alle caratteristiche dello spettro acustico emesso dal macchinario permette la valutazione dei risultati ottenibili.

Costi approssimativi:

€ 20.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria metalmeccanica
 (lavorazioni galvaniche)

Tipo di intervento:
Pannelli fonoassorbenti

Scheda n. C4.4

Descrizione della problematica:

L'attività della società consiste nella produzione di circuiti stampati elettronici ed in particolare nella preparazione dei supporti tramite operazioni di fresatura e foratura.

La soluzione progettata per attenuare gli alti livelli di rumore prodotti dai macchinari consta nel rivestire il soffitto con pannelli fonoassorbenti.



Descrizione dell'intervento:

Il trattamento realizzato si articola essenzialmente in una soluzione che prevede il montaggio nel locale destinato alla lavorazione, di un controsoffitto a pannelli fonoassorbenti del tipo Isotek-Stop e Akustik-Stop.

La superficie totale insonorizzata è di 140 mq.

I pannelli Isotek-Stop sono realizzati in resina melamminica e hanno le seguenti caratteristiche tecniche:

- Lunghezza 1200 mm
- Larghezza 600 mm
- Spessore 50 mm
- Struttura piramidale che consente di triplicare la superficie assorbente
- Classe 1 di reazione al fuoco
- Ottimo assorbimento acustico sulle alte e medie frequenze (500÷2000 Hz)

I pannelli Akustik-Stop sono realizzati in poliuretano espanso flessibile a base di poliestere e hanno le seguenti caratteristiche tecniche:

- Lunghezza 2000 mm
- Larghezza 1000 mm
- Spessore 50 mm
- Struttura piramidale che consente di triplicare la superficie assorbente
- Classe 2 di reazione al fuoco (materiale autoestinguente, non gocciolante)
- Ottimo assorbimento acustico sulle alte e medie frequenze (500÷2000 Hz)

Anno di realizzazione: 2003

Comparto produttivo:
Industria metalmeccanica
(lavorazioni galvaniche)

Tipo di intervento:
Pannelli fonoassorbenti

Segue scheda n. C4.4

Risultati acustici:

L_{Aeq} misurati al centro del luogo di lavoro all'altezza di 1.7 m:

- prima intervento: > 83 dB
- dopo intervento: < 78 dB

Fattori di criticità:

La soluzione necessita di pulizia periodica per evitare accumulo di polvere, inoltre il fissaggio al soffitto deve esser realizzato con un collante privo di solventi qualora il supporto sia in truciolato.
 L' Isotek-Stop a differenza dell' Akustik-Stop presenta una maggiore fragilità e pertanto non possono esser usate pistole spara punti per consolidarlo al soffitto.

Costi approssimativi:

€ 2.500

Intervento di tipo:

standard

prototipo

C5. Sistemi silenzianti

Comparto produttivo:
Produzione di
componenti elettrici

Tipo di intervento:
Silenziatore dissipativo

Scheda n. C5.1

Descrizione della problematica:

Rumore di tipo impulsivo immesso nell'ambiente, dovuto all'espulsione dell'aria dai camini

Descrizione dell'intervento:

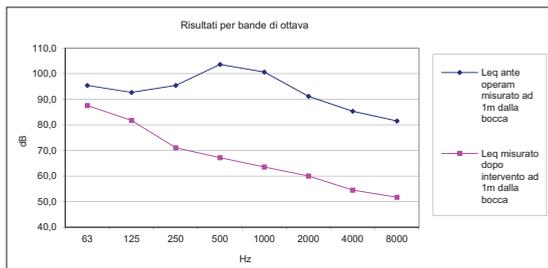
Inserimento silenziatori dissipativi di tipo cilindrico ad ogiva su 6 camini di espulsione aria. Lunghezza dei silenziatori ~ 3m.

Anno di realizzazione: 2002



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 1m dalla bocca di un camino (angolo 45°):
- prima intervento: 103,6 dB(A)
- dopo intervento: 70,8 dB(A)



Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

15.000,00 € (incluso demolizione vecchi camini, verifiche, montaggio)

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Impianto di servizio
Gruppo elettrogeno

Tipo di intervento:
Silenziatore

Scheda n. C5.2

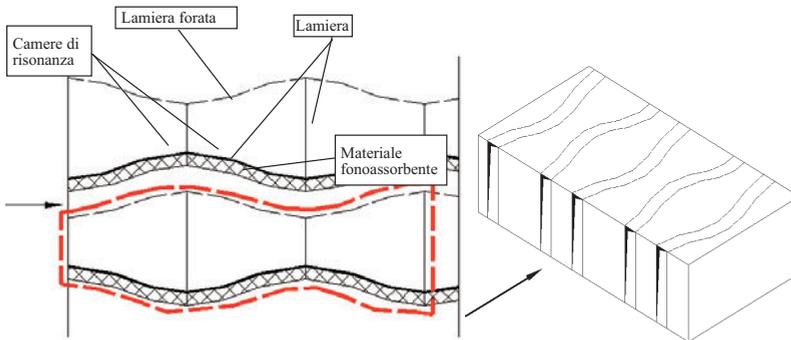
Descrizione della
problematica:

Emissione sonora nell'ambiente esterno circostante

Descrizione
dell'intervento:

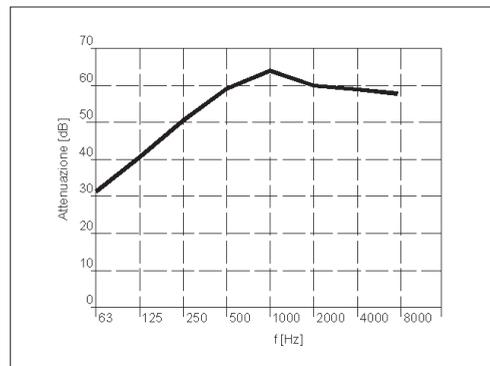
Silenziatore di tipo dissipativo-reattivo (con camere di risonanza); montaggio modulare.

Anno di realizzazione: 1980



Risultati acustici:

Spettro dell'attenuazione sonora (lunghezza totale ~4m)



Fattori di criticità:

esigenze di elevata attenuazione alle medie e alte frequenze e di buona attenuazione anche alle basse frequenze.

Costi approssimativi:

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

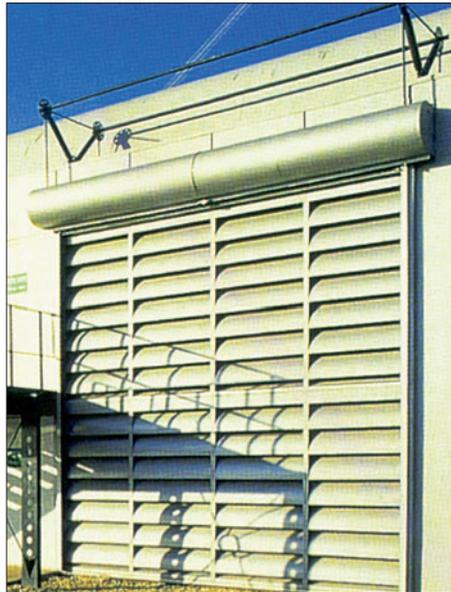
Comparto produttivo:
Terziario

Tipo di intervento:
Persiane acustiche

Scheda n. C5.3

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione delle presa d'aria di un'impianto tecnologico tramite persiane acustiche modello NOISHIELD®.



Descrizione dell'intervento:

Caratteristiche delle persiane acustiche modello NOISHIELD®.

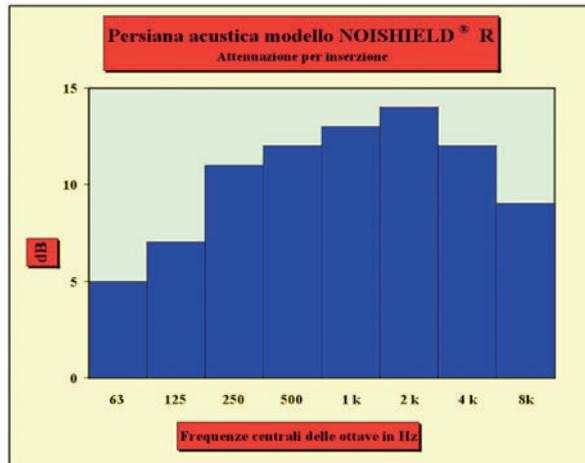
- Sono realizzate in acciaio zincato, preverniciato, acciaio inossidabile od alluminio.
- Il materiale fonoassorbente è incombustibile ed imputrescibile.
- Un profilo aerodinamico consente il raggiungimento delle migliori caratteristiche acustiche con una ridotta perdita di carico.
- Un particolare profilo d'attacco impedisce l'ingresso all'acqua piovana.
- Lo spessore è di 305 mm e caratterizza le persiane ad un solo rango.
- L'assemblaggio dei diversi moduli consente di soddisfare ogni esigenza dimensionale.
- Una rete zincata permette la funzione antivolatile.
- Numerose finiture superficiali soddisfano ogni esigenza architettonica.

Anno di realizzazione: 2003

Comparto produttivo:
Terziario

Tipo di intervento:
Persiane acustiche

Segue scheda n. C5.3



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: n.d.
- dopo intervento: n.d.

Fattori di criticità:

L'accuratezza nella ricerca del miglior profilo aerodinamico e la raffinatezza del design, fanno delle persiane NOISHIELD® il prodotto ideale per compendiare le necessità tecniche con le esigenze architettoniche.

Le tipiche applicazioni sono:

- Schermatura di ogni macchina, soprattutto quelle di ventilazione e condizionamento.
- Barriere e schermi acustici.
- Ingressi ed espulsioni d'aria per sistemi di processo e di ventilazione naturale o forzata.

Costi approssimativi:

€ 11.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria cartaria

Tipo di intervento:
Silenziatori per valvole di scarico

Scheda n. C5.4

Descrizione della
problematica:

Silenziatori per vapore all'atmosfera modello SPM.



Descrizione
dell'intervento:

I silenziatori del tipo SPM funzionano sul principio dell'espansione progressiva e controllata del fluido e sul principio dell'assorbimento.

Espansione: Il passaggio del fluido avviene attraverso un cosiddetto espansore monostadio ad espansione progressiva, realizzato con un elemento forato concentrico alla tubazione di ingresso.

Assorbimento: L'assorbimento avviene mediante il passaggio diretto del fluido tra elementi cilindrici concentrici fonoassorbenti e quindi è escluso il passaggio del fluido stesso attraverso il materiale fonoassorbente.

Il corpo dei silenziatori, in cui sono installati l'espansore e la parte ad assorbimento, prevede un rivestimento interno mediante l'impiego di materiale fonoassorbente protetto da lamiere forate così come per l'elemento ad assorbimento.

I silenziatori sono realizzati in modo da permettere il libero esercitarsi delle dilatazioni termiche fra i diversi componenti che lo costituiscono.

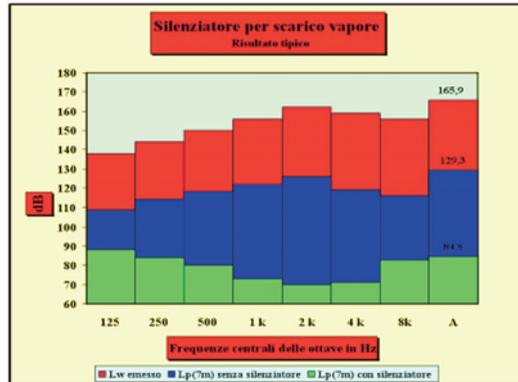
Gli spessori del corpo cilindrico e del fondo, progettati per il particolare impiego delle apparecchiature, sono garanzia di idonea resistenza alle sollecitazioni meccaniche e termiche sia di elevato isolamento acustico alla trasparenza della rumorosità del corpo stesso.

Anno di realizzazione: 2001

Comparto produttivo:
Industria cartaria

Tipo di intervento:
Silenziatori per valvole di scarico

Segue scheda n. C5.4



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
- prima intervento: 130 dB
- dopo intervento: 85 dB

Fattori di criticità:

DIRETTIVA PED 97/23 CE

L'espansore monostadio della classe SPM è un elemento di tubazione chiuso da un fondo, raccordato ad una rete in pressione mediante saldatura o flangia, dotato di fori attraverso i quali il vapore si espande all'atto dello sfiato in atmosfera della rete in pressione.

L'espansore monostadio è un elemento collegato alle parti soggette a pressione ai sensi dell'articolo 2.1 della direttiva sopra richiamata, esso quindi fa parte degli "apparecchi a pressione" ai sensi dell'art. 1, lo stesso rientra a questo titolo nel campo di applicazione della direttiva.

La pressione da prendere in considerazione per la valutazione della categoria di rischio è quella definita in 2.3: "pressione massima per cui l'elemento è concepito, definita dal fabbricante".

La pressione definita in 2.2 è la pressione misurata rispetto alla pressione atmosferica; occorre quindi prendere in conto la contropressione massima derivante dal calcolo di dimensionamento meccanico riportato nel dossier di definizione del silenziatore.

Il parametro geometrico da prendere in conto per determinare la classe di rischio è il "DN" come definito in 2.6.

Lo stesso è dimensionato in accordo a un codice di calcolo riconosciuto.

Prova idraulica: questa prova non è tecnicamente possibile in quanto il prodotto finito è costituito da un tubo perforato.

La posizione che attualmente sembra essere presa dagli organismi interpellati suggerisce di sostituire la prova (prevista per tutte le classi di rischio: cat. I, II, III, IV) con:

- Un certificato del fabbricante del tubo relativo al rating del tubo medesimo
- Un controllo non distruttivo delle saldature presenti sull'espansore

Costi approssimativi:

€ 15.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria dell'energia

Tipo di intervento:
Silenziatori di by-pass

Scheda n. C5.5

Descrizione della
problematica:

Silenziatore di by-pass per turbina a gas in impianto di cogenerazione



Descrizione
dell'intervento:

L'impiego sempre più frequente di queste macchine in ambito industriale richiede l'impiego di silenziatori di scarico in grado di soddisfare le esigenze di abbattimento del livello sonoro specifiche del luogo di installazione: basti pensare all'industria cartaria, tessile, chimica, farmaceutica, alimentare o della gomma dove, accanto alla produzione di energia elettrica, il calore viene recuperato come vapore o acqua calda.

Ancor maggiore impegno progettuale richiedono le installazioni in centri densamente abitati per produrre energia elettrica da distribuire in rete e calore per il teleriscaldamento delle abitazioni. Se infatti queste realizzazioni si pongono tra gli altri obiettivi quello della riduzione dell'inquinamento da riscaldamento, non possono modificare le qualità acustiche ambientali.

In ogni caso l'esperienza ha dimostrato che con una accurata progettazione è possibile soddisfare anche le più severe esigenze ambientali.

Numerosi sono i casi di installazione presso insediamenti urbani che non hanno portato variazioni di impatto ambientale.

In ogni caso l'esperienza ha dimostrato che con una accurata progettazione è possibile soddisfare anche le più severe esigenze ambientali.

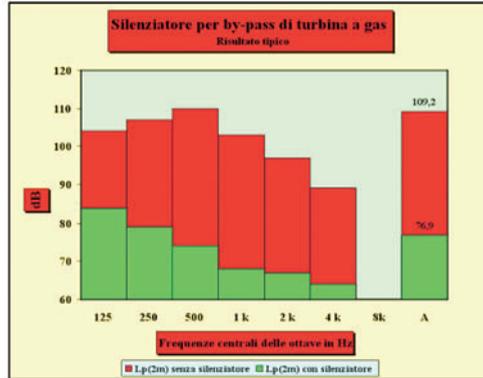
Numerosi sono i casi di installazione presso insediamenti urbani che non hanno portato variazioni di impatto ambientale.

Anno di realizzazione: 1998

Comparto produttivo:
Industria dell'energia

Tipo di intervento:
Silenziatori di by-pass

Segue scheda n. C5.5



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: n.d.
- dopo intervento: n.d.

Fattori di criticità:

Il progetto fluidodinamico:

È forse la fase più complessa della progettazione in quanto le perdite di carico disponibili sono limitate a fronte di portate volumetriche e velocità nei condotti elevate.

Questo impone l'esigenza di una padronanza assoluta nel calcolo delle perdite di carico, in funzione dei profili aerodinamici previsti per l'apparecchiatura.

Il progetto meccanico:

Le condizioni termiche impongono la necessità di verificare che non insorgano pericolose tensioni dovute alle dilatazioni termiche impedito. L'impiego degli acciai inossidabili è indispensabile nei silenziatori installati sui by-pass.

La scelta dei materiali fonoassorbenti, imputrescibili ed incombustibili, unita al loro posizionamento ed alla loro densità permette le migliori caratteristiche di resistenza all'insaccamento; non ultima esigenza è l'affidabilità nel tempo per la quale, al di là delle lamiere forate di protezione, possono essere previsti particolari accorgimenti per impedirne lo sfilbrillamento.

Costi approssimativi:

€ 13.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria motoristica

Tipo di intervento:
Silenziatori per motore a gas

Scheda n. C5.6

Descrizione della problematica:

Silenziatori di tipo industriale modello SM40



Descrizione dell'intervento:

Questi silenziatori sono previsti per essere utilizzati sugli scarichi dei motori a combustione interna a Gas, ma anche Diesel e Benzina.

La costruzione prevede un corpo interamente saldato realizzato in acciaio adatto alle condizioni di impiego.

L'ingresso puo' essere assiale o radiale in funzione dei differenti modelli.

I silenziatori SM40 si basano su due sistemi di attenuazione sonora:

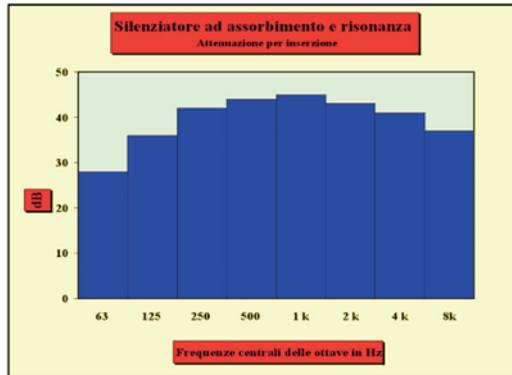
- assorbimento
- risonanza

Anno di realizzazione: 2000

Comparto produttivo:
Industria motoristica

Tipo di intervento:
Silenziatori per motore a gas

Segue scheda n. C5.6



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: n.d.
- dopo intervento: n.d.

Fattori di criticità:

Nella progettazione devono essere tenute in particolare considerazione:

- le caratteristiche dei gas di scarico, in particolare alla loro aggressività chimica.
- Le perdite di carico disponibili.
- Le temperature d'impiego.

Costi approssimativi:

€ 6.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria petrolchimica

Tipo di intervento:
Silenziamento prese d'aria

Scheda n. C5.7

Descrizione della problematica:

Un gruppo di quattro forni a bottiglia, per la rumorosità emessa dai bruciatori posti sotto la suola del forno, erano causa di elevati livelli sonori in una vasta area circostante.

Descrizione dell'intervento:

Realizzazione di prese d'aria silenziate mediante setti fonoassorbenti della lunghezza di circa 1 m.

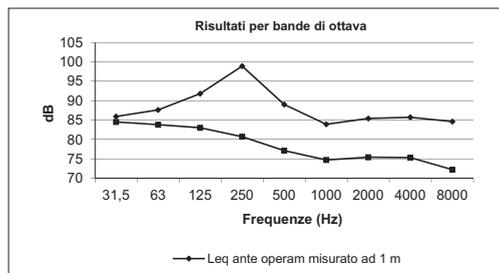
Anno di realizzazione 2003.



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 1 m dal perimetro del forno:

- prima intervento: 94,8 dB(A)
- dopo intervento: 82,4 dB(A)



Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

in opera circa € 55.000,00

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Impianto petrolchimico

Tipo di intervento:
Silenziatore

Scheda n. C5.8

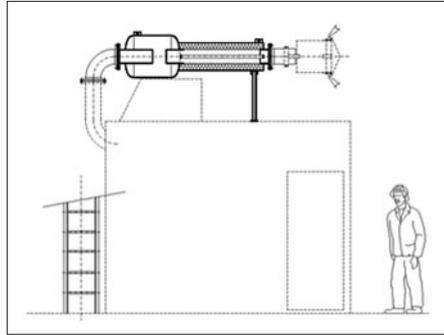
Descrizione della problematica:

Le soffianti ad aspi rotanti sono macchine molto rumorose. Nel caso illustrato una soffiante con motore da 142 kW era già insonorizzata con una cabina acustica. Tuttavia lo scarico all'esterno dell'aria espulsa dalla soffiante era esso stesso fonte di elevata rumorosità, vanificando l'insonorizzazione del corpo macchina.

Descrizione dell'intervento:

Applicazione sullo scarico di un silenziatore di tipo misto, a camera di espansione risonante e ad assorbimento.

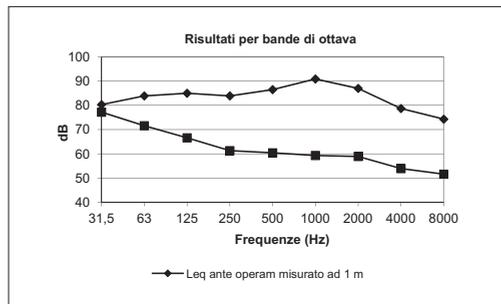
Anno di realizzazione: 2002.



Risultati acustici:

L_{Aeq} medio misurato ad 1 m dallo scarico

- prima intervento: 93.5 dB(A)
- dopo intervento: 65 dB(A)



Fattori di criticità:

Costo fornitura: circa € 1.200

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Vari

Tipo di intervento:
Box insonorizzante

Scheda n. C5.9

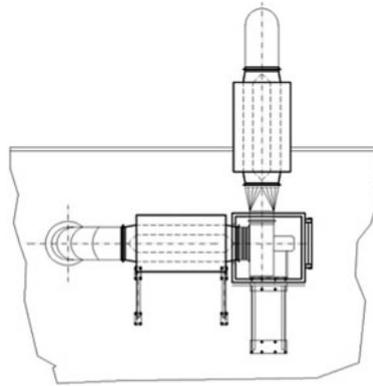
Descrizione della problematica:

Gli scarichi in atmosfera di ventilatori di processo sono spesso causa di inquinamento acustico presso insediamenti abitativi posti nelle vicinanze.

Descrizione dell'intervento:

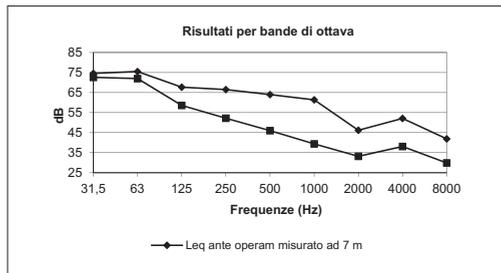
Chiusura di un ventilatore da 5000 m³/h in un box insonorizzante, applicazione di un silenziatore sulla mandata e di uno sull'aspirazione in modo da ridurre sia la rumorosità verso l'esterno sia quella prodotta all'interno dell'edificio nell'area di lavoro.

Anno di realizzazione: 2003



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 7 m dal ventilatore:
- prima intervento: 66,2 dB(A)
- dopo intervento: 50,8 dB(A)



Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

in opera circa € 2.700,00

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria petrolchimica

Tipo di intervento:
Silenziamento gruppi motore

Scheda n. C5.10

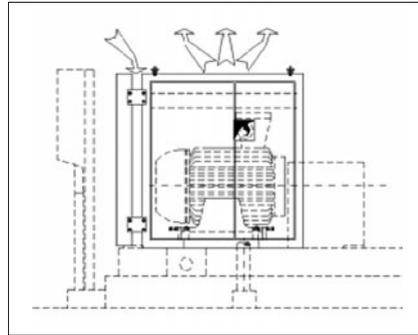
Descrizione della problematica:

I gruppi motore-pompa sono fra le tipologie più diffuse in un impianto petrolchimico. L'elevata rumorosità emessa prevalentemente dal motore e l'alta concentrazione dei gruppi in determinate aree è causa di livelli sonori pericolosi per gli addetti.

Descrizione dell'intervento:

Realizzazione di box insonorizzanti con prese e scarichi d'aria silenziati.

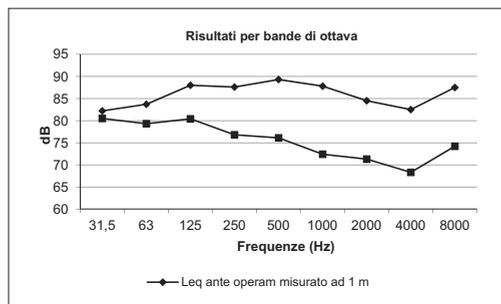
Anno di realizzazione 2002



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 1 m dal motore:

- prima intervento: 93,5 dB(A)
- dopo intervento: 79,4 dB(A)



Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

in opera circa € 1.300,00

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Power Generation

Tipo di intervento:
GT Air Intake System

Scheda n. C5.11

Descrizione della
problematica:

Insonorizzazione del condotto di aspirazione Turbogas



Descrizione
dell'intervento:

L'intervento di insonorizzazione consiste nell'inserimento di un silenziatore ad assorbimento nel condotto di aspirazione.

Il sistema di aspirazione di una turbina a gas è il risultato del binomio "sistema di filtrazione" e " sistema di insonorizzazione".

Mentre il primo può essere piuttosto variabile in funzione delle condizioni ambientali del sito (si passa da sistemi con filtri convenzionali statici in varie combinazioni a sistemi con pulizia automatica delle cartucce, i cosiddetti "pulse-jet", entrambi anche eventualmente abbinati a sistemi inerziali di vario tipo), il secondo è sempre costituito da setti fonoassorbenti installati all'interno del condotto; il condotto è poi coibentato (esternamente e/o internamente) dalla flangia di turbina al silenziatore.

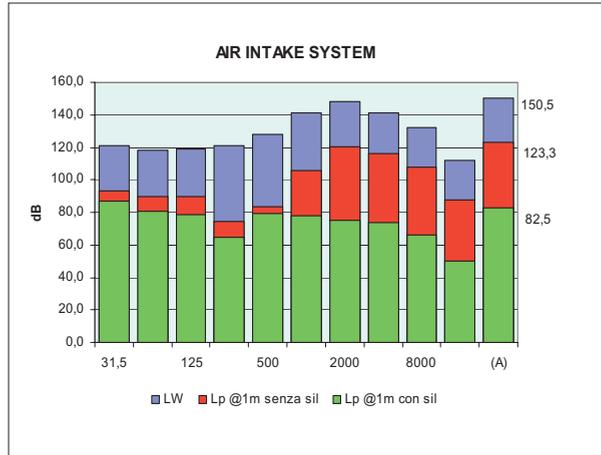
I setti sono realizzati in acciaio inossidabile, con profilo aerodinamico per ridurre al massimo le perdite di carico del sistema.

Anno di realizzazione: 2000

Comparto produttivo:
Power Generation

Tipo di intervento:
GT Air Intake System

Segue scheda n. C5.11



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: 123,3 dB(A)
- dopo intervento: 82,5 dB(A)

L_{WA} : 150,5 dB

Fattori di criticità:

Nella realizzazione del sistema si deve cercare il miglior compromesso possibile tra le esigenze di filtrazione e di insonorizzazione, a volte anche in contrasto fra loro (il sistema di pulizia pulse-jet è ad esempio intrinsecamente rumoroso); in entrambi i casi particolare attenzione va posta alla minimizzazione delle perdite di carico, requisito essenziale per le performances di turbina.

Costi approssimativi:

-

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Power Generation

Tipo di intervento:
GT Exhaust System

Scheda n. C5.12

Descrizione della
problematica:

Insonorizzazione del condotto di scarico Turbogas



Descrizione
dell'intervento:

L' intervento di insonorizzazione consiste nell' inserimento di un silenziatore ad assorbimento nel condotto di scarico.

L'intero condotto, dalla flangia di scarico TG alla sommità del camino, è coibentato internamente in accordo alla tecnica di "CLADDING": il materiale coibente steso sulle pareti interne del condotto viene tenuto in posizione e protetto da un sistema di lamierini flottanti ancorati al mantello esterno tramite adeguata piolatura; il sistema permette la libera dilatazione delle lamiere interne sottoposte all'alta temperatura dei gas di scarico.

I setti fonoassorbenti sono posizionati nel camino verticale, e sono sostenuti da una serie di supporti e guide, anch'essi progettati per permettere la libera dilatazione dei setti.

La struttura ed il guscio esterno del setto sono realizzati in acciaio inossidabile; all'interno vengono alloggiati degli speciali cuscini fonoassorbenti in grado di sopportare le severe condizioni di esercizio dovute alle sollecitazioni fluidodinamiche, alle vibrazioni strutturali ed alla temperatura dei gas di scarico ($T=600^{\circ}\text{C}$).

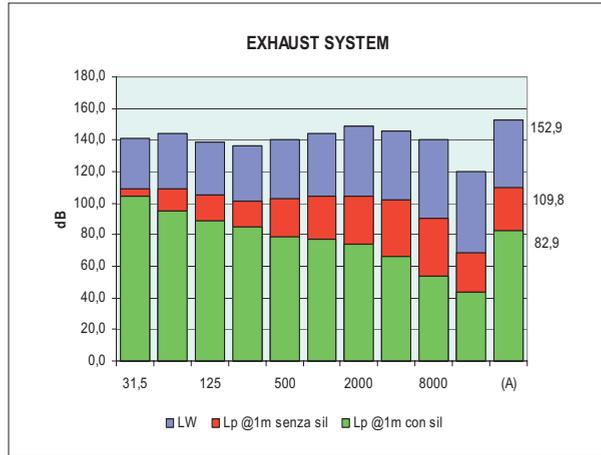
La presenza di una opportuna flow-grid assicura un adeguato profilo di velocità e l'uniformità del flusso di gas attraverso i setti.

Anno di realizzazione: 2000

Comparto produttivo:
Power Generation

Tipo di intervento:
GT Exhaust System

Segue scheda n. C5.12



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: 109,8 dB(A)
- dopo intervento: 82,9 dB(A)

L_{WA} : 152,9 dB

Fattori di criticità:

Causa l'elevata velocità e l'alta temperatura dei gas di scarico, esiste la concreta possibilità del parziale e/o totale svuotamento dei setti, con la conseguenza del mancato rispetto delle garanzie acustiche.

Costi approssimativi:

-

Intervento di tipo:

standard

prototipo

Comparto produttivo:
Power Generation

Tipo di intervento:
GT Exhaust System

Scheda n. C5.13

Descrizione della
problematica:

Insonorizzazione del condotto di scarico Turbogas
CICLO SEMPLICE



Descrizione
dell'intervento:

L' intervento di insonorizzazione consiste nell' inserimento di un silenziatore ad assorbimento nel condotto di scarico.

L'intero condotto, dalla flangia di scarico TG alla sommità del camino, è coibentato internamente in accordo alla tecnica di "CLADDING": il materiale coibente steso sulle pareti interne del condotto viene tenuto in posizione e protetto da un sistema di lamierini flottanti ancorati al mantello esterno tramite adeguata piolatura; il sistema permette la libera dilatazione delle lamiere interne sottoposte all'alta temperatura dei gas di scarico.

I setti fonoassorbenti sono posizionati nel camino verticale, e sono sostenuti da una serie di supporti e guide, anch'essi progettati per permettere la libera dilatazione dei setti.

La struttura ed il guscio esterno del setto sono realizzati in acciaio inossidabile; all'interno vengono alloggiati degli speciali cuscini fonoassorbenti in grado di sopportare le severe condizioni di esercizio dovute alle sollecitazioni fluidodinamiche, alle vibrazioni strutturali ed alla temperatura dei gas di scarico ($T=600^{\circ}\text{C}$).

La presenza di una opportuna flow-grid assicura un adeguato profilo di velocità e l'uniformità del flusso di gas attraverso i setti.

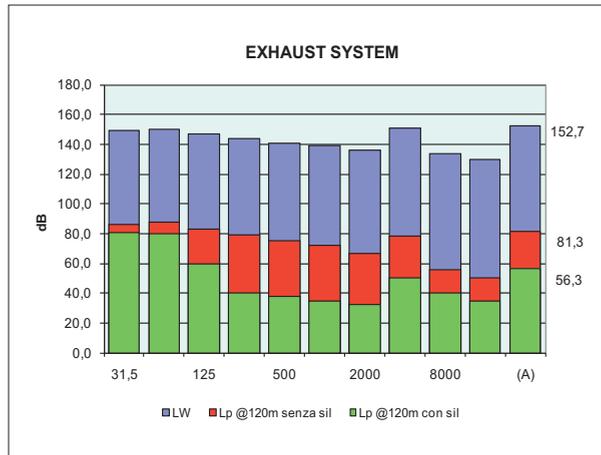
In questo caso l'obiettivo richiesto è il rispetto del valore limite di livello di pressione sonora residua a 120m (confine della centrale).

Anno di realizzazione: 2009

Comparto produttivo:
Power Generation

Tipo di intervento:
GT Exhaust System

Segue scheda n. C5.13



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: 81,38 dB(A)
- dopo intervento: 56,3 dB(A)

L_{WA} : 152.7 dB(A)

Fattori di criticità:

Causa l'elevata velocità e l'alta temperatura dei gas di scarico, esiste la concreta possibilità del parziale e/o totale svuotamento dei setti, con la conseguenza del mancato rispetto delle garanzie acustiche.

Costi approssimativi:

-

Intervento di tipo:

standard

prototipo

Comparto produttivo:
Power Generation

Tipo di intervento:
GT Exhaust System

Scheda n. C5.14

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di un sistema di scarico Turbogas e caldaia a recupero
IMPIANTO DI POTENZA AD IDROGENO



Descrizione dell'intervento:

L' intervento di insonorizzazione consiste nell' inserimento di un silenziatore ad assorbimento nel camino di bypass, e di una predisposizione per l'inserimento di setti fonoassorbenti nel camino finale.

L'intero condotto, dalla flangia di scarico TG alla sommità del camino di bypass, è coibentato internamente in accordo alla tecnica di "CLADDING": il materiale coibente steso sulle pareti interne del condotto viene tenuto in posizione e protetto da un sistema di lamierini flottanti ancorati al mantello esterno tramite adeguata piolatura; il sistema permette la libera dilatazione delle lamierine interne sottoposte all'alta temperatura dei gas di scarico.

I setti fonoassorbenti sono posizionati nel camino verticale, e sono sostenuti da una serie di supporti e guide, anch'essi progettati per permettere la libera dilatazione dei setti.

La struttura ed il guscio esterno del setto sono realizzati in acciaio inossidabile; all'interno vengono alloggiati degli speciali cuscini fonoassorbenti in grado di sopportare le severe condizioni di esercizio dovute alle sollecitazioni fluidodinamiche, alle vibrazioni strutturali ed alla temperatura dei gas di scarico ($T=600^{\circ}\text{C}$).

La presenza di una opportuna flow-grid assicura un adeguato profilo di velocità e l'uniformità del flusso di gas attraverso i setti.

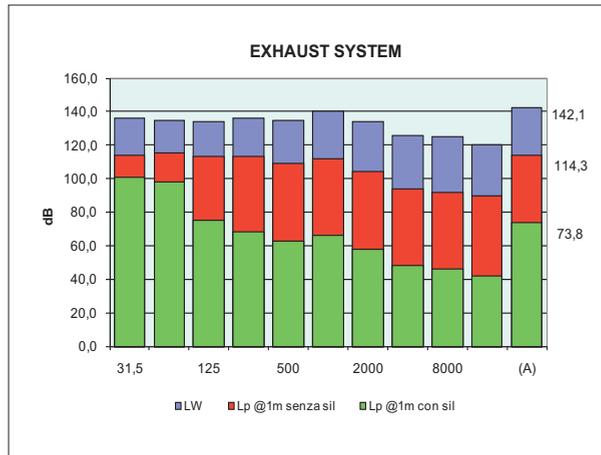
Il camino finale ($h=50\text{m}$) a valle della caldaia è interamente in acciaio inossidabile, alloggia un demister ed è completo di scale e passerelle.

Anno di realizzazione: 2008/2009

Comparto produttivo:
Power Generation

Tipo di intervento:
GT Exhaust System

Segue scheda n. C5.14



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: 114,3 dB(A)
- dopo intervento: 73,8 dB(A)

L_{WA} : 142,1 dB(A)

Fattori di criticità:

Causa l'elevata velocità e l'alta temperatura dei gas di scarico, esiste la concreta possibilità del parziale e/o totale svuotamento dei setti, con la conseguenza del mancato rispetto delle garanzie acustiche.

Costi approssimativi:

-

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

C6. Cabine per operatore

Comparto produttivo:
Industria petrolchimica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzata

Scheda n. C6.1

Descrizione della problematica:

Cabina di riposo acustico in zona antideflagrante.



Descrizione dell'intervento:

La cabina realizzata con gli accorgimenti necessari per l'installazione all'esterno si compone di una struttura portante monoblocco, realizzata impiegando lamiera di acciaio al carbonio zincato opportunamente pressopiegata, e di pannelli di tamponatura ad essa saldati: la cabina è pertanto sollevabile e facilmente trasportabile in un sol pezzo.

Il pavimento è costituito da una lamiera di acciaio striata interna e da una lamiera esterna di acciaio zincato con interposizione di materiale fonoassorbente ed appoggia su quattro antivibranti.

I pannelli ciechi di tamponatura sono realizzati con lamiera di acciaio al carbonio zincato, scatolata ai bordi per il contenimento del materiale fonoassorbente e per il sostegno delle lamiere stirate di protezione. Verso l'interno della scotolatura della lamiera piena dei pannelli si troverà il materiale fonoassorbente che possiede altresì caratteristiche fonoimpedenti e fonosmorzanti.

Il materiale fonoassorbente impiegato offre le migliori caratteristiche di inalterabilità imputre-sciabilità e incombustibilità (classe zero di reazione al fuoco), è lana di roccia in pannelli resinati aventi opportuna densità e tale da offrire le migliori garanzie di resistenza all'insaccamento.

La protezione meccanica del materiale fonoassorbente è assicurata da lamiera stirata, fissata al risbordo interno della lamiera piena esterna mediante rivetti metallici.

Comparto produttivo:
Industria petrolchimica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzata

Segue scheda n. C6.1

*Descrizione
dell'intervento:*

Per offrire le migliori garanzie di tenuta al rilascio di particelle di materiale fonoassorbente nell'ambiente è prevista la sua protezione con velo di vetro, risbordato sui lati, costituito da fibre di vetro stese, pressate in più strati e incollate tra loro da adatta resina.

La protezione dei materiali metallici, ad esclusione delle lamiere forate interne che sono zincate e preverniciate, è ottenuta con un ciclo epossidico adatto per lamiere zincate e con una mano a finire con smalto poliuretano.

La visibilità esterna è garantita da ampie vetrature realizzate con vetri di sicurezza, e l'accessibilità mediante due porte a semplice battente con vetro e dotate di chiusura di sicurezza antipanico.

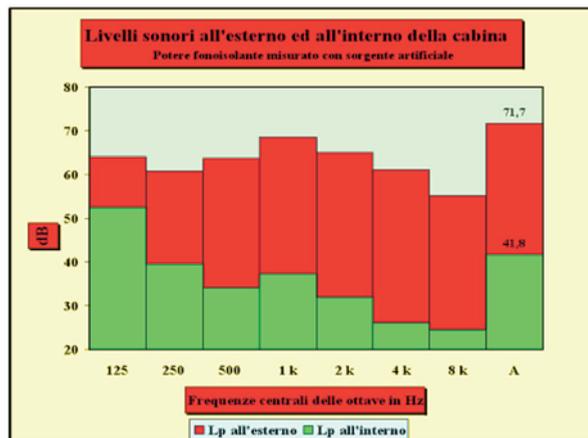
Tutte le guarnizioni impiegate per la tenuta acustica sono in neoprene, con diversa forma e finitura a seconda dell'impiego, ma con le migliori caratteristiche di resistenza agli oli, all'invecchiamento, alla luce, agli acidi ed agli agenti atmosferici.

Particolare cura è prevista per la climatizzazione interna, infatti è installato un impianto di condizionamento realizzato tenendo conto delle condizioni climatiche sia invernali estive del luogo. È composto essenzialmente da un condizionatore ad aria installato all'esterno su una parete laterale della cabina; da griglie di sovrappressione, da un termostato ambiente e da un quadro elettrico di comando interno alla cabina; è provvisto di una resistenza elettrica per il riscaldamento invernale.

L'impianto di alimentazione del condizionatore così come l'impianto di illuminazione è composto da un quadro elettrico di potenza ed ausiliari, da linee di collegamento tra quadro e apparecchiature in esecuzione stagna, grado di protezione IP 55, i fili impiegati di sezione adeguata, sono antifiamma e protetti con tubazioni in acciaio zincato filettate di idoneo diametro complete dei relativi accessori di cablaggio.

Tutte le apparecchiature utilizzate per la realizzazione di questo impianto sono in esecuzione antideflagrante e provviste di relativi certificati.

Anno di realizzazione: dal 2000 in produzione



Comparto produttivo:
Industria petrolchimica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzata

Segue scheda n. C6.1

Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: n.d.
- dopo intervento: n.d.

Isolamento previsto in impianto: > 25dB(A)

Fattori di criticità:

Nella progettazione acustica degli impianti è prevalente l'attenzione verso il rispetto dei livelli sonori verso l'ambiente esterno. Può quindi risultare che i livelli sonori in prossimità degli impianti siano ancora particolarmente elevati.

Il raggiungimento dei livelli sonori di esposizione per gli operatori, che per le loro mansioni non possono essere allontanati, può in questi casi essere raggiunto con la limitazione dei tempi di esposizione offrendo nel contempo ambienti confortevoli non solo per i livelli sonori ma anche per le condizioni ambientali più in generale.

Si deve obbligatoriamente tenere in debito conto le caratteristiche tipiche dei luoghi di installazione che possono così essere riassunte:

- Livelli sonori elevati
- Esistenza di vibrazioni
- Possibile presenza di gas esplosivi
- Esposizione al sole ed alle intemperie
- Ambienti corrosivi

Costi approssimativi:

€ 15.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria aeronautica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzata

Scheda n. C6.2

Descrizione della
problematica:

Cabina per uso sala controllo per campo volo.

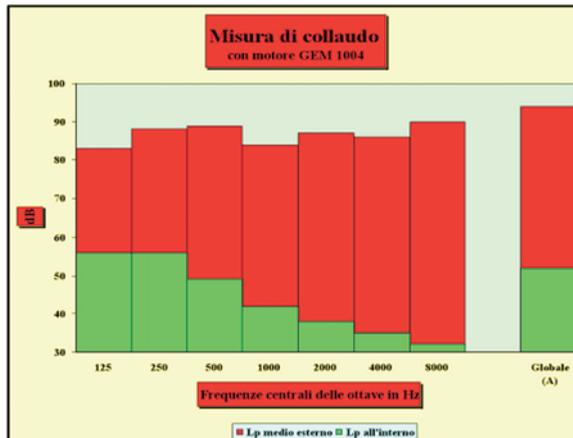


Descrizione
dell'intervento:

Si tratta di un classico prodotto di insonorizzazione impiegato nel mondo aeronautico, che trova utilizzazione fondamentale per fornire al personale non solo condizioni di sicurezza ma anche un ambiente adatto ad operare con la dovuta concentrazione ed attenzione che le moderne tecnologie richiedono. Realizzato in esecuzione monoblocco, consente un rapido posizionamento ed immediato utilizzo essendo trasportabile con tutta la strumentazione già installata al suo interno.

L'esecuzione monoblocco permette inoltre al manufatto di presentare la rigidità e la robustezza alle particolari condizioni di impiego richieste.

Anno di realizzazione: 1995



Comparto produttivo:
Industria aeronautica

Tipo di intervento:
Cabina insonorizzata

Segue scheda n. C6.2

Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: 94 dB
- dopo intervento: 52 dB

Fattori di criticità:

Le peculiari caratteristiche, che devono essere osservate in sede di progettazione, possono essere riassunte:

- Modularità costruttiva
- Semplicità di trasporto ed assemblaggio
- Facilità di sistemazione della strumentazione
- Elevato isolamento acustico
- Buon comfort interno (condizionamento ed illuminazione)

Queste consentono di renderne l'impiego semplice ed efficiente.

Costi approssimativi:

€ 30.000

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Scheda n. C6.3

Comparto produttivo:
Industria del vetro

Tipo di intervento:
Cabina operatore

Descrizione della
problematica:

Cabina operatore per postazione di comando di macchina fresatrice blocchi di Alluminio

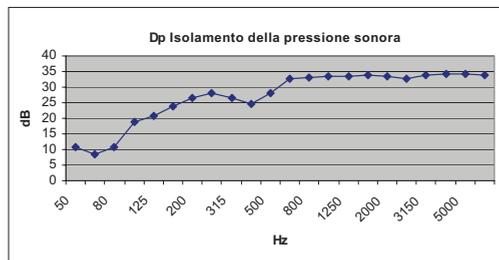


Descrizione
dell'intervento:

La cabina è realizzata con struttura portante monoblocco per poter essere movimentata con carroponete e costituita da pannelli in lamiera coibentati internamente con fibra poliestere immarcescibile e imputrescibile che non rilascia fibre nell'ambiente, e protetti superficialmente con lamiera forata verniciata. Ampie vetrate del tipo stratificato anti-sfondamento permettono di monitorare il ciclo produttivo.

Tra basamento macchina e cabina è stata interposta una guaina anti-vibrante per limitare la trasmissione di vibrazioni alla cabina e all'operatore.

Anno di realizzazione: 2009



Risultati acustici:

Dp "Isolamento della pressione sonora" determinato in opera con sorgente sonora di rumore rosa come:

$$D_p = (L_p)_{\text{esterno cabina}} - (L_p)_{\text{interno cabina}}$$

Fattori di criticità:

Nella realizzazione della cabina operatore si deve tenere in conto:

- degli ingombri a disposizione in quanto va integrata con il macchinario stesso;
- delle attività che l'operatore dovrà svolgere: ampie vetrate per monitorare il ciclo produttivo, piani di appoggi per utensili, spazio sufficiente per quadro comandi da installare all'interno, ricambi aria adeguati.

Costi approssimativi:

n.d.

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

C7. Sistemi antivibranti

Comparto produttivo:
Settore
elettromeccanico

Tipo di intervento:
Riduzione delle
vibrazioni

Scheda n. C7.1

Descrizione della problematica:

Durante l'operazione di taglio effettuata mediante una sega circolare da banco, l'operatore risultava esposto a livelli di rumore elevati, anche a causa della radiazione sonora derivante dalle vibrazioni trasmesse dalla macchina alla sua base di appoggio ed al banco di alimentazione pezzi.

Descrizione dell'intervento:

La sega è stata risistemata interponendo tra essa e la sua base di appoggio dei supporti antivibranti in gomma; inoltre si è provveduto a separare fisicamente la sega e ed il suo basamento dal banco di alimentazione pezzi.



Risultati acustici:

Postazione di lavoro – Taglio componente in lamiera da 3 mm
Prima dell'intervento $L_{Aeq} = 94$ dB(A)
Dopo l'intervento $L_{Aeq} = 90$ dB(A)

Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

Quattro ore di lavoro

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Metalmeccanico

Tipo di intervento:
Sospensione elastica di macchine

Scheda n. C7.2

Descrizione della problematica:

Le lavorazioni eseguite da 10 macchine per la fabbricazione di chiodi, raggruppate in un unico locale, determinavano nelle postazioni di lavoro livelli di esposizione al rumore estremamente elevati.

Tra le diverse cause che contribuivano all'instaurarsi di tali livelli, una delle principali veniva individuata nel rumore irradiato dal pavimento, costituito da una leggera soletta in cemento armato, sottoposto a continue vibrazioni dagli impatti meccanici - 300 al minuto - trasmessi dalle macchine.

Descrizione dell'intervento:

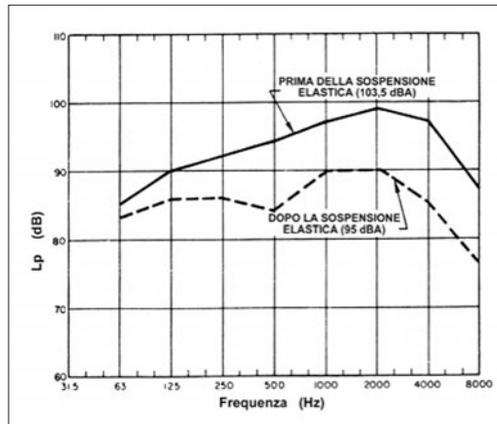
Per ridurre il contributo del rumore irradiato dal pavimento al livello di esposizione sonora a cui erano esposti gli addetti alle macchine, si è deciso di sospendere elasticamente tutte le macchine mediante appositi appoggi antivibranti in grado di rispettare le seguenti esigenze:

- il periodo corrispondente alla frequenza propria dell'isolatore doveva essere maggiore della durata di ogni singolo impulso, ovvero 10 ms;
- il periodo corrispondente alla frequenza propria del sistema isolatore-macchina doveva essere minore dell'intervallo tra un impatto e l'altro, ovvero 200 ms.

A tal fine sono stati prescelti degli isolatori elastomerici caratterizzati da una deflessione statica, sotto il carico della macchina, di 2,5 mm, e da un periodo corrispondente alla frequenza propria pari a 100 ms, adeguato quindi ai due valori di riferimento sopra indicati .

Risultati acustici:

I risultati relativi alle misure di livello sonoro effettuate in corrispondenza di una postazione di lavoro, prima e dopo la sospensione elastica delle macchine, sono riportati nel sottostante grafico:



Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

Quattro ore di lavoro

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

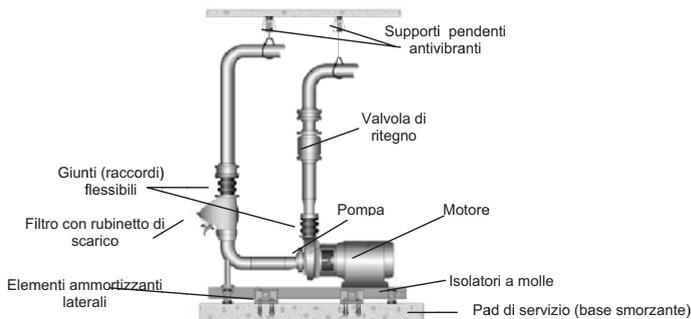
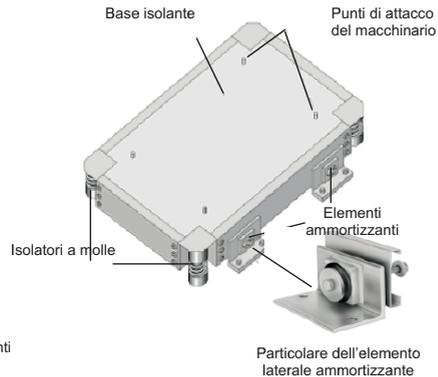
Comparto produttivo:
Industria, impianti di
servizio in genere

Tipo di intervento:
Basamento galleggiante

Scheda n. C7.3

Descrizione della problematica:

Emissione sonora prodotta dalle vibrazioni generate da una pompa (o gruppo pompe) e trasmesse al pavimento e alle strutture dell'edificio collegate.



Descrizione dell'intervento:

Riduzione della trasmissione delle vibrazioni (e quindi del rumore prodotto) tramite l'isolamento del gruppo pompe realizzato con l'interposizione di una massa "smorzante" e di una base "isolante" tra la pompa ed il pavimento. La pompa poggia sulla base "isolante" costituita da un telaio di acciaio collegato con idonei isolatori a molle di acciaio alla massa smorzante. Quest'ultima è costituita da materiale avente alta energia di dissipazione (neoprene da solo o combinato con corde di fibre sintetiche o con fibre di vetro). Inoltre le condutture sono sospese con supporti pendenti antivibranti.

Risultati acustici:

Flessione statica totale da 15 a 50 mm (dipende dalla massa smorzante e dagli isolatori utilizzati).

Fattori di criticità:

Nella progettazione devono essere tenute in particolare considerazione:

- la scelta del tipo di isolatori antivibranti (in funzione anche del carico);
- la scelta dei punti di collegamento (fissaggio) della pompa alla base "isolante";
- il corretto fissaggio degli organi di collegamento.

Costi approssimativi:

€ N/d

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

C8. Interventi su lay-out

**Comparto produttivo:
Industria in
genere**

**Tipo di intervento:
Modifiche del lay-out per la riduzione
dell'esposizione al rumore dei lavoratori**

Scheda n. C8.1

*Descrizione della
problematica:*

I livelli di rumorosità all'interno di ambienti industriali dipendono dalla potenza acustica delle macchine ed attrezzature presenti, dalla loro posizione e dalle caratteristiche di fonoassorbimento delle pareti dell'involucro. L'esposizione al rumore dei lavoratori dipende, poi, dalle posizioni che questi occupano nell'ambiente e dal tempo di permanenza.

I modelli di propagazione del suono che si basano sull'acustica geometrica (ray tracing, pyramid tracing, ecc. attualmente facilmente reperibili in commercio), con un bagaglio contenuto di informazioni, permettono di stimare i livelli di rumore attesi nell'edificio industriale per diverse disposizioni delle macchine e per diverse caratteristiche di fonoassorbimento delle pareti.

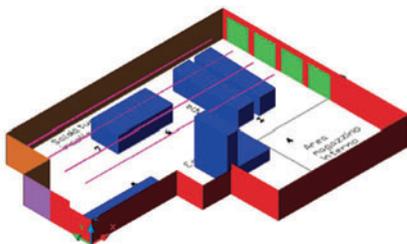
*Descrizione
dell'intervento:*

Piccola azienda industriale per la produzione e stampa di buste in plastica. L'azienda, oggetto dell'applicazione, ha una produzione di tipo verticale, si occupa, quindi, di tutte le fasi della produzione di buste in materiale plastico. La lavorazione si articola su due turni, per il reparto di saldatura, e su tre turni per i reparti di stampa ed estrusione. All'interno dell'edificio industriale sono individuabili quattro reparti produttivi: reparto stampa, reparto estrusione, reparto saldatura, reparto incollaggio o accoppiamento a cui sono associate specifiche macchine operative di grandi dimensioni.

In base alla posizione dei lavoratori in prossimità delle macchine e all'interno di aree del capannone e dei livelli sonori si è potuto stimare un livello di esposizione giornaliero compreso tra 85 e 90 dBA per il 50% dei lavoratori e compreso tra 80 e 85 dBA per i restanti.

Con il modello tridimensionale, sono state studiate diverse disposizioni dei reparti, con i relativi macchinari, diversi inserimenti di materiali fonoassorbenti alle pareti e diversi schermi protettivi.

La migliore soluzione compatibile con la produzione prevede l'occupazione parziale dell'area magazzino e l'inserimento di materiali fonoassorbenti alle pareti.



Lay-out esistente



Reparto estrusione

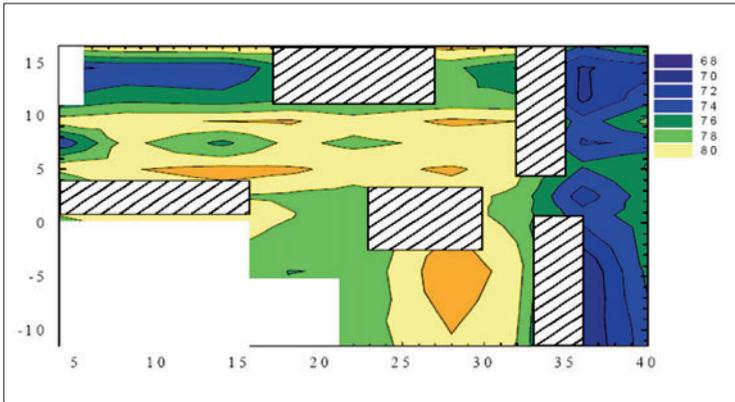
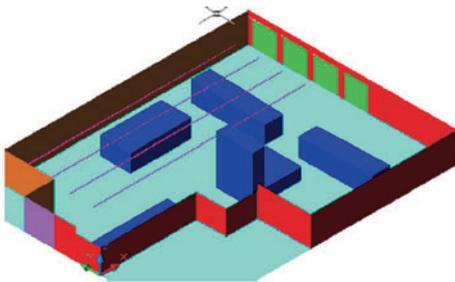
Comparto produttivo:
Industria in genere

Tipo di intervento:
Modifiche del lay-out per la riduzione dell'esposizione al rumore dei lavoratori

Segue scheda n. C8.1

Risultati acustici:

Con il nuovo lay-out e l'inserimento di materiali fonoassorbenti alle pareti la percentuale di lavoratori con esposizioni al rumore superiori a 85 dB(A) si riduce al 10%.



Nuovo lay-out e distribuzione dei livelli sonori

Fattori di criticità:

Per raggiungere stime apprezzabili dell'intervento, i modelli di previsione necessitano in ingresso informazioni precise sulle potenze sonore emesse dalle macchine o da elementi delle macchine del reparto industriale.

Costi approssimativi:

20.000 Euro per l'inserimento di materiali fonoassorbenti (30 Euro/m²)
 10.000 Euro per costi spostamento macchine

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

C9. Sistemi per l'edilizia**Comparto produttivo:**
Industria aeronautica**Tipo di intervento:**
Porta al servizio del banco prova**Scheda n. C9.1***Descrizione della problematica:*

Portone per l'introduzione dei motori nel banco prova.

*Descrizione dell'intervento:*

Sono uno degli elementi essenziali per consentire al personale addetto alle operazioni di preparazione di lavorare in condizioni ideali data l'attenzione e la concentrazione che ad esso è richiesta.

Per ottenere i risultati richiesti la porta è realizzata con due elementi posti in serie le cui tenute sulle strutture murarie sono realizzate con guarnizioni pneumatiche non solo per fini acustici, ma anche per mantenere le differenze di pressione ambientale.

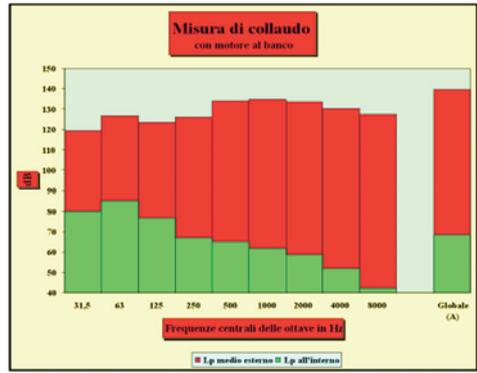
La struttura è particolarmente robusta sia per le elevate dimensioni sia per le sollecitazioni cui possono venire assoggettate in condizioni di funzionamenti anomali sempre possibili nelle condizioni esasperate di test al banco prova.

Anno di realizzazione: 1981

Comparto produttivo:
Industria aeronautica

Tipo di intervento:
Porta al servizio del banco prova

Segue scheda n. C9.1



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: 140 dB
- dopo intervento: 69 dB

Fattori di criticità:

Nella progettazione si devono tenere presente i seguenti fattori:

- Livelli sonori generati veramente eccezionali.
- Pressioni e depressioni elevate tra i differenti ambienti.
- Normale movimentazione asservita da motoriduttori, in condizioni di reale sicurezza, e la possibilità di movimentazione manuale in condizioni di emergenza.
- Resistenza meccanica in caso di condizioni di emergenza.

Costi approssimativi:

€ 100.000

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Terziario

Tipo di intervento:
Isolamento acustico tra ambienti

Scheda n. C9.2

Descrizione della problematica:

Porte con attenuazioni certificate: porta standard STC 47.

Descrizione dell'intervento:

Tra le caratteristiche premianti:

- Robusta costruzione in metallo
- Sono disponibili in tempi rapidi quattro modelli standard, con dimensioni del vano di installazione di 1.000 x 2.100 (h) mm.
- La luce netta di apertura di 848 x 1.985 (h) mm.
- Cerniere a camma auto chiudenti per garantire la tenuta sulla soglia
- Tenute magnetiche autoallineanti per garantire la tenuta acustica
- I modelli 47-C e 47-D sono completi di chiusura a chiave e vetrata da 150 x 610 (h) mm.
- Numerosi accessori disponibili
- Tutte le porte sono testate in fabbrica per garantire una corretta tenuta acustica.



Anno di realizzazione: 2005

Risultati acustici:

L_{Aeq} :

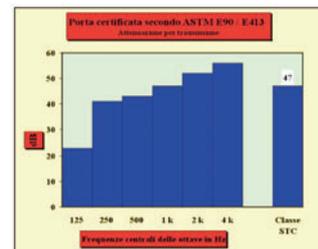
- prima intervento: n.d.
- dopo intervento: n.d.

porta noise-lock® certificata STC47 secondo ASTM E 90 / E 413

Fattori di criticità:

Solo un'esperienza di oltre 50 anni nella produzione di porte acustiche permette di offrire un prodotto di una qualità superiore ad un rapporto qualità / prezzo di sicuro interesse, adatto per:

- Sale di registrazione audio.
- Studi televisivi
- Cabine per traduzione simultanea
- Sale per misure audiologiche
- Accesso per impianti tecnologici



Costi approssimativi:

€ 2.500

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria chimica

Tipo di intervento:
Isolamento mulini di macinazione

Scheda n. C9.3

Descrizione della problematica:

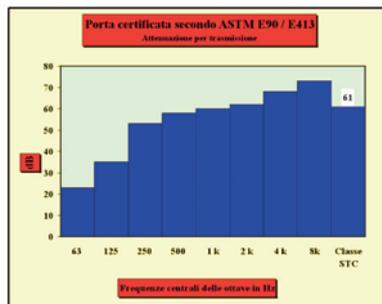
Porte con attenuazioni certificate STC 61 secondo ASTM E 90 / E 413: porte a doppio battente.



Descrizione dell'intervento:

L'isolamento di macchine ad elevatissimo livello sonoro richiede serramenti, ed in particolare, porte ad elevatissimo livello di isolamento acustico. Queste ultime devono comunque permettere una agevole apertura dall'interno dei locali in condizioni di massima sicurezza.

Anno di realizzazione: 2003



Risultati acustici:

L_{Aeq} :

- prima intervento: 116 dB
- dopo intervento: 60 dB

Fattori di criticità:

Le principali caratteristiche che devono essere soddisfatte sono:

- Tenute acustiche delle guarnizioni resistenti nel tempo.
- Tenuta acustica al perimetro, sulla muratura.
- Installazione senza la necessità di opere civili complementari.
- Soglia piana senza gradino.

Costi approssimativi:

€ 9.000

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []