

6. BONIFICA ACUSTICA DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI

La bonifica acustica di macchine, attrezzature, impianti, lavorazioni è spesso decisa in base a criteri molto approssimativi, che derivano da una insufficiente conoscenza delle possibilità disponibili e in base a luoghi comuni, esperienze parziali, convinzioni debolmente sostanziate.

Le pagine che seguono hanno quindi 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 tecnica 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.

Da questo punto di vista lo schema di generazione, trasmissione e ricezione di un suono (Figura 6.1), oltre a richiamare quelle priorità di cui si diceva, costituisce un utile riferimento, sia per rappresentare in modo semplificato il fenomeno fisico, sia per aiutare a stabilire i criteri attraverso cui si può ridurre, con interventi tecnici, il livello sonoro prodotto da attrezzature e immesso nell'ambiente di lavoro.

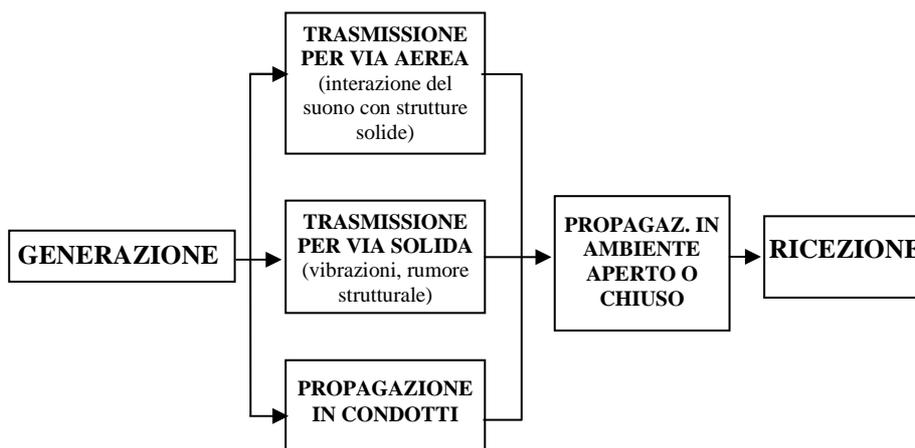


Figura 6.1: Schema generale della emissione ed immissione acustica

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 Sezione C del terzo 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.

6.1. 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;

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

- 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.

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 lamiere metalliche, che possono essere presenti come parti della chiusura di una macchina, come schermi con funzioni antinfortunistiche, come pannelli divisorii tra banchi di lavorazione ecc.

Fra gli aspetti concernenti le sorgenti secondarie richiamiamo i seguenti.

a) Lo smorzamento.

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

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

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

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

b) La risonanza strutturale.

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

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

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

Un caso tipico è quello del rumore prodotto o propagato da un fluido in una conduttura; se la conduttura è fissata rigidamente ad una struttura, può eccitare di

un'area di dimensioni importanti e quindi generare una elevata potenza sonora. Ciò può essere limitato ad esempio mediante con sistemi di sospensione flessibili.

6.1.4. Esame di un caso

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

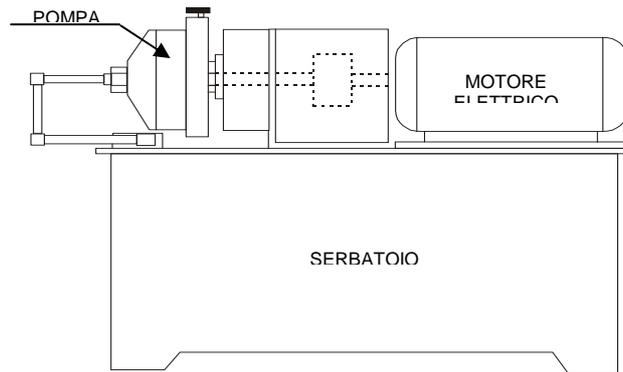
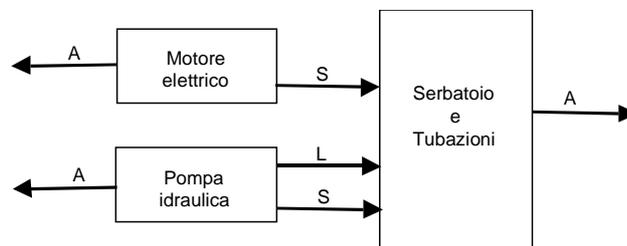


Figura 6.3: Sorgenti di rumore di una centralina idraulica

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



LEGENDA

- \xrightarrow{A} Rumore emesso per via aerea
- \xrightarrow{L} Rumore trasmesso per via liquida
- \xrightarrow{S} 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.

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.

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	E' 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

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:

- a) 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:

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

6.2.1. Cabine acustiche (Coperture integrali)

Tra tutti 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 antirumore;
- uno strato intermedio fonoassorbente di materiale poroso o fibroso;
- uno strato interno, rigido ma forato, solitamente più leggero di quello esterno.

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

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

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

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

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

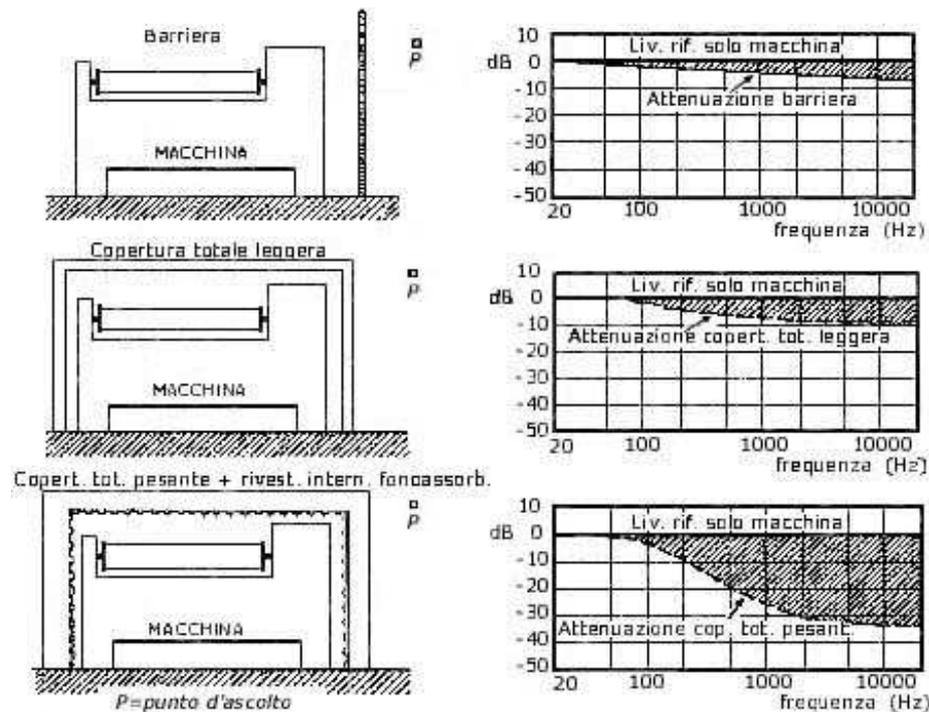


Figura 6.6: Esempi di riduzione della rumorosità trasmessa per via aerea da una macchina con l'impiego di una barriera, di una copertura integrale leggera e di una copertura pesante con rivestimento fonoassorbente interno. (Adattato da Singal, 2000)

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

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

6.2.2. Cappottature acustiche (Coperture parziali)

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

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

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

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

6.2.3. Schermi o barriere acustiche

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

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

Nel primo caso l'impiego più diffuso è quando la rumorosità prodotta da macchine/impianti/attività interessa lavoratori ad essa prossimi ma impegnati in attività non rumorose, e non è possibile separare queste due zone mediante un divisorio completo, da pavimento a soffitto e/o da parete a parete, a causa, ad esempio della presenza di un carro ponte, della necessità di permettere il passaggio di persone, veicoli, materiali, ecc. Spesso lo schermo è utilizzato anche per proteggere reciprocamente gli addetti di due o più (come nel caso di una fila di

postazioni di lavoro, ad es.: addossate ad un muro) attività rumorose contigue e non separabili. Ci sono infine casi in cui gli schermi vengono realizzati in maniera dedicata per specifiche postazioni di lavoro.

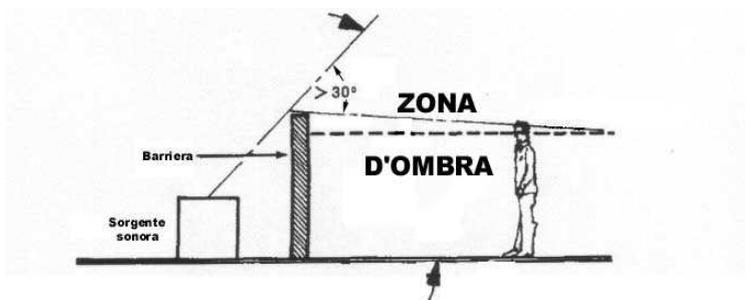


Figura 6.7: Come criterio generale, l'effetto d'attenuazione di una barriera sarà tanto maggiore, quanto maggiore di 30° sarà l'angolo relativo al punto d'ascolto situato nella zona d'ombra

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

- 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 silenzianti di tipo dissipativo da inserire nel condotto quanto più vicino possibile al punto di generazione del rumore. Si tratta dei cosiddetti silenzianti "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.

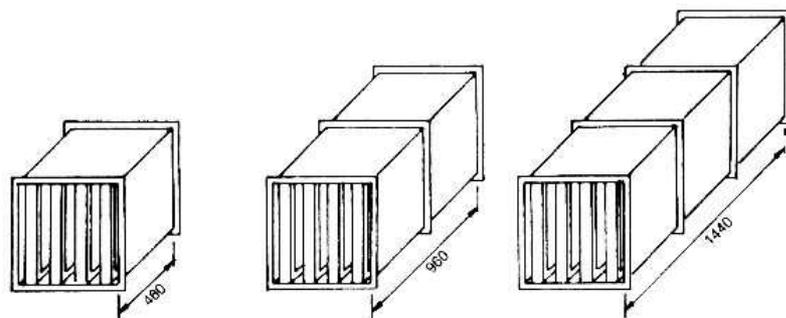


Figura 6.8: Moduli di silenziatore dissipativo a setti fonoassorbenti paralleli

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 tutti quegli impianti che presentano gas in uscita a velocità e temperature elevate.

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

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

6.2.5. Interventi sulla propagazione per via solida

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

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

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

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

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

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

6.2.6. Interventi di controllo attivo del rumore e delle vibrazioni

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

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

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

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

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

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

6.2.7. Cabine per operatori

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

L'efficienza di una cabina per operatore (normalmente 20-30 dB(A)) è direttamente correlata con il potere fonoisolante assicurato dalle pareti laterali, dal soffitto, dal pavimento e dall'isolamento di quest'ultimo dalle vibrazioni trasmesse per via strutturale. Valgono in questo caso le stesse considerazioni generali espresse per le coperture integrali delle macchine, ma con l'avvertenza che rispetto ad esse molto più critica ed estesa è la superficie costituita da porte d'accesso, finestre, condotti per il ricambio o il condizionamento dell'aria (deve infatti essere adeguatamente garantita aria di rinnovo ed il controllo dei parametri termoigrometrici; inoltre l'interno della cabina va mantenuto in sovrappressione), impianti per l'illuminazione interna, dimensioni minime rispetto al numero degli addetti contemporaneamente presenti, ecc. Tutti 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 m^3 e 2 m^2 per addetto ed altezza inferiore a 2,40 m (vedi Scheda n.18).

6.2.8. Trattamenti fonoassorbenti ambientali

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

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

6.3. MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ

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

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

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

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

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

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

A buon diritto, 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.

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. E' di importanza primaria che la metodologia di collaudo adottata per le verifiche sia chiaramente concordata tra Committente e Fornitore in sede di contratto di acquisto, e questo ovviamente per evitare contestazioni o contenziosi *post operam*. A questo proposito appare logico, al fine di garantire la migliore tutela degli interessi di entrambe le parti, fare riferimento a procedure di collaudo coerenti con le normative tecniche disponibili UNI e/o EN e ISO.

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

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

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

Oltre al livello sonoro equivalente, è consigliabile rilevare, per una più approfondita e articolata verifica dell'efficacia di un intervento, è la distribuzione spettrale del segnale sonoro emesso dalla macchina, prima e dopo, o con e senza, l'intervento,

sempre in corrispondenza del posto di lavoro in esame e nell'area circostante. Tale rilevazione è comunque indispensabile, in fase preliminare, per una corretta progettazione dell'intervento di bonifica.

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

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

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

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

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

Ovviamente, per la realizzazione degli interventi di bonifica acustica e del loro collaudo ci si deve affidare a tecnici competenti che abbiano i necessari requisiti di professionalità e di esperienza in questo specifico settore (vedi [Scheda n.7](#)).

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
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://europa.eu.int/comm/environment/noise/021016ppwg_it.pdf
6. Commissione Europea - *Normativa Comunitaria sulle macchine. Commenti alla direttiva 98/37/CE*
http://europa.eu.int/comm/enterprise/mechan_equipment/machinery/guide/guide_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

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 nel punto A4 del terzo livello di questo Manuale. Nello specifico, si cita la seguente pubblicazione:

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

SECONDO LIVELLO

Schede di approfondimento

(solo su CD ROM, su www.ispesl.it o

www.ausl.mo.it/dsp/spsal/spsal_coord_interregionale.htm)

TERZO LIVELLO

Banche dati

(solo su CD ROM, su www.ispesl.it o

www.ausl.mo.it/dsp/spsal/spsal_coord_interregionale.htm)

9. GLOSSARIO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Indice di intelligibilità del parlato (*SII, Speech 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 L_1 e l'altro di ricezione L_2 :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Normativa: provvedimento di natura tecnica ad adesione volontaria.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CREDITS

- **Fabrizio Avenati** (CIADI, Associazione Costruttori Impianti ed Apparecchiature di Insonorizzazione, Milano);
- **Bruno Barbera** (ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea);
- **Sandra Bernardelli** (Az.USL Bologna – Dipartimento di Sanità pubblica);
- **Ivaldo Bernardini** (Az.USL Bologna – Dipartimento di Sanità pubblica);
- **Paolo Bisio** (ASL22 di Novi Ligure (AL), Dipartimento di Prevenzione);
- **Maurizio Boffelli** (ASL provincia di Bergamo – Dipartimento di Prevenzione);
- **Giovanni Brambilla** (CNR di Roma, Istituto di Acustica “O.M. Corbino”);
- **Stefano Casini** (INAIL, CONTARP Sicilia)
- **Angelo Chiattella** (Istituto Elettrotecnico Nazionale “G. Ferraris”, Torino);
- **Caterina Cigna** (Politecnico di Torino)
- **Salvatore Curcuruto** (APAT, Roma)
- **Giuseppe Elia** (Modulo Uno, Torino / Presidente della Commissione Acustica dell’UNI);
- **Patrizio Fausti** (Università di Ferrara - Dipartimento di Ingegneria);
- **Paola Forconi** (ASL n.9 Macerata – Dipartimento di Prevenzione);
- **Michele Fumagalli** (Presidente Assoacustici, Milano);
- **Francesco Furnari** (IEC, Torino);
- **Andrea Guerzoni** (ASL Ferrara – Dipartimento di Sanità pubblica);
- **Renato Gurin** (ISPESL - Dipartimento Medicina del Lavoro);
- **Alessandro Lunghi** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro);
- **Luigi Maffei** (Seconda Università degli Studi di Napoli, Facoltà di Architettura);
- **Luigi Marangoni** (CIADI, Torino);
- **Giuseppe Miccoli** (CNR di Ferrara, Istituto IMAMOTER);
- **Nicolina Mucci** (ISPESL – Dipartimento Processi Organizzativi);
- **Pietro Nataletti** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro);
- **Omar Nicolini** (Az.USL Modena, Dipartimento di Sanità pubblica);
- **Federico Patanè** (Università “La Sapienza” di Roma, Dipartimento di Ingegneria);
- **Mario Patrucco** (Politecnico di Torino, Dipartimento Georisorse e Territorio);
- **Alessandro Peretti** (Associazione Italiana di Acustica, Coordinatore del Gruppo di Acustica Ambientale);
- **Andrea Perini** (ARPAT di Firenze, Unità Operativa di Fisica Ambientale)
- **Walter Perini** (ASL n.9 Macerata – Dipartimento di Prevenzione);

- **Aldo Pieroni** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro);
- **Iole Pinto** (AUSL n.7 di Siena, Dipartimento di Prevenzione);
- **Marco Pirozzi** (ISPESL - Dipartimento Tecnologie di Sicurezza).
- **Andrea Poggi** (ARPAT di Firenze, Unità Operativa di Fisica Ambientale);
- **Francesco Pompoli** (Università di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria);
- **Nicola Prodi** (Università di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria);
- **Claudia Rocchietta** (ARPA Piemonte - Dipartimento di Ivrea);
- **Daniele Ruggeri** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro);
- **Giuseppe Spagnoli** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro);
- **Marco Vigone** (IEC, Torino / Presidente della Commissione Sicurezza dell'UNI);
- **Franco Zanin** (ASSL n.6 di Vicenza, Dipartimento di Prevenzione).