



Manuale di buona pratica

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





CONFERENZA DEI PRESIDENTI
DELLE REGIONI E DELLE
PROVINCE AUTONOME



ISTITUTO SUPERIORE PER LA
PREVENZIONE E LA
SICUREZZA DEL LAVORO

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

Manuale di buona pratica

Versione approvata il 16/12/2004

PRESENTAZIONE

Come noto, le malattie professionali e in particolare le ipoacusie, che costituiscono in Italia ancora la prima tecnopatia, 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 direttiva europea sul rumore 188/86/CEE, al principio del miglioramento continuo delle condizioni di lavoro introdotto dal D.Lgs.626/94, alla nuova direttiva europea sul rumore 2003/10/CE che, secondo una prassi consolidata di progressivo innalzamento degli standard di sicurezza e salute dei lavoratori, prevede una serie di significative novità..

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

Non a caso, tanto il Piano Sanitario Nazionale quanto le indicazioni programmatiche a livello periferico indicano, tra le strategie di intervento che devono essere privilegiate al fine di ridurre l'incidenza degli infortuni e delle malattie professionali, la promozione e il potenziamento di iniziative che favoriscano la circolazione dell'informazione, delle attività di formazione, aggiornamento e documentazione dei principali soggetti della prevenzione.

Il Manuale di Buona Pratica "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, che continua a mostrare carenze e ritardi nelle diverse realtà lavorative, ed a due temi ad essa direttamente correlati e spesso trascurati: la progettazione acustica ex novo degli insediamenti produttivi ed i collaudi acustici degli interventi di bonifica.

Il Manuale si propone di mettere a disposizione della comunità nazionale informazioni, metodologie e interventi realizzati sul campo, normalmente reperibili

solo in un ristretto ambito di addetti ai lavori e di esperti di acustica, utili per garantire il pieno controllo del rischio rumore in tutti i principali comparti produttivi.

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

La realizzazione di questo Manuale è stata resa possibile grazie all'esperienza ed alla competenza messa a disposizione da alcuni tra i maggiori esperti pubblici e privati che operano in questo campo nell'ambito di un Gruppo di Lavoro nazionale promosso dall'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.

Componenti del Gruppo di Lavoro IspeSl:

- **Giuseppe Spagnoli** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro), con funzioni di Presidente del gruppo di lavoro;
- **Pietro Nataletti** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro); con funzioni di Vice Presidente e Segretario scientifico del gruppo di lavoro;
- **Fabrizio Avenati** (CIADI, Associazione Costruttori Impianti ed Apparecchiature di Insonorizzazione di Milano);
- **Paolo Bisio** (ASL22 di Novi Ligure (AL), Dipartimento di Prevenzione);
- **Giovanni Brambilla** (CNR di Roma, Istituto di Acustica "O.M. Corbino");
- **Angelo Chiattella** (Istituto Elettrotecnico Nazionale "G. Ferraris" di Torino);
- **Giuseppe Elia** (Modulo Uno di Torino / Presidente della Commissione Acustica dell'UNI);
- **Michele Fumagalli** (Presidente dell'Assoacustici di Milano);
- **Luigi Maffei** (Seconda Università degli Studi di Napoli, Facoltà di Architettura);
- **Nicolina Mucci** (ISPESL - Dipartimento Documentazione, Formazione e Informazione);
- **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);
- **Aldo Pieroni** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro);
- **Marco Pirozzi** (ISPESL - Dipartimento Tecnologie di Sicurezza).
- **Andrea Poggi** (ARPAT di Firenze, Unità Operativa di Fisica Ambientale);
- **Marco Vigone** (IEC di Torino / Presidente della Commissione Sicurezza dell'UNI).
- **Renato Gurin** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro), con funzioni di Segretario amministrativo del gruppo di lavoro

Componenti del Gruppo di Lavoro del Coordinamento Interregionale della Prevenzione nei luoghi di Lavoro:

- **Omar Nicolini** (Az.USL Modena, Dipartimento di Sanità pubblica) per la Regione Emilia-Romagna con funzione di coordinatore e componente del Gruppo di Lavoro Ispesl;
- **Iole Pinto** (AUSL n.7 di Siena, Dipartimento di Prevenzione) per la Regione Toscana e componente del Gruppo di Lavoro Ispesl;
- **Bruno Barbera** (ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea) per la Regione Piemonte;
- **Sandra Bernardelli** (Az.USL Bologna Nord – Dipartimento di Sanità pubblica) per la Regione Emilia-Romagna;
- **Maurizio Boffelli** (ASL provincia di Bergamo – Dipartimento di Prevenzione) per la Regione Lombardia;
- **Paola Forconi** (ASL n.9 Macerata – Dipartimento di Prevenzione) per la Regione Marche
- **Walter Perini** (ASL n.9 Macerata – Dipartimento di Prevenzione) per la Regione Marche
- **Franco Zanin** (ASSL n.6 di Vicenza, Dipartimento di Prevenzione) per la Regione Veneto

Collaboratori:

- **Ivaldo Bernardini** (ASL Bologna Città – SPSAL)
- **Stefano Casini** (INAIL, CONTARP Sicilia)
- **Salvatore Curcuruto** (APAT di Roma)
- **Patrizio Fausti** (Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara)
- **Francesco Furnari** (Società IEC di Torino)
- **Andrea Guerzoni** (ASL Ferrara – SPSAL)
- **Alessandro Lunghi** (ISPESL - Dipartimento Igiene del Lavoro)
- **Luigi Marangoni** (CIADI, Torino)
- **Giuseppe Miccoli** (CNR di Ferrara, Istituto IMAMOTER);
- **Andrea Perini** (ARPAT di Firenze, Unità Operativa di Fisica Ambientale)
- **Francesco Pompoli** (Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara)
- **Nicola Prodi** (Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara)
- **Claudia Rocchietta** (ARPA Piemonte - Dipartimento di Ivrea)
- **Giuseppe Miccoli** (CNR di Ferrara, Istituto IMAMOTER);
- **Andrea Perini** (ARPAT di Firenze, Unità Operativa di Fisica Ambientale)
- **Francesco Pompoli** (Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara);
- **Nicola Prodi** (Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara);
- **Claudia Rocchietta** (ARPA Piemonte - Dipartimento di Ivrea)

Nel sottolineare che la pubblicazione del Manuale avviene proprio nel 2005, anno europeo dedicato al rumore, ci auguriamo che queste indicazioni siano favorevolmente accolte nel mondo produttivo e della prevenzione e le ricadute operative risultino apprezzabili sin dai prossimi mesi, a cominciare dalle iniziative previste nell'ambito della Settimana europea.

Istituto Superiore per la Prevenzione
e la Sicurezza del Lavoro

Conferenza dei Presidenti delle Regioni
e delle Province Autonome

| | |
|---|---|
|  | Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome |
|  | Coordinamento Tecnico Interregionale della Prevenzione nei Luoghi di Lavoro |
| | Regione Valle d'Aosta |
| | Regione Piemonte |
| | Regione Liguria |
| | Regione Lombardia |
| | Provincia autonoma di Bolzano |
| | Provincia autonoma di Trento |
| | Regione Veneto |
| | Regione Friuli Venezia Giulia |
| | Regione Emilia-Romagna |
| | Regione Toscana |
| | Regione Marche |
| | Regione Umbria |
| | Regione Lazio |
| | Regione Abruzzo |
| | Regione Molise |
| | Regione Campania |
| | Regione Puglia |
| | Regione Basilicata |
| | Regione Calabria |
| | Regione Sicilia |
| | Regione Sardegna |
|  | Dipartimento Igiene del Lavoro Dipartimento Tecnologie di Sicurezza Dipartimento Documentazione, Informazione e Formazione |

PREFAZIONE

La pubblicazione delle linee guida per la valutazione del rischio da rumore negli ambienti di lavoro - presentate in anteprima a Modena nel Convegno “*dBaincontri2000*” e poi ufficialmente al Servizio Sanitario Nazionale, a tutte le strutture pubbliche e alle parti sociali nell’ambito del Seminario nazionale “*Linee Guida ISPESL sull’esposizione professionale a rumore e vibrazioni*” svoltosi a Roma il 30 gennaio 2001 - ha suscitato grande interesse e apprezzamento da parte di tutti i soggetti pubblici e privati che operano nel vasto ambiente della prevenzione.

Il Dipartimento Igiene del Lavoro dell’ISPESL e il Coordinamento Tecnico interregionale della prevenzione nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome si sono quindi fatti promotori di una seconda fase del progetto prevedendo la definizione di indicazioni operative per la gestione e la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro i cui risultati sono qui a seguito presentati.

In naturale continuità con l’esperienza precedente, l’obiettivo di questo Manuale di buona pratica è quello di fornire uno schema di riferimento concettuale, tecnico-metodologico e pratico che orienti tutti gli addetti ai lavori ad una risposta corretta agli adempimenti fissati dalla legge relativamente al rischio rumore, in particolare relativamente all’articolo 41 e 46 del D.Lgs.277/91.

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

Il Primo Livello contiene l’articolato essenziale del Manuale di buona pratica 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 27 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.

Infine, il Terzo Livello contiene una serie di banche dati raccolte alla data di conclusione dei lavori e riguardanti le normative tecniche e legislative nazionali e internazionali, i materiali e le tecnologie per il fonoassorbimento e il fonoisolamento, i materiali smorzanti e antivibranti, la strumentazione ed i codici di calcolo per l’acustica, le bonifiche effettuate sul territorio ed i risultati raggiunti in termini di efficacia acustica e di costo. Il Secondo e il Terzo Livello, per la loro natura di schede tecniche e di banche dati, sono destinati ad arricchirsi nel tempo attraverso i successivi aggiornamenti che si renderanno necessari e verranno pertanto reso disponibile solo in formato elettronico.

Il testo di questo Manuale, presentato in appositi Convegni e Seminari nazionali e locali, è inserito sul sito internet dell’ISPESL (www.ispesl.it) dove verrà progressivamente aggiornato secondo le novità tecniche e legislative che

interverranno, ma viste le dimensioni e la complessità dell'opera è anche disponibile su CD-ROM interattivo (richiedibile all'Ispesl, Dipartimento Documentazione, Informazione e Formazione, Via Alessandria 220/E – 00198 Roma).

La pubblicazione del Manuale avviene in coincidenza con la Settimana europea 2005 che ha per titolo "Abbasso il rumore!". La Settimana europea, coordinata dall'Agenzia Europea per la Sicurezza e la Salute sul Lavoro con sede a Bilbao, è una campagna annuale di informazione intesa in generale a fare dell'Europa un posto dove si lavora in modo sano e sicuro; in particolare quest'anno prevede la promozione di attività e di buone pratiche che contribuiscano alla riduzione dei rischi associati al rumore sul luogo di lavoro.

Il Manuale è il frutto del lavoro intenso e del dibattito serrato e appassionato in seno al Gruppo di Lavoro nazionale istituito a tale scopo due anni fa dall'ISPESL di concerto con il Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome, che a sua volta si è avvalso di un ulteriore Gruppo di Lavoro interregionale.

In tali istanze si sono confrontati un nutrito e articolato gruppo di componenti in rappresentanza della migliore tradizione e competenza tecnica in Italia in materia di acustica e controllo del rumore.

A tutti costoro vanno i ringraziamenti più vivi per la disponibilità e l'impegno profuso alla riuscita di questa iniziativa.

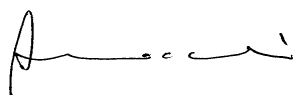
Il Segretario scientifico
del Gruppo di Lavoro ISPESL

Dr. Pietro Nataletti



Il Presidente dell'ISPESL

Prof. Antonio Moccaldi



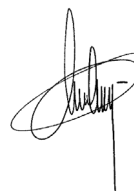
Il Coordinatore
del Gruppo di Lavoro
del Coordinamento
Interregionale

Dr. Omar Nicolini



Per il Coordinamento Tecnico
Interregionale della Prevenzione
nei Luoghi di Lavoro

Ing. Marco Masi



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

Manuale di buona pratica

Versione approvata il 16/12/2004

**INDICE
GENERALE**

PRIMO LIVELLO
Linee Guida

| | | |
|------------|---|--|
| 1 | OBIETTIVI E DESTINATARI DELLE LINEE GUIDA | |
| 1.1 | I COSTI DELLA MANCATA PREVENZIONE | |
| 1.2 | DESTINATARI DEL MANUALE | |
| 2 | DALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO ALLE STRATEGIE PER LA SUA RIDUZIONE | |
| 2.1 | VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE | |
| 2.2 | STRATEGIE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO | |
| 3 | PRESTAZIONI ACUSTICHE E CRITERI DI PROGETTAZIONE E BONIFICA DEGLI STABILIMENTI INDUSTRIALI | |
| 3.1 | RIDUZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO | |
| 3.1.1 | Ubicazione dell'insediamento e aspetti normativi | |
| 3.1.2 | Collocazione dello stabilimento e disposizione delle sorgenti interne | |
| 3.1.3 | Disposizione delle sorgenti esterne | |
| 3.1.4 | Isolamento acustico | |
| 3.2 | RIDUZIONE DEL RISCHIO PER I LAVORATORI | |
| 3.2.1 | Individuazione e caratterizzazione delle sorgenti di rumore | |
| 3.2.2 | Spazi e caratteristiche geometriche dello stabilimento | |
| 3.2.3 | Stima dei livelli di esposizione negli ambienti di lavoro | |
| 3.2.4 | Definizione degli obiettivi acustici da raggiungere | |
| 3.2.5 | Interventi sul <i>lay-out</i> | |
| 3.2.6 | Trattamenti fonoassorbenti ambientali | |
| 4 | PRESTAZIONI ACUSTICHE E CRITERI DI PROGETTAZIONE E BONIFICA PER SPECIFICI LUOGHI DI LAVORO | |
| 4.1 | PARAMETRI DA CONTROLLARE E VALORI DI RIFERIMENTO | |
| 4.1.1 | Uffici | |
| 4.1.2 | Attività commerciali | |
| 4.1.3 | Ambienti comunitari e di pubblico spettacolo: discoteche | |
| 4.1.4 | Ambienti scolastici | |
| 4.1.5 | Strutture sanitarie | |
| 4.2 | SINTESI DEI REQUISITI E DEGLI STANDARD ACUSTICI | |

| | | |
|------------|--|--|
| 5 | CRITERI ACUSTICI DI ACQUISTO DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI | |
| 5.1 | REQUISITI ACUSTICI PREVISTI DALLA LEGISLAZIONE | |
| 5.1.1 | Provvedimenti legislativi di carattere generale | |
| 5.1.2 | Provvedimenti legislativi di carattere specifico | |
| 5.2 | SPECIFICHE DI ACQUISTO E DI ACCETTAZIONE | |
| 5.3 | INDICAZIONI PER LA VIGILANZA E CONTROLLO DELLE ASL | |
| 6 | BONIFICA ACUSTICA DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI | |
| 6.1 | CONTROLLO DEL RUMORE ALLA SORGENTE | |
| 6.1.1 | Elementi metodologici per la bonifica | |
| 6.1.2 | Bonifica delle sorgenti sonore primarie | |
| 6.1.3 | Bonifica delle sorgenti sonore secondarie | |
| 6.1.4 | Esame di un caso | |
| 6.2 | INTERVENTI SULLA TRASMISSIONE E SULLA PROPAGAZIONE DEL RUMORE | |
| 6.2.1 | Cabine acustiche (Coperture integrali) | |
| 6.2.2 | Cappottature acustiche (Coperture parziali) | |
| 6.2.3 | Schermi e barriere acustiche | |
| 6.2.4 | Silenziatori | |
| 6.2.5 | Interventi sulla propagazione per via solida | |
| 6.2.6 | Interventi di controllo attivo del rumore e delle vibrazioni | |
| 6.2.7 | Cabine per operatori | |
| 6.2.8 | Trattamenti fonoassorbenti ambientali | |
| 6.3 | MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ | |
| 7 | COLLAUDO ACUSTICO IN OPERA DEGLI INTERVENTI DI CONTROLLO DEL RUMORE | |
| 8 | BIBLIOGRAFIA | |
| 8.1 | BIBLIOGRAFIA GENERALE | |
| 8.1 | BIBLIOGRAFIA SPECIFICA | |
| 9 | GLOSSARIO | |

SECONDO LIVELLO
Schede di approfondimento
(solo su CD ROM o su www.ispesl.it)

| | | |
|-----------|---|--|
| 1 | Propagazione del rumore in ambienti chiusi: aspetti fisici | |
| 2 | Propagazione del rumore in ambienti industriali: modellizzazione | |
| 3 | Isolamento acustico: aspetti fisici | |
| 4 | Isolamento al calpestio e basamenti galleggianti | |
| 5 | Comprensione del messaggio verbale e dei segnali di pericolo | |
| 6 | Capitolato di acquisto di una macchina | |
| 7 | Criteri di scelta del consulente acustico | |
| 8 | Urti e impatti: emissione sonora e criteri di bonifica | |
| 9 | Microurti: emissione sonora e criteri di bonifica | |
| 10 | Attrito e inerzia | |
| 11 | Moto di liquidi: turbolenza, cavitazione, colpo d'ariete. Emissione sonora e criteri di bonifica | |
| 12 | Risonanza meccanica | |
| 13 | Materiali e tecnologie per l'isolamento e lo smorzamento delle vibrazioni | |
| 14 | Trasmissione del rumore per via aerea e per via strutturale | |
| 15 | Radiazione acustica di superfici vibranti | |
| 16 | Controllo attivo del rumore e delle vibrazioni | |
| 17 | Coperture totali e parziali di sorgenti sonore | |
| 18 | Cabine silenziose per operatori | |
| 19 | Schermature di sorgenti sonore e di aree rumorose | |
| 20 | Trattamenti fonoassorbenti | |
| 21 | Propagazione del rumore nelle condotte d'aria | |

| | | |
|-------------|---|--|
| 22 | Silenziatori dissipativi e reattivi | |
| 23 | Silenziatori per getti d'aria | |
| 24 | Misura e valutazione del livello di potenza sonora | |
| 25 | Criteri generali di collaudo di una bonifica acustica | |
| 25.1 | Coperture fonoisolanti | |
| 25.2 | Schermi e barriere fonoisolanti | |
| 25.3 | Silenziatori | |
| 25.4 | Trattamenti fonoassorbenti ambientali | |
| 25.5 | Cabine fonoisolanti per operatori | |
| 25.6 | Requisiti acustici passivi degli edifici | |
| 25.7 | Impianti di climatizzazione e ventilazione | |
| 26 | Verifica dello stato di applicazione del D.Lgs.277/91, Capo IV | |
| 27 | Modulistica per la raccolta d'informazioni acustiche nei nuovi insediamenti produttivi o nelle loro ristrutturazioni | |

TERZO LIVELLO
Banche dati
(solo su CD ROM o su www.ispesl.it)

| | | |
|------------|--|--|
| A | Normativa | |
| A.1 | Legislazione comunitaria | |
| A.2 | Legislazione nazionale e regionale | |
| A.3 | Normativa tecnica internazionale | |
| A.4 | Normativa tecnica europea e nazionale | |
| B | Materiali | |
| B.1 | Materiali e tecnologie per il fonoassorbimento | |
| B.2 | Materiali e tecnologie per il fonoisolamento | |
| B.3 | Materiali smorzanti e antivibranti | |
| B.4 | Strumentazione e codici di calcolo previsionali per l'acustica | |
| C | Realizzazioni | |
| C.1 | Interventi sulle sorgenti | |
| C.2 | Coperture totali o parziali | |
| C.3 | Sistemi schermanti | |
| C.4 | Trattamenti fonoassorbenti | |
| C.5 | Sistemi silenzianti | |
| C.6 | Cabine per operatore | |
| C.7 | Sistemi antivibranti | |
| C.8 | Interventi sul <i>lay-out</i> | |
| C.9 | Sistemi per l'edilizia | |

PRIMO LIVELLO

LINEE GUIDA

1. OBIETTIVI E DESTINATARI DEL MANUALE

1.1. I COSTI DELLA MANCATA PREVENZIONE

Come noto, purtroppo, il rumore costituisce ancora oggi, a più di dieci anni dalla emanazione del Decreto Legislativo n. 277 del 15 agosto 1991, la causa della tecnopatia denunciata all'INAIL con maggiore frequenza, con un'incidenza percentuale media, prendendo a riferimento gli anni nei quali si dispone di dati sufficientemente sedimentati, dell'ordine del 40% sul totale dei casi di malattie professionali. Come si può vedere dalla Tabella 1.1 sotto riportata, nel periodo compreso tra il 1999 e il 2003 l'INAIL ha provveduto al riconoscimento nel comparto industria, servizi e agricoltura di circa 5.350 nuovi casi di ipoacusia professionale da rumore. Da notare che il dato delle ipoacusie non tabellate denunciate sopravanza quello delle tabellate.

Il fenomeno delle *ipoacusie e sordità da rumore* è quindi ancora imponente, anche se il suo andamento generale, come riportato in Tabella 1.1, evidenzia un importante e costante contenimento passando dai 12.475 casi denunciati nel 1999 ai 4.573 casi denunciati ad oggi del 2003.

Tabella 1.1: Ipoacusie professionali manifestatesi nel periodo 1999-2003 e indennizzate a tutto il 30.04.2004 per anno – Industria e Servizi e Agricoltura. (Fonte: INAIL, Rapporto annuale 2003)

| ANNO | IPOACUSIE TABELLATE | | IPOACUSIE NON TABELLATE | | TOTALE IPOACUSIE | | TOTALE MALATTIE PROFESSIONALI | |
|------|---------------------|-------|-------------------------|------|------------------|-------|-------------------------------|--------|
| | D. | I. | D. | I. | D. | I. | D. | I. |
| 1999 | 5.878 | 1.240 | 6.597 | 756 | 12.475 | 1.996 | 25.043 | 4.638 |
| 2000 | 5.442 | 841 | 6.297 | 534 | 11.739 | 1.375 | 25.717 | 3.863 |
| 2001 | 4.863 | 523* | 5.715 | 346* | 10.578 | 869* | 28.091 | 3.508* |
| 2002 | 3.531* | 395* | 2.958* | 306* | 6.489* | 701* | 26.327 | 2.949* |
| 2003 | 2.227* | 221* | 2.346* | 190* | 4.573* | 411* | 24.261 | 1.868* |

Legenda. D: denunciate; I: indennizzate

**: dati non definitivi suscettibili di variazioni dovuti alle pratiche ancora in corso di definizione.*

Per dare un'idea dei costi sociali delle ipoacusie professionali, ci pare importante evidenziare che le rendite totali in gestione dall'INAIL nell'anno 1999 ammontavano a un totale di circa 300 milioni di Euro. Per contro, a titolo di esempio, si è stimato che in un'azienda che abbia 100 lavoratori esposti a livelli di 95 dB(A), ci si debba attendere un aumento del premio assicurativo pari a 1.800 € l'anno. Queste somme potrebbero essere utilizzate per interventi di prevenzione tecnica primaria e secondaria nell'ambito di un programma aziendale di breve-medio periodo, con tutti i vantaggi in termini di riduzione drastica dell'incidenza futura delle ipoacusie e la miglior qualità di lavoro ottenibile nell'ambiente silenzioso.

Gli interventi tecnici di riduzione del rischio rumore, strada maestra per la riduzione dell'incidenza di questa tecnopatia, quasi mai considerano i risparmi in termini di costi sociali delle ipoacusie professionali e scontano spesso da parte delle Aziende, soprattutto quelle di piccole e medie dimensioni, una insufficiente sensibilità nella valutazione della redditività di questo tipo di investimenti in prevenzione.

Per facilitare il reperimento delle risorse economiche necessarie per la bonifica degli ambienti di lavoro, l'INAIL ha messo in atto già nel 2002 il progetto "Incentivi alla Prevenzione - Programmi di adeguamento", accollandosi gli interessi sul capitale necessario per attuare gli interventi di riduzione dei rischi aziendali, compresi quelli legati alla riduzione del rumore. Per i progetti più meritevoli, è stato previsto anche il finanziamento a fondo perduto fino al 30% in conto capitale.

Ci auguriamo che l'iniziativa, oggi ancora in fase sperimentale, diventi permanente nei prossimi anni ed aiuti gli imprenditori a mettere in atto quanto indicato in questo Manuale anche nella certezza che la riduzione del rumore, oltre che un obbligo di natura morale e giuridica, rappresenti concretamente un investimento, quanto meno nel medio-lungo periodo.

1.2. DESTINATARI DEL MANUALE

Con le indicazioni contenute in questo Manuale, che si pongono in continuità ideale e tecnico-metodologica con le Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro pubblicate alla fine del 2000, si intende finalmente colmare quel vuoto di conoscenze e soprattutto di indirizzi e di indicazioni pratiche in un campo – quello delle bonifiche acustiche – fino ad oggi ristretto a pochi esperti e dove non è facile reperire informazioni e indicazioni tecniche attendibili.

Le presenti indicazioni sono quindi 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.

Soprattutto nella stesura del testo del 1° Livello si è cercato di avere particolare attenzione, oltre che alla tradizionale realtà industriale, alle problematiche delle piccole e medie imprese, delle amministrazioni pubbliche, del terziario (come uffici, commercio, scuole e strutture sanitarie) dove, per carenza di figure professionali specialistiche o per una solo recente apertura ai temi della sicurezza, ci è parsa più forte l'esigenza di indirizzi operativi.

D'altra parte, in ottemperanza alla missione istituzionale di organo tecnico-scientifico del Ministero della Salute dell'ISPESL e a riprova del ruolo primario del Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, le indicazioni di questo Manuale sono anche rivolte ai

Ispesl
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome

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.

L'auspicio di tutti coloro che hanno redatto le presenti indicazioni è che esse costituiscano un ausilio importante per l'attività generale di controllo svolte dai servizi di vigilanza, con l'obiettivo primario di favorire l'uniformità dei comportamenti sul territorio nazionale, anche nel caso di indagini giudiziarie e di accertamenti da effettuarsi per ipoacusie denunciate. Si reputa che le indicazioni metodologiche e le soluzioni pratiche realizzate nelle varie realtà produttive e riportate al Terzo Livello di questo Manuale saranno di particolare utilità ai fini dei provvedimenti di prescrizione adottati dagli ispettori di vigilanza ai sensi del D.Lgs.758/94 e nel caso della adozione di disposizioni ex D.P.R.520/55.

Infine, le presenti indicazioni di buona tecnica potranno costituire anche un valido contributo italiano all'attività dell'Agenzia Europea per la Sicurezza e la Salute nei luoghi di Lavoro di Bilbao (Spagna) di cui l'ISPESL è Focal Point per l'Italia, in particolare per supportare il progetto "Rischi emergenti" condotto dal Topic Research Centre sotto la supervisione del BIA tedesco.

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

L'emanazione del D.Lgs.277/91 in recepimento della direttiva 86/188/CEE ha avuto un forte impatto sulle aziende in quanto la legislazione precedente era basata su obblighi generici che più difficilmente si traducevano in una prevenzione concreta. Tuttavia, in tema di esposizione al rischio rumore sui luoghi di lavoro, il quadro legislativo attuale discende anche da un'altra fondamentale direttiva comunitaria inerente il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro: la direttiva quadro 89/391/CEE recepita col D.Lgs.626/94 e successive modifiche. Inoltre, per lo specifico campo di applicazione dei cantieri temporanei e mobili, il quadro è completato dal D.Lgs.494/96 emanato in recepimento della direttiva 92/57/CEE.

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 del D.Lgs.626/94 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.

E' importante sottolineare la stretta connessione tra D.Lgs.626/94 (norma generale di riferimento per la sicurezza sul lavoro) e D.Lgs.277/91 (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.

Sotto questo aspetto, però, i risultati ottenuti nelle realtà aziendali non sono stati particolarmente soddisfacenti e neppure si è percepita negli ultimi anni una tendenza al miglioramento della situazione.

A questo si aggiunga che il quadro legislativo sta per cambiare in ragione dell'adozione di una nuova direttiva europea (la 2003/10/CE) sull'esposizione professionale al rumore che dovrà essere recepita dagli Stati membri entro il 15 febbraio 2006. Questa direttiva, in ossequio alla politica di progressivo innalzamento degli standard di sicurezza e salute dei lavoratori dell'Unione, prevede una serie di importanti novità (si pensi ad esempio all'abbassamento del valore limite di esposizione personale giornaliero $L_{EP,d}$ dagli attuali 90 dB(A) a 87 dB(A)) che evidenziano ancor di più la necessità di mettere in campo una politica di prevenzione tecnica per la gestione del rischio rumore.

Come discusso nel Capitolo 1, le bonifiche acustiche, oltre che un dovere morale ed un obbligo sociale penalmente sanzionato, possono rappresentare un investimento. Inoltre la loro realizzazione è spesso ostacolata da una carente informazione tecnica sia dei datori di lavoro che, purtroppo, dei loro consulenti.

Per colmare queste carenze ed in ottemperanza agli scopi istituzionali, l'ISPESL ed il Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome hanno predisposto questo Manuale che rappresenta una ideale continuazione del precedente documento ISPESL/Coordinamento Regioni, le "Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro, la redazione dei rapporti di valutazione e la gestione degli adempimenti conseguenti".

Ricordiamo che quest'ultimo è stato diffuso in oltre 25.000 copie ed è reperibile, nella sua versione aggiornata, presso il sito web dell'ISPESL all'indirizzo:

http://www.ispesl.it/linee_guida/fattore_di_rischio/rumore.htm

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.277/91 che, all'articolo 40 e nell'Allegato VI, stabilisce le modalità esecutive ed i requisiti della valutazione del rischio e del Rapporto di Valutazione.

Non si intende certo qui ritornare sui concetti già espressi sulle Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro (e ai quali si rimanda per completezza), quanto nuovamente sottolineare 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 Relazione Tecnica che sta alla base della 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) identificare i luoghi di lavoro su cui si applicano protocolli specifici di prevenzione (ad esempio: perimetrazione dei luoghi di lavoro con livello equivalente sonoro $L_{Aeq} > 90$ dB(A) e/o livello di picco $L_{picco} > 140$ dB(Lin) ; formazione e informazione dei lavoratori sull'utilizzo di macchine che producono $L_{Aeq} > 85$ dB(A));
- 3) identificare i lavoratori destinatari di protocolli specifici di prevenzione (definizione dei livelli di esposizione personale (L_{EP}) ai fini dei controlli sanitari, esigenze di informazione/formazione, fornitura/obbligo d'uso dei DPI uditivi) anche per attuare gli obblighi a ciò connessi (registro degli esposti ex art. 49, comunicazione ex art. 45);
- 4) valutare il rischio "residuo" ai fini della scelta dei corretti DPI uditivi.

Ecco allora che una tale Relazione Tecnica 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 sul Rapporto di Valutazione.

In definitiva, la valutazione del rischio da rumore, secondo quanto previsto dall'articolo 40 del D.Lgs.277/91, è innanzitutto un processo tecnico di conoscenza della rumorosità presente nella realtà produttiva oggetto della valutazione e dell'esposizione personale al rumore degli addetti che vi operano. Tale processo di conoscenza non deve però rimanere fine a se stesso, ovvero non deve consistere in una mera "fotografia" dell'esistente seguita da una serie di adempimenti minimi ed esplicitati dalla legge; piuttosto esso deve essere finalizzato alla riduzione ed al controllo dei rischi attraverso l'adozione di specifiche misure tecniche, organizzative e procedurali che la legge non ha voluto (né avrebbe potuto) dettagliare (se non fissando principi di carattere generale quali la prevalenza delle misure alla fonte o delle misure di prevenzione collettiva rispetto a quelle di protezione sulla persona), anche per non ingerire nelle scelte tipiche del datore di lavoro.

2.2. STRATEGIE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO

Come noto, 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. 3 del D.Lgs.626/94 e l'art.41 del D.Lgs.277/91, 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 sulle fonti e sulle vie di propagazione del rumore, sulla base del cosiddetto rischio residuo, è corretto mettere in campo i provvedimenti di protezione dell'udito.

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

Esaminati tutti i possibili interventi tecnici in grado di garantire la riduzione della rumorosità desiderata 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 il Rapporto di Valutazione, se del caso rimodulando i relativi adempimenti di legge e 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 alla fase:

- ***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 si sceglierà quella con il più vantaggioso rapporto costo-rendimento.

- ***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 abbattimento).

- ***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'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 tanto il datore di lavoro e i suoi collaboratori quanto il tecnico incaricato della progettazione e della realizzazione degli interventi acustici. Quest'ultimo deve essere un professionista 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.

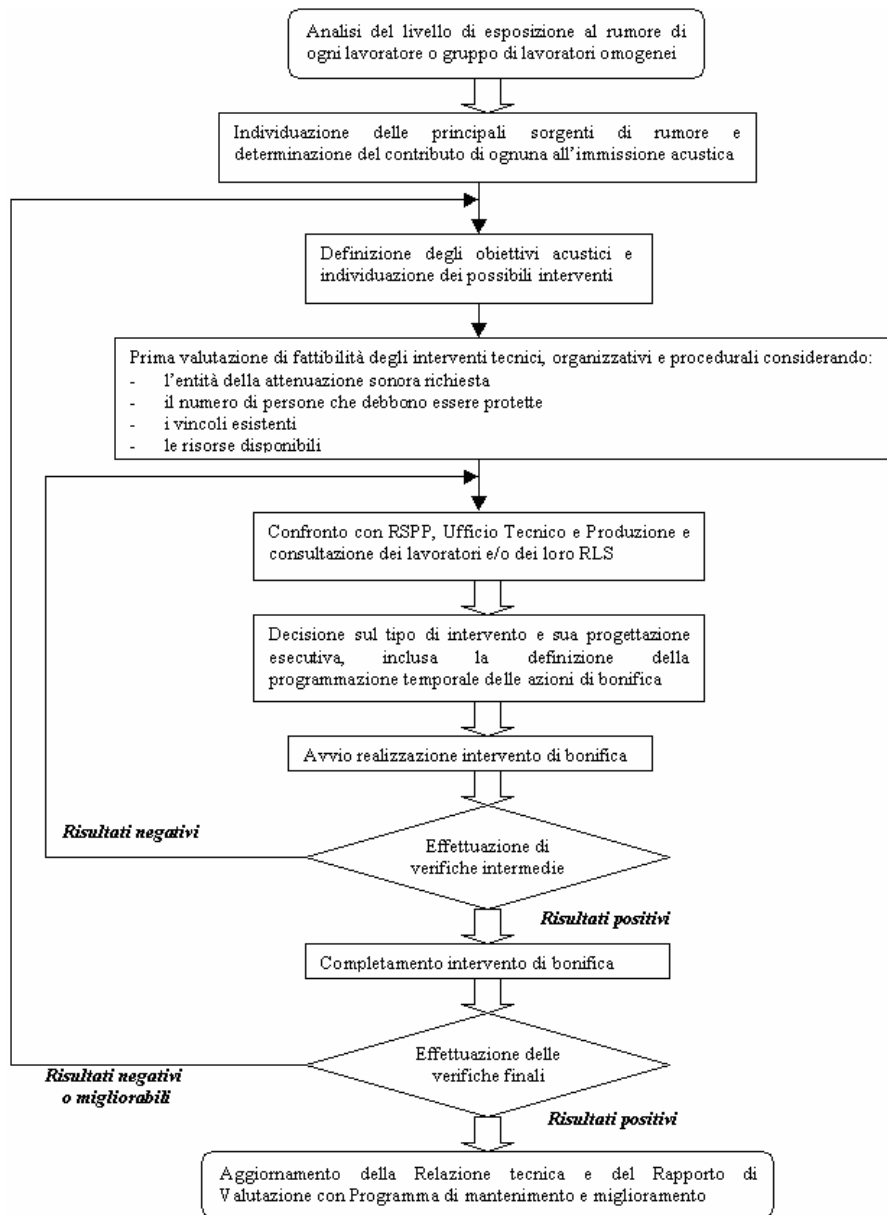


Figura 2.1: Processo di pianificazione e realizzazione delle opere di bonifica acustica

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 l'ampliabilità e la flessibilità dell'organismo edilizio che si andrà a realizzare.

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.

Nella moderna gestione delle imprese, le variabili sicurezza e ambiente sono riprese dai sistemi di gestione della qualità e quindi considerate anche come opportunità per recuperare ed accrescere la produttività, la qualità del bene o del servizio e, in definitiva, la competitività aziendale. Assolutamente concordi sono infatti le valutazioni circa la riduzione dei costi sociali ed aziendali che si ottiene mediante la previsione dei rischi già in fase di progettazione.

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 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).

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 [Sezione C](#) del Terzo Livello è riportata una rassegna di interventi di riduzione del rumore negli ambienti di lavoro industriali.

3.1. RIDUZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO

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 e la disposizione delle sorgenti interne;
- la disposizione delle sorgenti esterne;
- l'isolamento acustico.

3.1.1. Ubicazione dell'insediamento e aspetti normativi

La "Legge quadro sull'inquinamento acustico" n. 447 del 6 ottobre 1995, all'articolo 8 ha introdotto l'obbligo di effettuare la valutazione preventiva di impatto acustico dei nuovi insediamenti produttivi.

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 di immissione (misurati in prossimità dei ricettori) prescritti dalla vigente normativa e riportati in Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Valori limite assoluti di immissione prescritti dall'art. 3 del 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 | 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 3.2, 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 3.2: 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 prevalentem. industriali | tutto il territorio nazionale | 70 | 60 |
| VI - aree esclusivam. industriali | zona esclusivamente industriale | 70 | 70 |

Si può quindi sintetizzare affermando che l'area per l'insediamento va scelta considerando:

- a) il piano di classificazione acustica comunale (approvato o previsto);
- b) i valori limite assoluti di immissione (fissati o prevedibili) per detta area e per le aree limitrofe;
- c) il rumore prodotto da eventuali altri insediamenti.

Il rumore emesso dallo stabilimento in via di realizzazione dovrà poi rispettare i limiti riportati nella Tabella 3.3. 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 riguardano l'intero periodo di riferimento (diurno 06-22, notturno 22-06), mentre i limiti differenziali si riferiscono ad un periodo rappresentativo del fenomeno in esame.

Tabella 3.3: 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 |

3.1.2. 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 3.1.

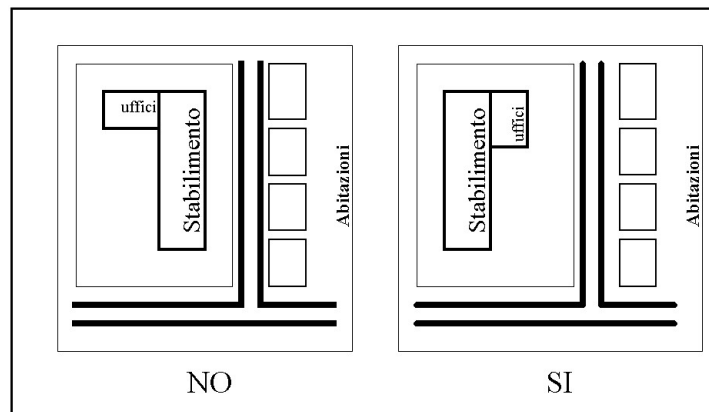


Figura 3.1: Interposizione della palazzina uffici tra lo stabilimento e le abitazioni

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.

3.1.3. Disposizione delle sorgenti esterne

Per minimizzare le conflittualità coi ricettori più vicini, 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 3.2) 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 con adeguate bonifiche (schermi o barriere, silenziatori ecc...).

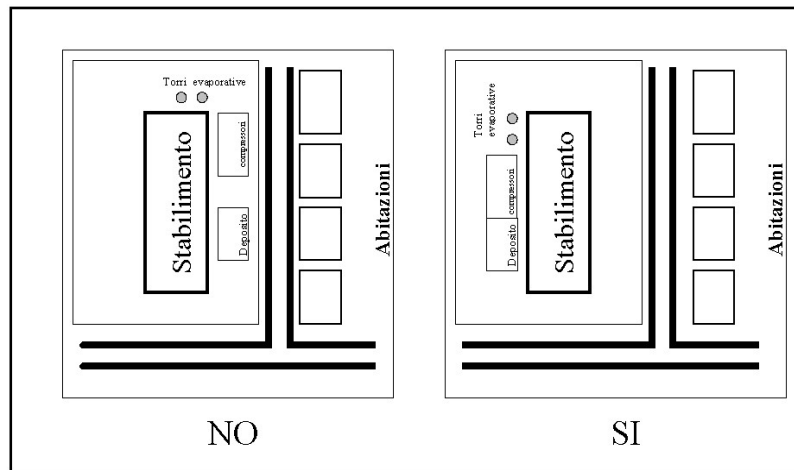


Figura 3.2: Esempio di interposizione dello stabilimento tra sorgenti fisse esterne e ricettori potenzialmente disturbati

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:

- a) eventuali attività svolte all'aperto associate al ciclo produttivo (lavori di demolizione; collaudi, manutenzione e pulizia di macchinari e impianti; smerigliatura, martellatura);
- b) attività di movimentazione, carico, scarico, deposito di materie prime e rifiuti;

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 3.3 è riportato un esempio di ottimizzazione delle vie d'accesso allo stabilimento.

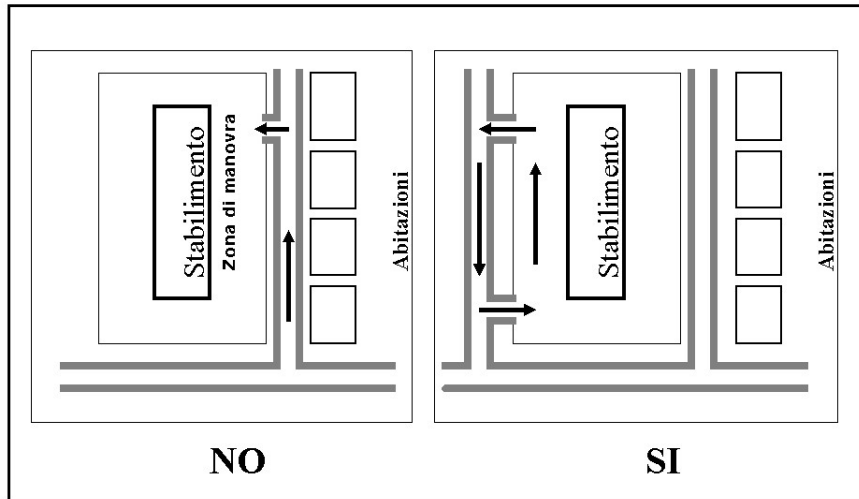


Figura 3.3: Esempio di pianificazione delle zone di manovra per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dal traffico indotto dalle attività industriali

3.1.4. 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 presenta 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 a livello 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 12354-4:2002, 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.

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 5 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, a causa della trasmissione sonora laterale.

Nella [Sezione B2](#) del Terzo Livello è riportata una ampia rassegna dei materiali e tecnologie per il fonoisolamento.

3.2. RIDUZIONE DEL RISCHIO PER I LAVORATORI

Come già più volte affermato, l'adozione di tutti gli accorgimenti necessari per ridurre il rumore o comunque l'esposizione degli addetti è contenuta negli obblighi generali previsti dagli articoli 46 e 41 del D.Lgs.277/91, rispettivamente per la fase di progetto e di conduzione di uno stabilimento industriale. In questo modo, relativamente alle caratteristiche acustiche dei locali, rientrano nelle disposizioni da rispettare le raccomandazioni di buona tecnica disponibili, ed in particolare le norme delle serie ISO 11690 "Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario...".

Richiamato nuovamente l'assunto che l'azienda in 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.

3.2.1. 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.

Qualora non fosse percorribile nessuna delle due vie precedentemente descritte precedenti, si può ovviare alla carenza ricorrendo a:

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

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

3.2.2. 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 economica di contenere al massimo gli spazi coperti occupati dall'azienda.

Senza volerci addentrare più di tanto su questo (talvolta apparente) conflitto d'interessi, 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 ...) su tutte le principali sorgenti di rumore.

La difesa dell'integrità uditiva dei lavoratori deve essere conseguita con le stesse attenzioni della tutela della sicurezza, dell'ergonomia e della salute da ogni altro rischio; ecco allora che l'aver eccessivamente avvicinato macchine o linee produttive non avendo tenuto conto dell'esigenza di bonificare acusticamente le sorgenti rumorose, configura l'infrazione delle norme sull'igiene e la sicurezza nei luoghi di lavoro (nella fattispecie, dell'art.46, D.Lgs.277/91).

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 $L_{EP} > 80$ dB(A).

La pratica della valutazione presso le ASL dei [nuovi insediamenti produttivi](#) (ex art.48. D.P.R.303/56) può contribuire a rendere prassi questi principi.

Le caratteristiche geometriche degli edifici produttivi che possono avere gli effetti più apprezzabili sui livelli di esposizione a rumore sono la forma della pianta e del soffitto.

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 3.4a) o a C (Figura 3.4b) di fatto determinano ambienti sostanzialmente separati (anche se in modo imperfetto) con indubbi vantaggi sotto il profilo della propagazione acustica.

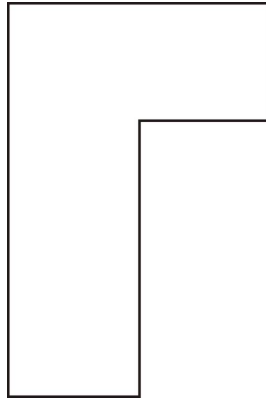


Figura 3.4a: Pianta di stabilimento a L

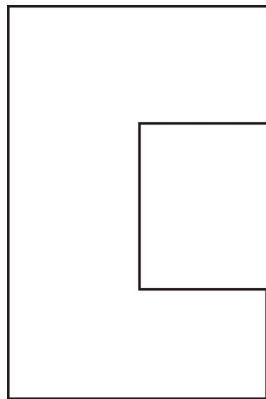


Figura 3.4b: Pianta di stabilimento a C

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

- Il soffitto a volta (Figura 3.5a) 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 3.5b) o, meglio ancora, inclinato (Figura 3.5c), 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 3.5d).

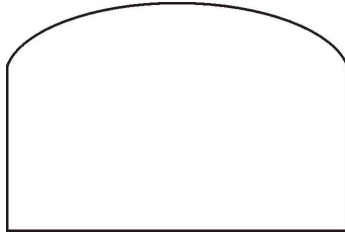


Figura 3.5a: Soffitto a volta

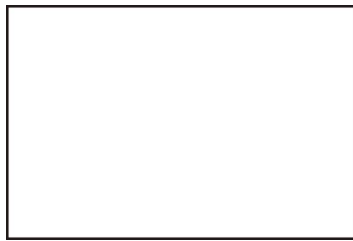


Figura 3.5b: Soffitto piano orizzontale

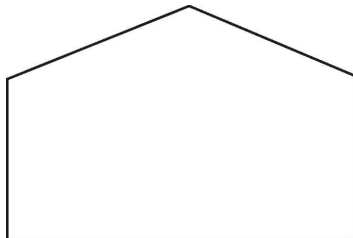


Figura 3.5c: Soffitto a doppia falda

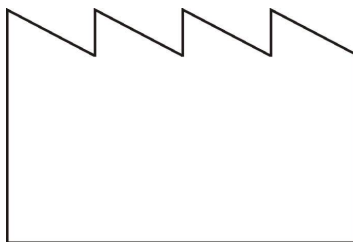


Figura 3.5d: Soffitto a denti di sega (*sheds*)

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.

Analogamente la forma del soffitto ha un effetto molto meno rilevante 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](#)).

3.2.3. Stima dei livelli di esposizione negli ambienti di lavoro

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

Le formule più utilizzate per calcolare il livello di pressione sonora L_p esistente in un dato punto r di un ambiente industriale, richiedono la conoscenza del livello di potenza acustica della sorgente L_w , della sua direttività Q_0 , delle caratteristiche assorbenti del locale e della 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 (una rassegna di quelli attualmente disponibili in commercio è riportata nella [sezione B.4](#) del Terzo Livello), che permettono valutazioni molto 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.

3.2.4. 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, e che si ritiene siano utilizzabili nella grande maggioranza dei casi:

- 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).

E' tuttavia da rilevare che in taluni settori produttivi o attività particolarmente problematiche (ad esempio: industria del vetro, tessile, smerigliatura...) occorra necessariamente fare i conti con lo stato dell'arte dell'insonorizzazione delle macchine, attrezzature, impianti dello specifico settore, che in molti casi non consente di raggiungere i valori sopracitati. Non di meno si ricorda che l'impossibilità di contenere i livelli di esposizione personale al di sotto dei 90

dB(A) è soggetta all'obbligo di segnalazione, ex art.45 D.Lgs.277/91, alla ASL competente per territorio.

In questo Manuale sono analizzati i principali interventi di controllo del rumore che permettono il rispetto degli obiettivi prima richiamati. 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 degli 80 dB(A).

3.2.5. Interventi sul *lay-out*

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

In questo Capitolo si tratteranno solo gli interventi di controllo del rumore che riguardano il *lay-out*; i trattamenti acustici ambientali sono discussi al successivo punto 3.2.6 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 che ha pienamente valore giuridico il principio di tutela dalle esposizioni indebite sancito dall'art.19 del D.P.R.303/56.

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 (raramente si tratterà di vere e proprie opere murarie) 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. Questa soluzione si presta particolarmente per attività quali la pressatura, la molatura, la saldatura, il taglio e la tranciatura, che hanno bisogno di rimanere collegate con le aree produttive vicine (ad es.: per carico/scarico con carri ponte). L'isolamento delle sorgenti dal resto dell'ambiente e/o il loro isolamento reciproco può essere realizzato mediante schermi acustici fonoisolanti-fonoassorbenti, fissi o mobili, che circondino, quanto più possibile la sorgente. Se le posizioni da separare acusticamente sono a ridosso delle pareti, gli schermi assumono in pianta la forma a L o a T (Figura 3.6). 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 3.7). Per ulteriori approfondimenti vedi [Scheda n.19](#) del Secondo Livello.

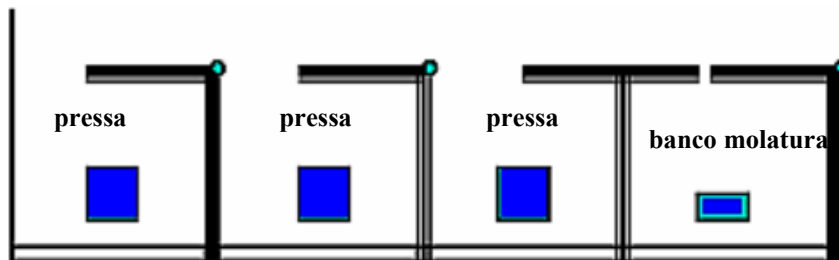


Figura 3.6: Schermi a forma di L o T

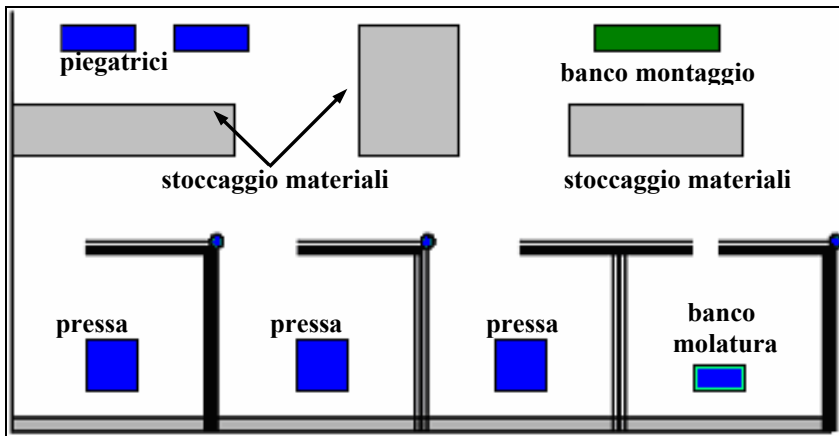


Figura 3.7: Aree di stoccaggio dei materiali utilizzate come schermi

c) Collocazione delle macchine rumorose

Se non si ha intenzione di cabinare o schermare la macchina, va evitato di collocarla 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) 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 costo praticamente nullo, soprattutto se realizzati in fase di progettazione.

3.2.6. Trattamenti fonoassorbenti ambientali

I [trattamenti fonoassorbenti ambientali](#) sono un intervento la cui adozione va attentamente valutata.

Sia la teoria della propagazione del suono negli spazi confinati che i risultati sperimentali (vedi Figura 3.8) 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, quando ci sono, risultano invece spesso trascurabili o modeste.

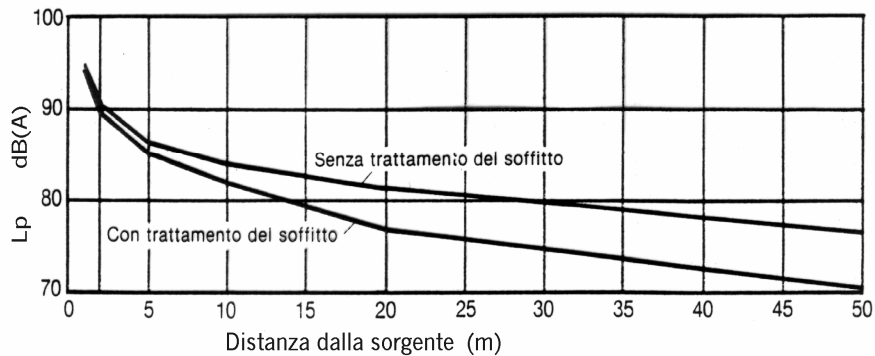


Figura 3.8: Curve di decremento del livello sonoro in funzione della distanza dalla sorgente misurate in un capannone industriale prima e dopo il trattamento del soffitto con pannelli fonoassorbenti sospesi (*baffles*)

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 3.8. Inoltre, come già detto nel Capitolo 2, occorre considerare che i guadagni ottenibili con il fonoassorbimento, seppure inferiori in termini numerici rispetto agli interventi sulle sorgenti, corrispondono a guadagni in termini di decibel che si trasferiscono interamente sui L_{EP} 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 essi quasi mai interagiscono con le modalità produttive che possono mantenere così i propri gradi di flessibilità.

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](#) del Secondo Livello).

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 3.2.5 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 3.9). 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.

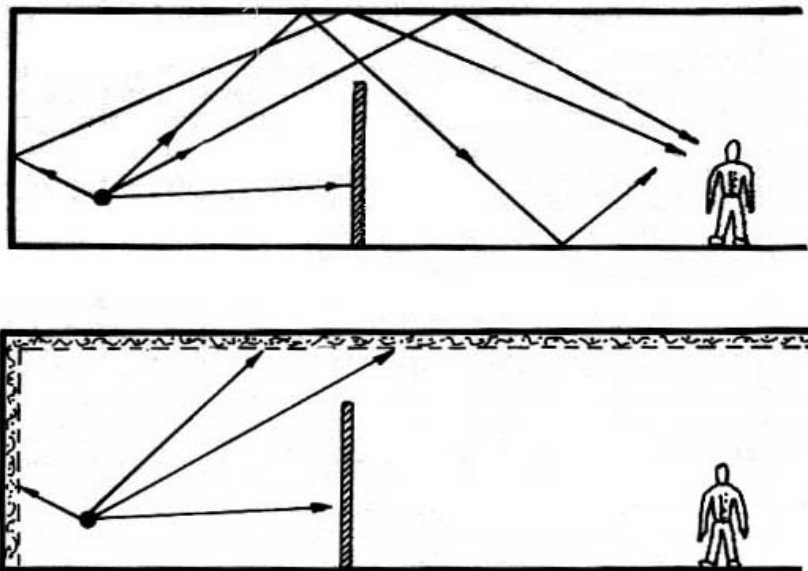


Figura 3.9: Schematizzazione dell'effetto dei trattamenti fonoassorbenti superficiali nel caso di impiego di barriere fonoisolanti in uno spazio chiuso

Nella [Sezione B1](#) del Terzo Livello è riportata una ampia rassegna dei materiali e tecnologie per il fonoassorbimento.

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 ed alle discoteche, 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 produttivi 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 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) 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_{EP} 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 cm dal suo orecchio in condizioni operative normali, ma 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 ISO 3382:1997) ovvero, per ambienti ampi, indice di attenuazione 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.

Nel panorama legislativo italiano non esistono ad oggi provvedimenti che prescrivano valori da rispettare per i suddetti parametri. In particolare non sono valori numerici da rispettare i livelli di riferimento indicati nel D.Lgs.277/91 (80, 85 e 90 dB(A)), che costituiscono invece, più propriamente, dei valori al di sopra dei quali occorre attivare specifici protocolli di prevenzione.

Tuttavia il D.Lgs.626/94 (art.3, comma 1, lettera b) dichiara l'esigenza della "eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non sia possibile, loro riduzione al minimo" (come del resto affermato anche dal D.Lgs.277/91, all'art.41, comma 1 e all'art.46), nonché alla lettera f "rispetto dei principi ergonomici nella concezione dei posti di lavoro, ...",

che dà così valore alle indicazioni fornite dalle norme di buona tecnica, dalle linee guida e dalla letteratura pertinente.

L'unica eccezione riguarda gli ambienti scolastici ove, in virtù del D.M. 18/12/75, sono indicati specifici valori di T_{60} da rispettare.

Inoltre esistono provvedimenti legislativi che, elaborati con l'obiettivo principale della tutela della popolazione dal disturbo da rumore, stabiliscono talune prestazioni acustiche (D.P.C.M. 14/11/97 e D.P.C.M. 05/12/97 che definiscono le classi acustiche del territorio ed i requisiti acustici passivi degli edifici) il cui rispetto, anche se non garantisce automaticamente il raggiungimento delle condizioni del comfort acustico lavorativo, si è reputato concorrano a questo obiettivo e quindi significativi.

A tutto ciò si aggiungano le indicazioni desumibili dalla UNI 8199:1998 relativamente agli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione.

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

- 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 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_{EP} ([livello di esposizione](#)), il L_{Aeq} ambientale, il [rumore di fondo](#) ma, soprattutto, il [tempo di riverberazione](#).

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 deve 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_{ic} non superiore a 35 dB(A) per uffici singoli ad attività progettuale, non superiore a 40 dB(A) per uffici singoli ad attività di routine e non superiori a 45 dB(A) per quelli *open-space* (UNI 8199:1998);
- 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 dell'[isolamento acustico](#) $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici. Il valore si riferisce alla prestazione acustica in opera dell'intera parete, porte comprese.

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 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 e UNI 8199:1998 utilizzando i dati di Letteratura ed i dati sperimentali a disposizione dei componenti il Gruppo di Lavoro per i restanti valori.

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

- a) 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;
- b) rumore di fondo non superiore a 45 dB(A);
- c) livello corretto del rumore di impianto L_{ic} non superiore ai valori evidenziati nella Tabella 4.2;
- d) tempo di riverberazione T_{60} o indice di attenuazione 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 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 |
| 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 dell'isolamento acustico $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici. Il valore si riferisce alla prestazione acustica in opera dell'intera parete, porte comprese.

4.1.3. Ambienti comunitari e di pubblico spettacolo: discoteche

Si possono definire ambienti comunitari e di pubblico spettacolo gli ambienti specificamente destinati all'ascolto della parola o della musica (sale per conferenze, teatri, cinema, auditorium, discoteche ecc.) o gli ambienti pubblici chiusi destinati allo svago, alla lettura, alla preghiera (sale giochi, palestre, palasport, piscine, sale d'aspetto di stazioni o aeroporti, mense, biblioteche, pinacoteche, musei, chiese).

I livelli sonori rilevabili in questo tipo di ambienti non sono solitamente di entità tale da causare danni all'apparato uditivo ed anzi, in taluni casi ci si trova di fronte ad ambienti silenziosi nei quali possono svolgersi attività ad elevata concentrazione nelle quali l'eccessivo rumore è causa unicamente di distrazione e disturbo. In altri contesti intermedii, livelli di rumore più elevati possono contribuire all'insorgenza di fenomeni di *annoyance*, ma non mancano ambienti i cui livelli sonori sono anche in grado di provocare danni di tipo uditivo, certamente nei lavoratori, talvolta nei frequentatori. Ad esempio nelle discoteche il rispetto delle esigenze dei frequentatori non determina parimenti anche il rispetto delle esigenze del lavoratore, infatti, il personale che lavora (DJ, camerieri, barman) se non specificamente tutelato, può trovarsi in condizioni di rischio per la funzionalità uditiva anche nel caso del rispetto di tutte le normative nate a tutela di possibili disturbati e della salute dei frequentatori.

Il riferimento normativo riferito agli avventori per i luoghi di intrattenimento danzante è costituito dal D.P.C.M. 16/04/99 n. 215 che definisce dei livelli massimi di pressione sonora consentiti, misurati in corrispondenza delle posizioni più esposte, accessibili al pubblico. Nel caso di superamento dei valori massimi devono essere adottati provvedimenti da parte dei gestori dei locali.

Il contenimento del rischio nelle discoteche deve basarsi sull'installazione di altoparlanti a bassa potenza, direzionali e con limitatori di potenza in emissione, sulla separazione acustica della postazione DJ dalla pista, realizzando box a bassa rumorosità, sul distanziamento della zona bar e comunque su una generale progettazione e organizzazione mirata degli ambienti.

Affinché il rumore nelle postazioni di lavoro non interferisca con l'attività svolta, nella normalità dei casi occorre che i valori del livello di esposizione (L_{EP}) rimangano contenuti nei 55-65 dB(A) per il personale amministrativo. Questi possono salire a 65-75 dB(A) per il personale addetto alla reception (biglietteria, guardaroba ...), raggiungere e superare gli 80 dB(A) per il personale di sala (barman, camerieri, personale della sicurezza ...).

Particolarmente problematico si presenta poi il controllo dell'esposizione del personale che esegue l'attrazione (DJ, orchestrali ...). Relativamente a questi aspetti, poiché nella nuova direttiva comunitaria sull'esposizione a rumore negli ambienti di lavoro (Direttiva 2003/10/CE) è previsto che sia realizzato un "codice di condotta" recante orientamenti pratici per aiutare gli operatori dei settori musica e intrattenimento ad adempiere agli obblighi giuridici stabiliti dalla direttiva, ivi compreso il rispetto dei nuovi limiti di esposizione fissati in 87 dB(A) di L_{EP} / 140 dB(C) di L_{peak} , si rimanda alle indicazioni di tale, futuro, codice.

Di seguito, infine, vengono elencati alcuni dei principali aspetti da considerare nella progettazione di una discoteca o nella sua bonifica:

- scelta di aree con [clima acustico](#) adeguato ponendo particolare attenzione al disturbo agli insediamenti vicini anche per le movimentazioni d'accesso ai locali;
- rispetto/ripristino dei requisiti acustici passivi (attenzione alle trasmissioni di rumore per via solida), potenziandoli in ragione dei risultati dello studio di impatto ambientale dell'insediamento;
- rispetto/ripristino dei requisiti di [fonoassorbimento](#) ambientali;
- installare altoparlanti a bassa potenza, direzionali e con limitatori di potenza in emissione;
- distanziare/schermare la zona bar dalla pista;
- separare la postazione DJ dalla pista avendo come obiettivo acustico: $L_{Aeq} < 80$ dB(A);
- per la tutela degli orchestrali, agire sul controllo dei tempi di esposizione in attesa del codice di comportamento che verrà prodotto in relazione all'emanazione della Direttiva 2003/10/CE;
- tarare accuratamente il volume degli amplificatori auricolari (esempio: DJ, personale di collegamento, di sorveglianza/sicurezza...) e controllare i livelli di esposizione di chi li usa;
- formulare sempre un capitolato d'acquisto con limiti acustici per tutte le principali infrastrutture (impianti di riscaldamento, condizionamento o ventilazione, ..., vedi [Scheda n.6](#) del Secondo Livello).

4.1.4. Ambienti scolastici

Per le scuole, dalle materne alle secondarie superiori, sono 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*”).

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 (il valore si riferisce alla prestazione acustica in opera dell'intera parete, porte comprese).

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.

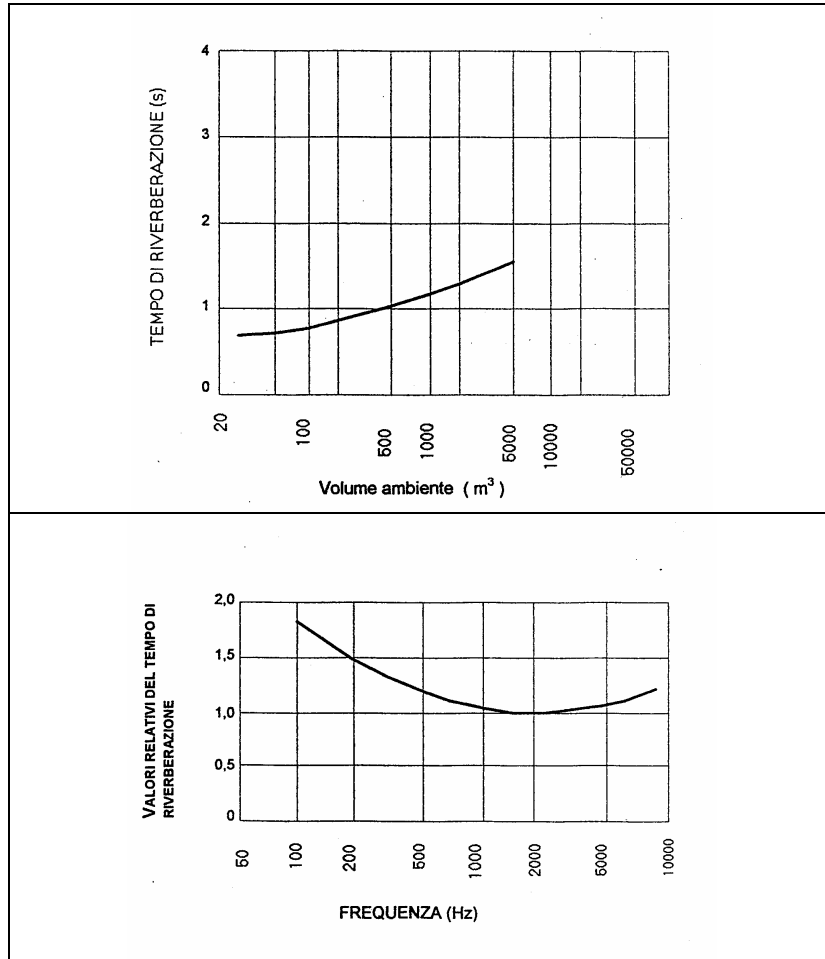


Figura 4.1. Diagrammi per il calcolo dei tempi di riverbero secondo il D.M. 18/12/75¹

¹ 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.

In linea generale si deve 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_{EP} . Particolarmente problematico si presenta il controllo dell'esposizione dei docenti (e degli studenti) nelle lezioni musicali pratiche, per i quali si rinnova il rimando al prossimo "codice di condotta" che verrà realizzato a seguito del recepimento della direttiva 2003/10/CE (vedi punto precedente);
- b) valori del livello continuo equivalente del [rumore di fondo](#), rilevato in assenza delle persone, non superiori a 40 dB(A) nelle aule, ma che possono salire a 45 dB(A) nelle palestre;
- c) [livello corretto del rumore di impianto](#) (L_{ic} , secondo la UNI 8199:1998) attribuibile ai soli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione non superiore a 30 dB(A) nelle aule e a 40 dB(A) nelle palestre.

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

- scegliere aree con clima acustico adeguato (tipicamente: Classe I) ovvero, nell'impossibilità reale, con livelli sonori comunque inferiori a 55 dB(A). Si ricorda che per questo tipo di insediamenti è richiesta una "valutazione previsionale del clima acustico" da allegare al progetto secondo l'art 8 della Legge 447/95 i cui criteri di redazione sono fissati dalle Regioni;
- rispettare/ripristinare i [requisiti acustici](#) passivi (attenzione alle trasmissioni di rumore per via solida), potenziandoli in ragione del clima acustico della zona in cui è collocato l'edificio. Particolare attenzione va posta ai requisiti di fonoassorbimento ambientale, utilizzando preferibilmente il solo 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 sempre un capitolato d'acquisto con limiti acustici per tutte le principali infrastrutture (impianti RCV, impianti frigoriferi, ascensori...) (vedi [Scheda n.6](#) del Secondo Livello).

4.1.5. 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 dell'[isolamento acustico](#) $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici. Il valore si riferisce alla prestazione acustica in opera dell'intera parete, porte comprese.

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

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

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

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

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

Per la definizione delle caratteristiche fonoassorbenti dei locali, del rumore di fondo e dei livelli di esposizione si è poi fatto riferimento in particolare alle norme UNI EN ISO 11690-1:1998 e UNI 8199:1998 utilizzando invece i dati di letteratura ed i dati sperimentali a disposizione dei componenti il Gruppo di Lavoro per i restanti valori.

In linea generale si deve cercare il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- a) livello di esposizione: è sufficiente verificare il rispetto dei valori indicati per il rumore di fondo e per il T_{60} , in quanto il livello di esposizione è determinato dalle sole attività antropiche tipiche di quell'ambiente e come tali facilmente controllabili. Solo per i servizi di diagnostica e terapia e per i laboratori

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

4.2. SINTESI DEI REQUISITI E DEGLI STANDARD ACUSTICI

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

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

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

I valori indicati, pur essendo quasi sempre desunti da leggi e norme per la tutela “generica” degli occupanti l'edificio, vanno ritenuti validi anche per la tutela “specificata” 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.P.C.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**, L_{EP} , indicato con carattere corsivo) oppure il livello di rumorosità rappresentativo delle condizioni espositive nell'effettivo tempo di esposizione (**Livello equivalente ambientale**, L_{Aeq} , indicato con carattere normale).

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.

Ispesl
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome

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

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

Ispesl
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome

Note:

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

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

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

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

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

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

In Italia, purtroppo, non esiste ancora una diffusa cultura della qualità, intesa come insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto e di un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite.

La pur crescente sensibilità della società verso la protezione della salute non è ancora stata in grado di incidere sulla generalità dei comportamenti degli acquirenti e dei produttori.

Il quadro non cambia anche se ci si riferisce ai soli rischi da rumore. Ad oltre un decennio dall'entrata in vigore dei primi obblighi informativi per determinate macchine da cantiere e dall'emanazione del D.Lgs.277/91 i segni del cambiamento sono ancora limitati.

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 nelle sezioni A.3 e A.4 del Terzo 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.277/91. Nello specifico, sono previsti i seguenti obblighi:

- per i produttori: progettare e realizzare macchine e impianti in modo da limitarne il più possibile l'emissione sonora; documentare adeguatamente la rumorosità del macchinario se il livello equivalente sonoro derivante dal suo utilizzo in modo appropriato supera gli 85 dB(A) o i 140 dB di livello di picco;
- per i datori di lavoro: scegliere, al momento dell'acquisto, l'attrezzatura che nelle normali condizioni di funzionamento produce il più basso livello di rumore.

E' quindi importante che i costruttori, dopo aver fatto tutto il possibile per contenere le emissioni sonore delle loro macchine (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"), forniscano informazione adeguata agli obiettivi della legislazione riportando valori di rumorosità misurati in condizioni standard, con metodi ripetibili e univoci.

Ciò è possibile per un numero sempre più importante di macchine sulla base di specifiche norme tecniche. E' evidente che là dove esistano standard normativi (UNI, EN, ISO) relativi alla specifica famiglia di macchine, la dichiarazione di

conformità va redatta facendo riferimento a tali standard e ciò rende “adeguata” l’informazione acustica.

Per i tipi di macchine ed impianti per cui non sia prevista specifica normativa per la valutazione delle emissioni sonore, poiché la legge non individua le modalità tecniche a cui i costruttori devono attenersi per fornire la documentazione, né tanto meno istituisce enti certificatori ai quali rivolgersi per eseguire la prova, ciascun produttore può documentare le caratteristiche acustiche delle proprie macchine in condizioni sempre rappresentative delle normali condizioni d’uso, ma sulle quali potrebbe esservi incertezza nel confronto fra diversi produttori.

In assenza di standard specifici la determinazione della rumorosità di un tipo di macchina il costruttore dovrà comunque rispettare i criteri di buona tecnica di carattere generale (serie UNI EN ISO 11200) e fornire le seguenti informazioni:

1. descrizione della macchina oggetto della prova;
2. specificazione della posizione di lavoro ove i livelli di emissione sonora sono stati misurati;
3. condizioni di installazione e di montaggio della macchina;
4. condizioni operative;
5. metodologia di misura seguita;
6. valori dichiarati e condizioni di verifica.

Ciò che deve essere evidente è che le condizioni di prova (tanto quelle di installazione e montaggio della macchina, quanto quelle operative – n°giri, potenza erogata, utensili ed accessori impiegati, caratteristiche del materiale in lavorazione ...) devono essere rappresentative delle condizioni di massima rumorosità nell’uso normale e corretto della macchina.

Altra norma di riferimento a carattere generale è la Direttiva 89/392/CE e successive integrazioni, recepita in Italia con il Decreto del Presidente della Repubblica n. 459/96, meglio conosciuta con il nome di “Direttiva Macchine”. Questa direttiva riguarda ogni produttore, rappresentando 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.P.R.459/96, in modo del tutto analogo al D.Lgs.277/91, obbliga il produttore a progettare e costruire una macchina avente il minor livello possibile di emissione di rumore tenuto conto del progresso tecnico, e della possibilità di limitare il rumore, in particolare alla fonte (interessanti spunti su questo argomento possono essere desunti dalla UNI EN ISO 11688-1:2000 “Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore”).

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

- a) [livello di pressione acustica continuo equivalente ponderato A](#) (L_{Aeq}) nei posti di lavoro se questo supera i 70 dB(A). In caso contrario deve essere dichiarato il non superamento;

- b) in aggiunta al precedente anche il **livello di potenza acustica** (L_{WA}) emesso dalla macchina, quando il livello di pressione acustica continuo equivalente ponderato. A nei posti di lavoro supera gli 85 dB(A). Nel caso di macchine di grandissime dimensioni è possibile sostituire l'indicazione del L_{WA} con l'indicazione dei livelli di pressione acustica continui equivalenti in appositi punti attorno alla macchina;
- c) valore massimo di pressione acustica istantanea ponderata C (**livello di picco** L_{peak}) nelle postazioni di lavoro, se questo supera i 130 dB(C).



DICHIARAZIONE CE DI CONFORMITÀ
EC DECLARATION OF CONFORMITY

Il fabbricante / *the manufacturer* :

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

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

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

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

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

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

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

WWWWW
Data / *date*: xx/xx/xxxx

XXXX
Mario Rossi
(Il Legale Rappresentante)

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

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

Si osservi che se il costruttore indica correttamente i valori di emissione sonora (dopo aver fatto tutto il possibile per contenerli), consente al datore di lavoro utilizzatore di effettuare un confronto delle prestazioni acustiche offerte dai diversi macchinari in commercio e quindi lo mette in grado, nel concreto, di assolvere all'obbligo previsto dall'art.46 del D.Lgs.277/91 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.

La direttiva 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.P.R.459/96 non prevede obblighi specifici per il datore di lavoro se non quello di appurare la conformità del macchinario, verificando la marcatura CE e la dichiarazione di conformità che l'accompagna, ovviamente andando a scegliere quella macchina che, a parità di prestazioni, 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.277/91 e dal D.Lgs.626/94.

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.P.R.459/96.

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

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

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

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.

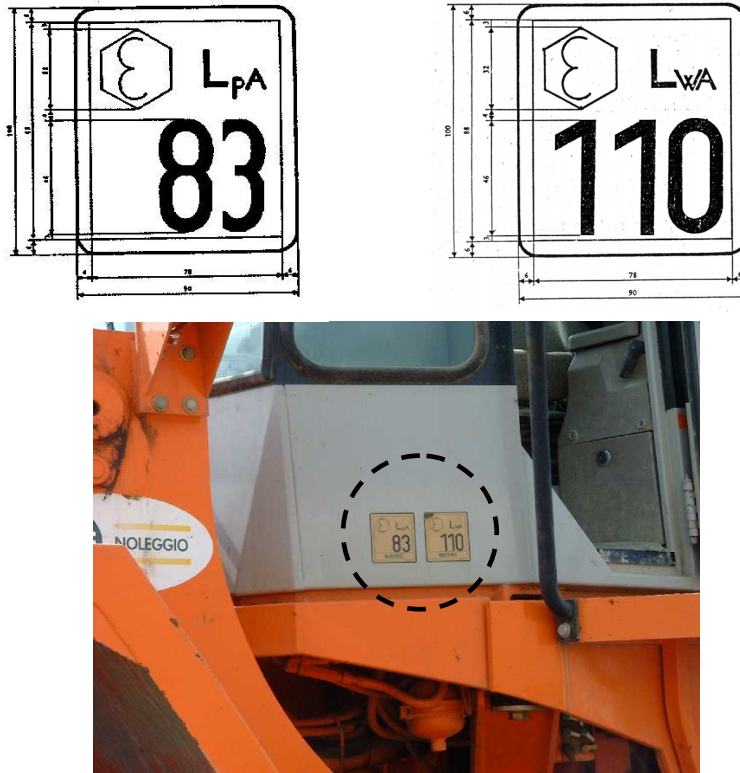


Figura 5.2: Targhette di informazione del livello di pressione sonora al posto di lavoro L_{pA} (sinistra) e di potenza sonora L_{wA} (destra) previste dalla normativa vigente fino al 31/12/02 per alcune macchine funzionanti all'aperto

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 e, nel caso di superamento degli 85 dB(A), ai sensi del D.Lgs.277/91).
Di seguito viene messo a confronto il nuovo pittogramma che accompagna le macchine e attrezzature conformi alla Direttiva 2000/14/CE (sopra) con quello precedente(sotto).

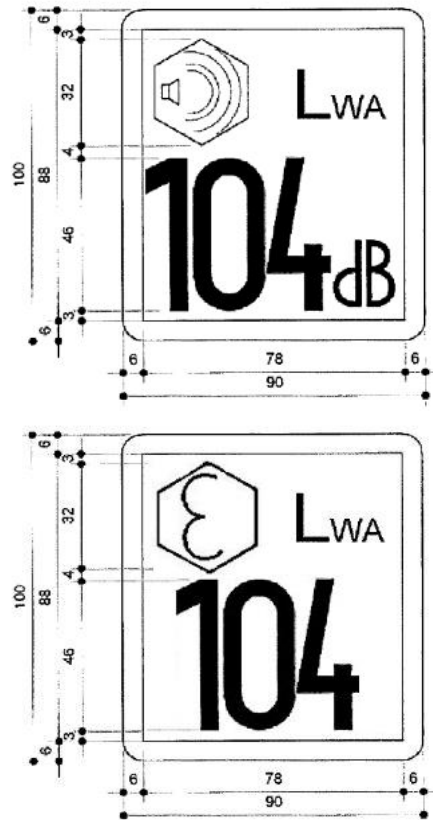


Figura 5.3: Targhette riportanti il livello di potenza sonora per una macchina o attrezzatura rispondente alla nuova normativa 2000/14/CE (sopra) e a quella precedente (sotto)

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 85 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.

Spesso, inoltre, le effettive condizioni di utilizzo del macchinario non coincidono con quelle di certificazione acustica. Ecco allora che è interesse dell'acquirente richiedere anche i dati sull'emissione sonora nelle effettive condizioni d'utilizzo della macchina o dell'attrezzatura.

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} . E' 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 i comportamenti di taluni produttori che sulla base di una lettura parziale della normativa finiscono col dichiarare unicamente i livelli di rumorosità a vuoto di macchine che in condizioni operative sono fortemente rumorose. Nel merito occorre sottolineare che sia il D.Lgs.277/91 che la "Direttiva macchine" prevedono che le prove di rumorosità debbono essere ragionevolmente rappresentative delle condizioni di reale funzionamento.

Quindi, l'indicazione operativa è se qualora il produttore proponesse livelli di rumore della macchina funzionante a vuoto occorre richiedergli i dati del rumore nella condizione di lavoro in cui verrà utilizzata la macchina e, se il produttore non fornisce i dati richiesti, si consiglia di rivolgersi ad altri.

Un secondo tipo di atteggiamento da evidenziare è quello dei costruttori/venditori che propongono macchine rumorose che, nelle stesse condizioni d'uso e per le stesse applicazioni, sono in versione silenziata ed in versione non silenziata (ovviamente meno costosa). E' evidente che un tale costruttore o venditore commette un reato e, se porta a conclusione la vendita della macchina non silenziata, induce l'acquirente a commettere un secondo reato.

E' per combattere queste situazioni che risulta ovviamente determinante anche la presenza, in termini di vigilanza, degli organismi preposti (in primo luogo del Ministero delle Attività produttive).

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.P.R.459/96, è compito in primo luogo del Ministero delle Attività produttive 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 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.P.R.459/96, D.Lgs.475/92...), su delega del Ministero dell'Industria, è compito affidato ai tecnici ISPESL (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 verificano 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 ai Ministeri dell'Industria e del Lavoro.

Solo il Ministero dell'Industria 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 mancata applicazione delle "direttive di prodotto", oltre a condurre la loro normale azione di vigilanza sul rispetto, in particolare, dell'art.46 D.Lgs.277/91 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.

Ispesl
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome

La procedura di segnalazione prevede l'invio, ai sensi dell'art.7 comma 3 del D.P.R.459/96, di una comunicazione, di cui si allega il modello (Modello 1), ed una relazione di accertamento di non conformità (Modello 2) al Ministero delle Attività Produttive, al Ministero del Lavoro ed all'Assessorato alla Sanità della propria Regione.

Modello 1- Modello di comunicazione

....., li

**Al Ministero delle Attività Produttive
DGSPC - Ispettorato Tecnico
Ufficio F1
Via Molise,2
00187 ROMA**

**Al Ministero del Lavoro e delle
Politiche Sociali
D.G. Affari Generali - Div. VII
Coordinamento Ispettorati del Lavoro
Via Pastrengo, 22
00185 ROMA**

**e, per conoscenza All'Assessorato Sanità
Servizio Prevenzione
Via
CAP..... Città**

prot. n°
Raccomandata A.R.

**OGGETTO: Non conformità ai requisiti essenziali di sicurezza della
macchina / del componente di sicurezza.
Comunicazione effettuata ai sensi dell'art. 7 comma 3 del DPR
459/96 (regolamento di attuazione della DIRETTIVA
MACCHINE)**

In allegato alla presente si trasmette la relazione di accertamento di non conformità ai requisiti essenziali di sicurezza, di cui all'allegato I del DPR 459/96 (Regolamento di attuazione della Direttiva Macchine) redatta da operatori dello scrivente Servizio.

Questa comunicazione viene inviata ai sensi dell'art. 7 comma 3 del decreto citato 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
(.....)

DATI IDENTIFICATIVI A 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 NON CONFORMITÀ

- La macchina è stata introdotta sul mercato in violazione alle procedure di immissione di cui al DPR 459/96 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. 6 D.Lgs. 626/94 SONO STATI ADOTTATI PROVVEDIMENTI CONTRAVVENZIONALI NEI CONFRONTI DI ...

Costruttore e/o venditore: NO SÌ

Comunicazione ad ASL/ARPA competente? (zona del costruttore):

NO SÌ

Intervento diretto presso il costruttore?

(in zona di competenza) NO SÌ

ALLEGATI:

- 1) Dichiarazione di conformità
- 2) Istruzioni per l'uso
- 3) Fotografie

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.

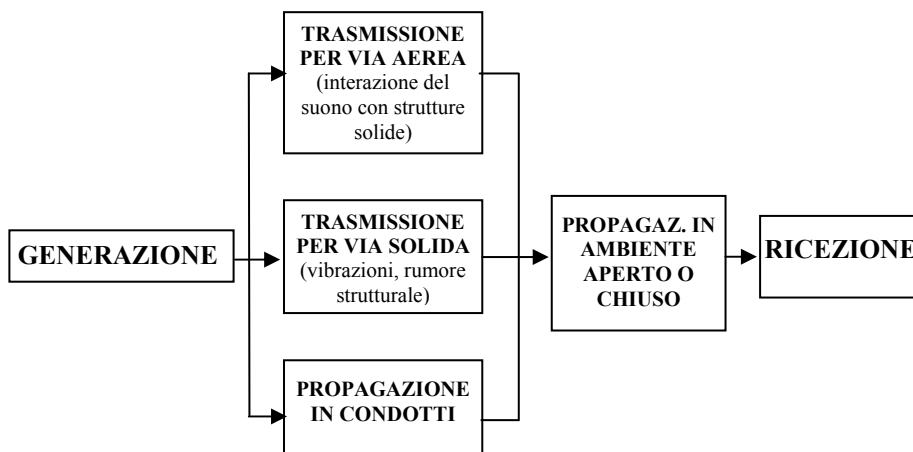


Figura 6.1: Schema generale della emissione ed immissione acustica

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 (almeno come punto di partenza) 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 ricompressione implodono.

6.1.3. Bonifica delle sorgenti sonore secondarie

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

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

Il problema è sviluppato in maniera approfondita al Secondo Livello del Manuale, in particolare nelle [Schede n.12, 13, 14, 15](#).

Di particolare interesse nell’ambiente industriale sono le sorgenti secondarie costituite da 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 conduttura: se la conduttura è fissata rigidamente ad una struttura, può eccitare

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

6.1.4. Esame di un caso

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

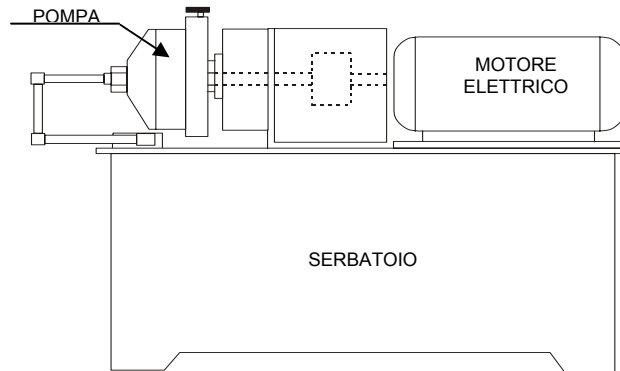


Figura 6.3: Sorgenti di rumore di una centralina idraulica

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

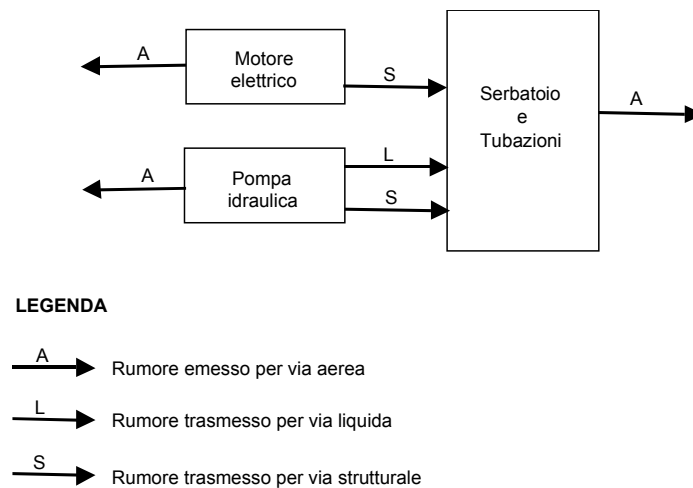


Figura 6.4: Vie di trasmissione del rumore

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: finestri 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, rigido e pesante, trattato internamente con un materiale antirombo;
- uno strato intermedio di materiale poroso o fibroso fonoassorbente;
- 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.

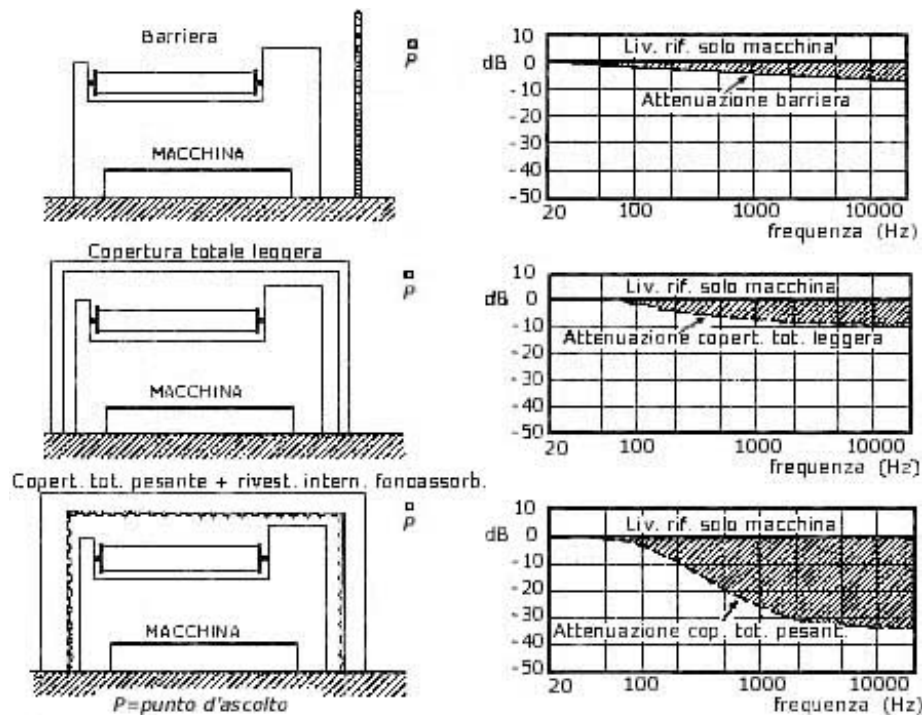


Figura 6.6: Esempi di riduzione della rumorosità trasmessa per via aerea da una macchina con l'impiego di una barriera, di una copertura integrale leggera e di una copertura pesante con rivestimento fonoassorbente interno. (*Adattato da Singal, 2000*)

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 un materiale fonoassorbente, a sua volta ricoperto da un sottile 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](#) del Secondo Livello).

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](#) del Secondo Livello).

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 soprattutto alla sommità della barriera stessa, che tuttavia è in grado di creare, in corrispondenza della postazione di lavoro del lavoratore esposto, una zona d'ombra acustica in molti casi sufficiente ad ottenere una riduzione significativa del rumore. Operativamente, è opportuno realizzare schermi che garantiscono un angolo di almeno 30° tra la direzione sorgente-schermo e schermo-operatore (vedi Figura 6.7).

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

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

proteggere reciprocamente gli addetti di due o più (come nel caso di una fila di postazioni di lavoro, ad es.: addossate ad un muro) attività rumorose contigue e non separabili. Ci sono infine casi in cui gli schermi vengono realizzati in maniera dedicata per specifiche postazioni di lavoro.

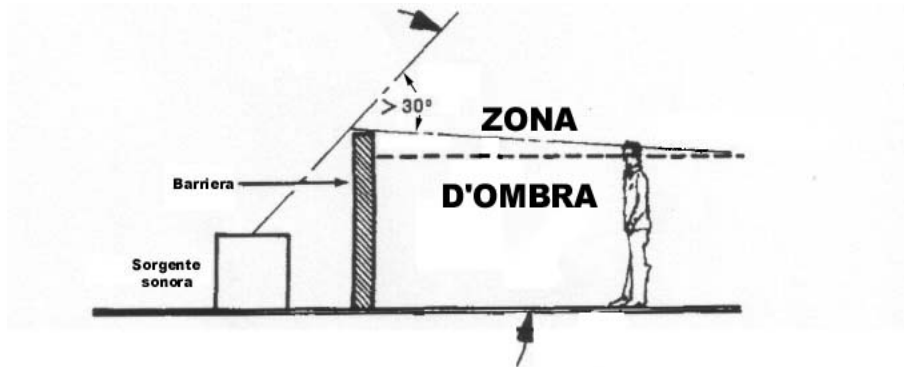


Figura 6.7: Come criterio generale, l'effetto d'attenuazione di una barriera sarà tanto maggiore, quanto maggiore di 30° sarà l'angolo relativo al punto d'ascolto situato nella zona d'ombra

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

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

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

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 assai 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.

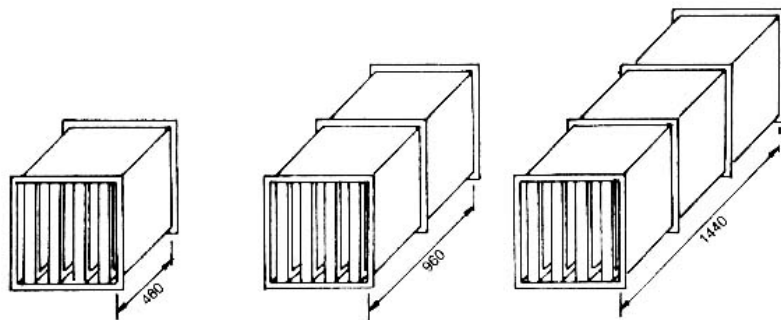


Figura 6.8: Moduli di silenziatore dissipativo a setti fonoassorbenti paralleli

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 notevolmente 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 30 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 tutta 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 50 ÷ 60 dB ed anche oltre.

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](#) del Secondo Livello).

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.

Ispesl
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome

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.

Nel ricorso a questo tipo d'interventi 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 della 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](#) del Secondo Livello).

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](#) del Secondo Livello, 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 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; l'interno della cabina va mantenuto in sovrappressione), impianti per l'illuminazione interna, 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_{EP}](#) 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](#) del Secondo Livello).

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](#) del Secondo Livello, 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* e dagli aspetti economici, 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 (la tentazione potrebbe essere forte all'atto dell'acquisto!), composte da pannelli modulari.

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 in alluminio). 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.

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 già 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, generalmente di emanazione 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, e quindi la sua ripetibilità, iniziano a diventare precarie.

Nella fase di stesura del collaudo, si può anche concordare 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, un altro indicatore che può essere utile 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. Tanto più che una 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. F.A. Everest (1996), *Manuale di acustica*, HOEPLI, Milano
8. F. Fahy, (2001), *Foundations of Engineering Acoustics*, ACADEMIC PRESS, London
9. F. Fahy, J. Walker (1998), *Fundamentals of Noise and Vibration*, E&FN SPON, London and New York
10. FIOSH (Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2003), *Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control*, Berlin
11. J. E. K. Foreman (1990), *Sound Analysis and Noise Control*, Van Nostrand Reinhold, New York
12. C.M. Harris (1983), *Manuale di controllo del rumore. Tecniche Nuove*, Milano
13. C. M. Harris (1991), *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*, McGraw Hills, New York
14. HSE (1995), *Sound solutions: Techniques to reduce noise at work*, Health and Safety Executive books, Sudbury U.K.
15. 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
16. P.A. Nelson, S.J. Elliott (1992), *Active Control of Sound*, ACADEMIC PRESS, London
17. S.P. Singal (2000), *Noise pollution and Control*, Narosa, New Delhi
18. R. Spagnolo (a cura di, 2001), *Manuale di acustica applicata*, UTET, Torino
19. 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. F. D’Amico e altri (2002), *Le malattie professionali in Italia: evoluzione storica, tendenze in atto e prospettive future*, Atti del Convegno “dBA 2002”, 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 2003*, Roma 2004
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. *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
5. Dossier Ambiente N. 54 (2001), *Il rumore nei luoghi di vita e di lavoro*, Trimestrale dell'Associazione Ambiente e Lavoro, Milano
6. ISPESL (2001), *Linee guida per la valutazione del rischio da rumore negli ambienti di lavoro*, Dipartimento Documentazione, Informazione e Formazione, Roma
7. 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
8. ASL Bergamo (2001), *Linee guida per l'applicazione dell'art.41 del D.Lgs.277/91*, Dipartimento di Prevenzione (SPSAL), Bergamo

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. A. Farina (1995), *Ramsete – a new Pyramid Tracer for medium and large scale acoustic problems*, Proc. EURONOISE '95, Lyon (France)

6. A. Farina (1999), *Propagazione del suono e previsione del rumore negli ambienti di lavoro*, Atti del Seminario dBIncontri 1999, Modena
7. ASL Modena (2001), Atti del Convegno NIP2001 – *Nuovi insediamenti produttivi: requisiti e standard prestazionali degli edifici destinati a luoghi di lavoro*, Modena
8. G. Elia, G. Geppetti (1994), *Progettazione acustica di edifici civili e industriali*, La Nuova Italia Scientifica, Roma
9. R. Gamba, G. Abisou (1992), *La protection des travailleurs contre le bruit – Les points clés. Colletion outils et Méthodes*, ANACT, Paris
10. R. Gigante (1996), *Rumore ed isolamento acustico*, Dario Flacconio Editore, Palermo
11. INRS, *Notes documentaires 30 (Noise control in specific industrial branches)*, rue Olivier Noyer, 75680 Paris Cedex 14, France
12. M. Toni (1996), *L'isolamento acustico in edilizia*, EdilStampa, Roma
13. 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
14. 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. ANPA (1997), *Verifica dei livelli sonori all'interno dei locali di intrattenimento danzante o di pubblico spettacolo*, RTI 1/97 – AMB – ACUS, Roma
4. ANPA (2001), *Linee guida applicative al D.P.C.M. n. 215 del 16 aprile 1999*, Manuali e linee guida 5/2001, Roma
5. 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
6. ASL Modena (2001), Atti del Convegno NIP2001 – *Nuovi insediamenti produttivi: requisiti e standard prestazionali degli edifici destinati a luoghi di lavoro*, Modena
7. U. Ayr, E. Cirillo (1998), *Requisiti e prestazioni acustiche degli uffici*, Atti Convegno nazionale *Edilizia e Ambiente*, 477-495, Trento
8. R. Bottio, S. Novo (2003), *La progettazione acustica degli edifici*, Qualità & Competitività, Milano
9. A. Fry and staff of Sound Research Laboratories (1988), *Noise control in building services*, Pergamon Press, Oxford U.K.
10. 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

11. 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. Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province autonome (1999), *Modalità operative per l'applicazione del D.Lgs.626/94 in relazione all'emanazione del D.P.R.459/96, Linee guida sui Decreti 494/96 (cantieri), 459 (macchine) e controllo 6262*, maggio 1999, Ravenna
5. ISPESL (2002), *Linee guida per l'uso in sicurezza delle motoseghe portatili per potatura*, Dipartimento Tecnologie di Sicurezza, Roma
6. 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
7. 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
8. L. Nielsen, *European machinery Directive 89/392 - Clauses on noise in safety standards*, Proceedings InterNoise '96, Liverpool U.K.
9. G.A. Sehmdt, P. Becker, *The standardization gap and the machinery noise declaration*, Proceedings InterNoise '97, Budapest
10. 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. 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
7. E.A. Lindquist (1983), *Noise attenuation in factories*, Appl. Acoustics 16, 183-214

8. Modulo Uno (1978), *Incapsulaggio di sorgenti a bassa frequenza*, Inquinamento, aprile 1978
9. Modulo Uno (1978), *Riduzione di rumore delle presse*, Inquinamento, maggio 1978
10. Modulo Uno (1978), *Il silenziamento degli scarichi d'aria*, Inquinamento, giugno 1979
11. 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
12. 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

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 atmosferica rispetto al suo valore in assenza di onde sonore. Si misura in cicli al secondo, Hertz (Hz). Il campo dei suoni udibili convenzionalmente è compreso tra 20 e 20000 Hz. Pur non esistendo una classificazione standardizzata, solitamente le *alte frequenze* sono comprese tra 1000 e 20000 Hz, le *frequenze medie* tra 200 e 1000 Hz e le *basse frequenze* tra 20 e 200 Hz.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Livello continuo equivalente ponderato A (Livello equivalente sonoro, L_{Aeq}): livello di pressione sonora di un suono continuo e costante avente, in un determinato intervallo di tempo T , la medesima pressione quadratica media 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 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_{EP}): 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_{peak}): 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".

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 dell'art. 46 del D.Lgs. 277/91.

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 ricevitore 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 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 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.

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:

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

dove V è il volume dell'ambiente; la sommatoria \sum_i è estesa a tutte le superfici fisse di contorno, pavimento e soffitto inclusi, mentre la sommatoria \sum_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:

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

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

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.

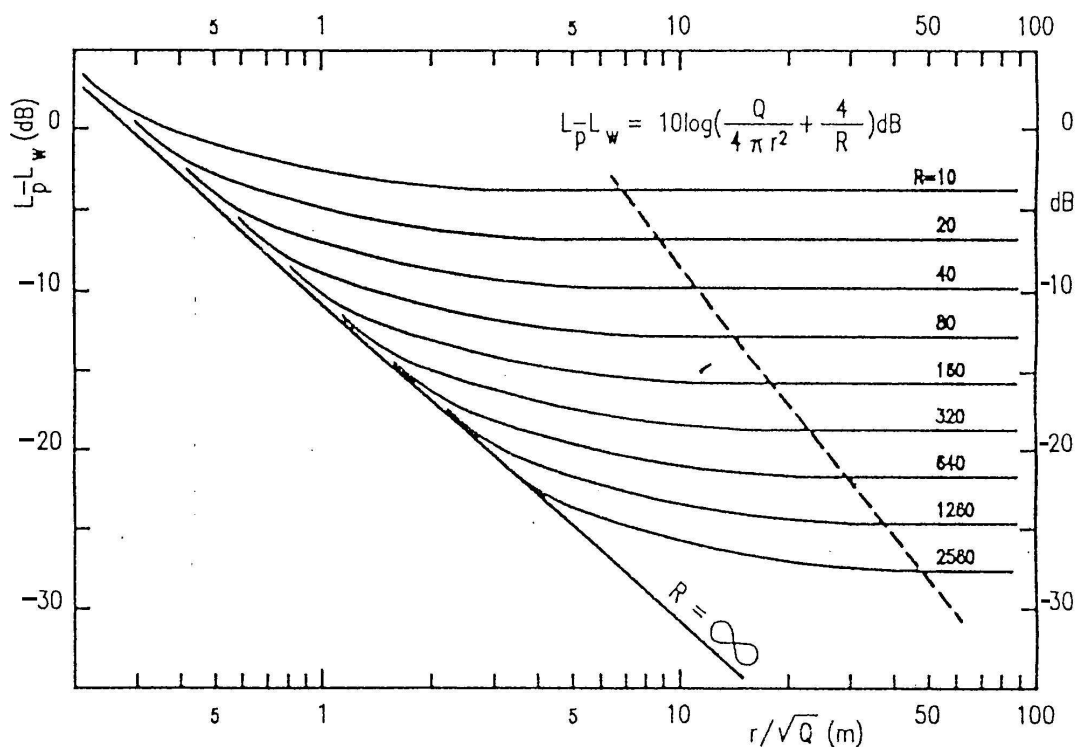


Figura 1.1 - Andamento della differenza tra livello di potenza della sorgente e livello sonoro a distanza r per valori crescenti della costante ambientale

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_f 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).

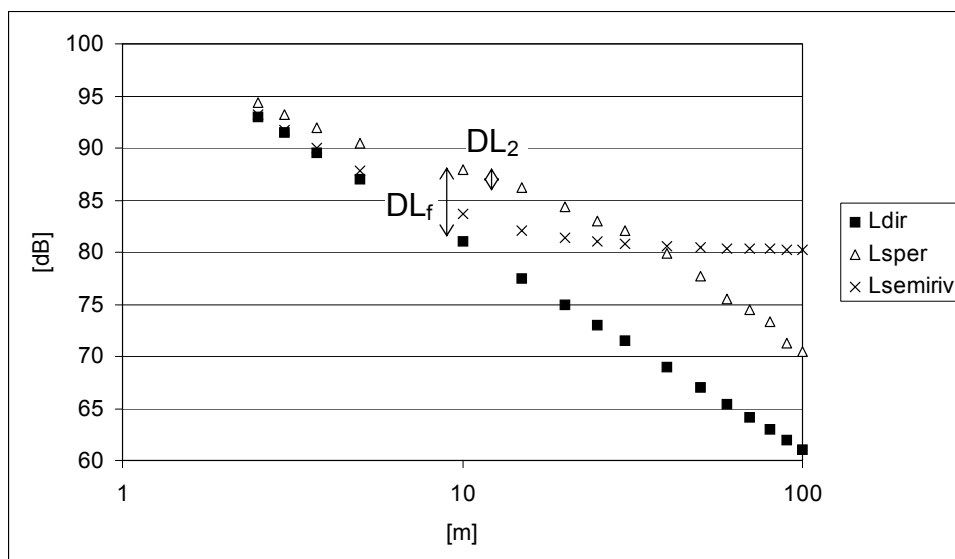


Figura 1.2: Decremento del livello sonoro con la distanza in un ambiente industriale

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

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

| | Campo vicino | Distanze medie | Campo lontano |
|--------|--------------|----------------|---------------|
| DL_f | ~ 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.

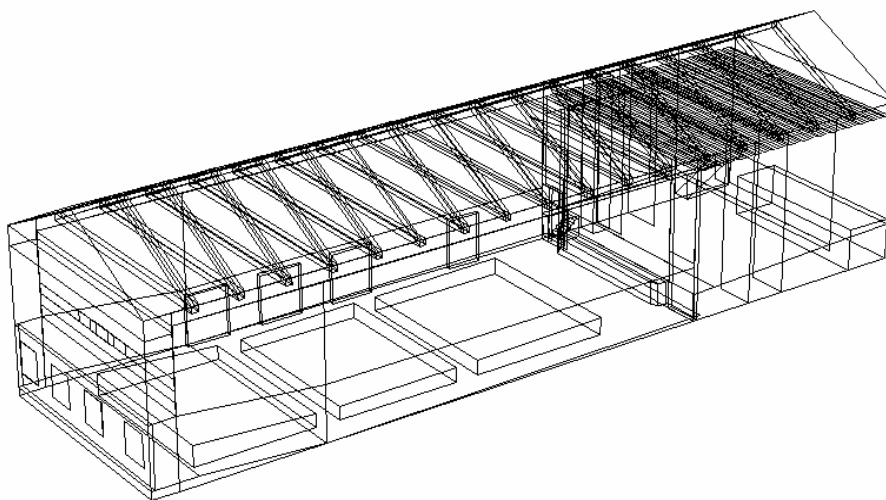


Figura 2.1 - Modello di una sala sviluppato su CAD acustico.

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.

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

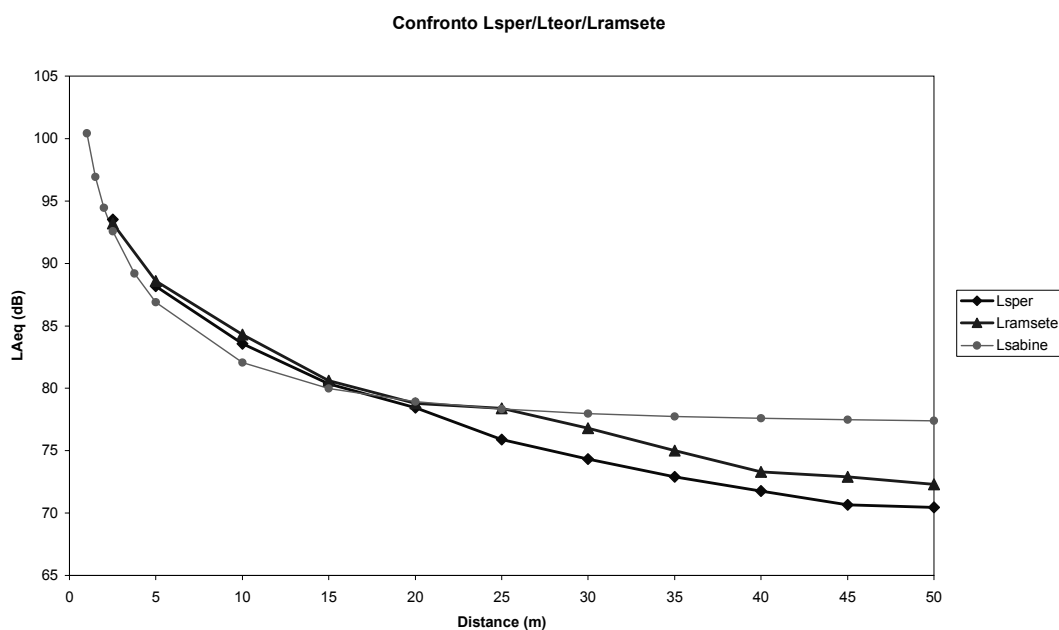


Figura 2.2 - Confronto tra i dati di simulazione e quelli sperimentali

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.

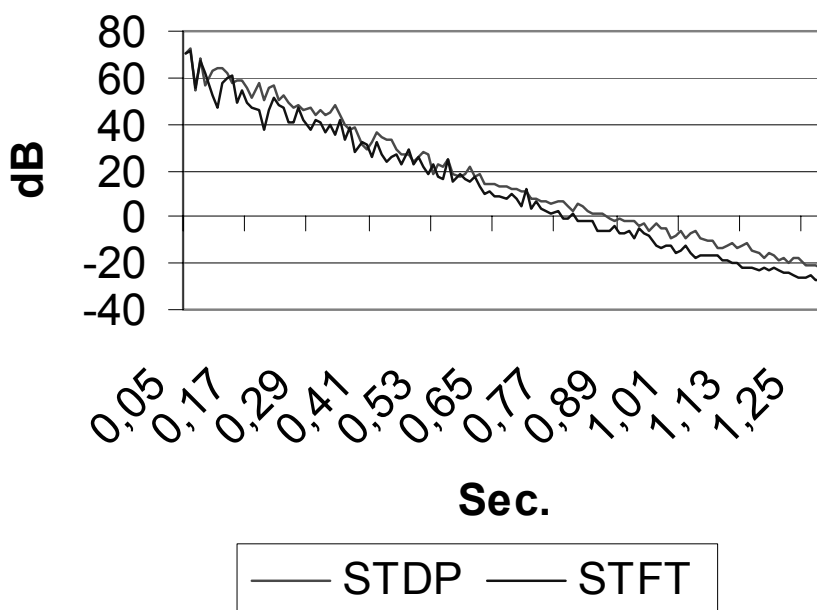


Figura 2.3 - Risposta all'impulso energetica simulata nello stato di fatto (STFT) e nello stato di progetto (STPG).

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 metodi 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. E' 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).

E' possibile calcolare numerosi parametri: Livello di Pressione Sonora lineare (SPL) e ponderato A (SPL(A)), *Rate of Spatial Decay* (DL₂), Tempo di Riverberazione (T₃₀), *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.

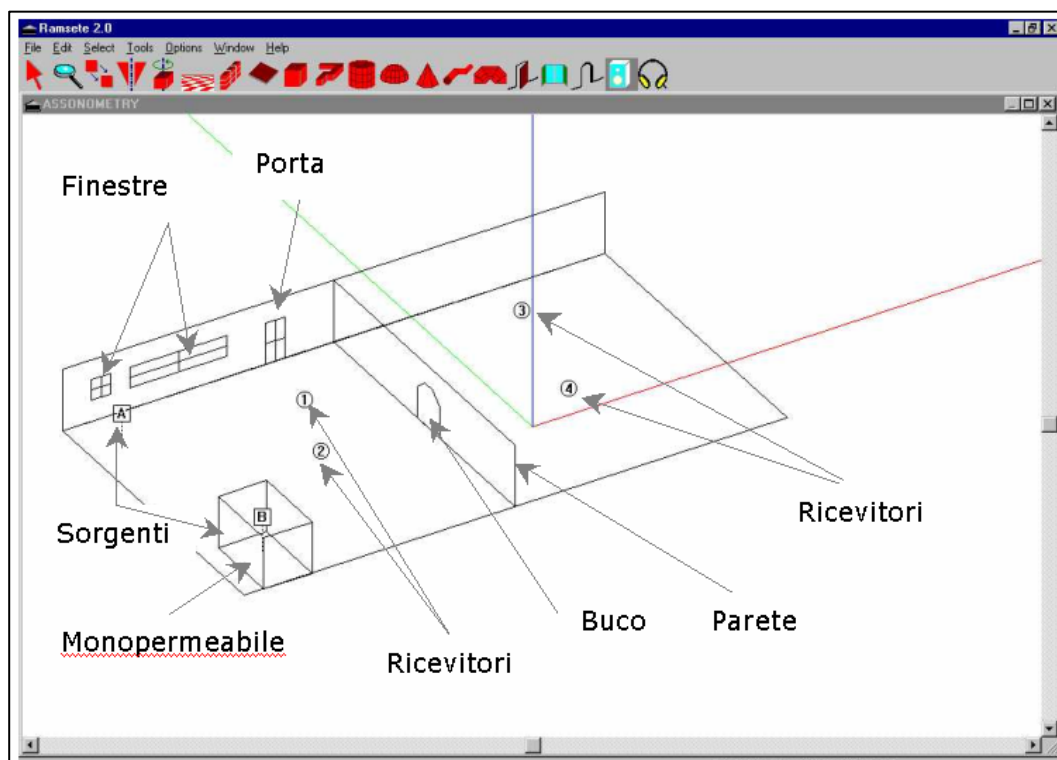


Figura 2.4 : Modellizzazione semplificata di uno stabilimento industriale

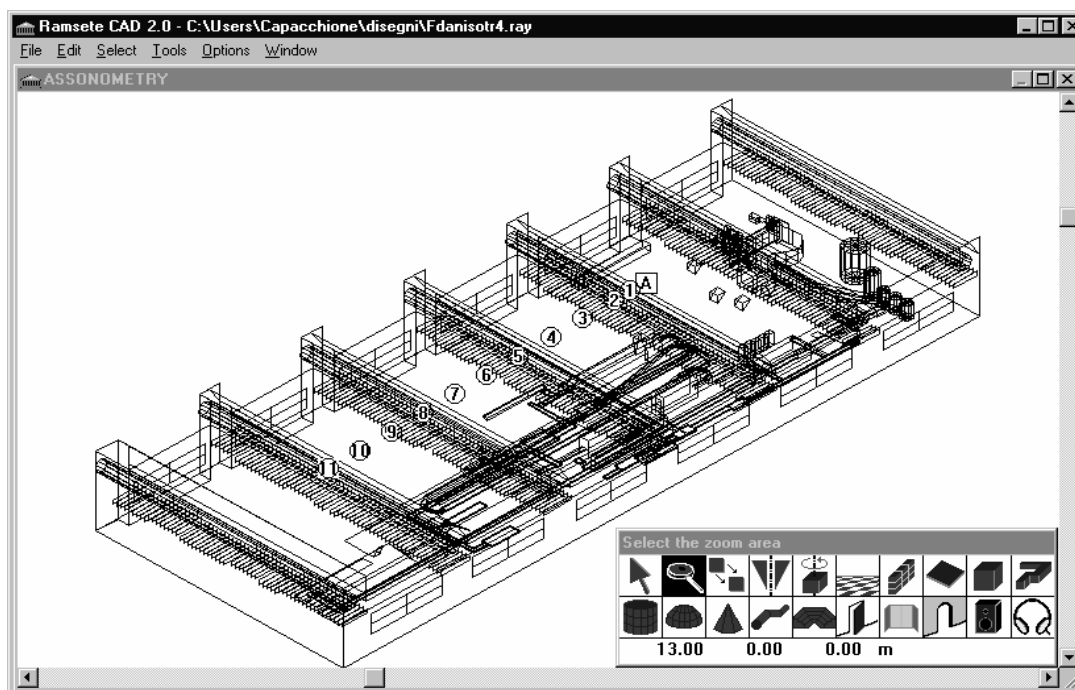


Figura 2.5 : Modello CAD acustico di uno stabilimento industriale con sorgenti e ricevitori

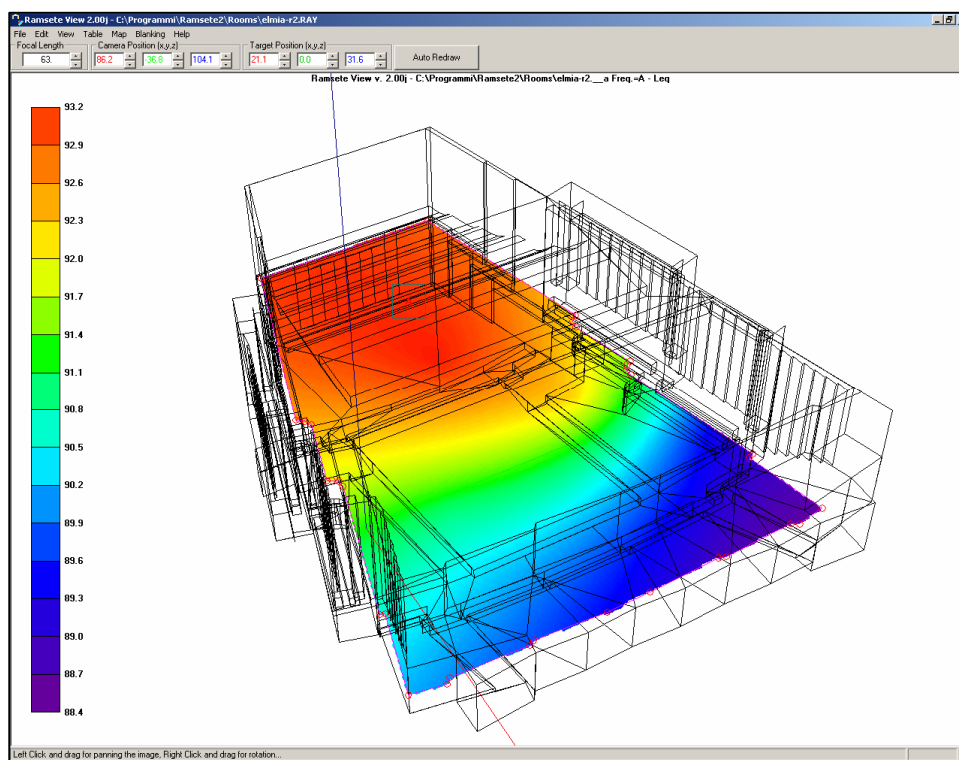


Figura 2.6 : Visualizzazione di una mappatura acustica

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 dalle 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 trasmissione 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*.

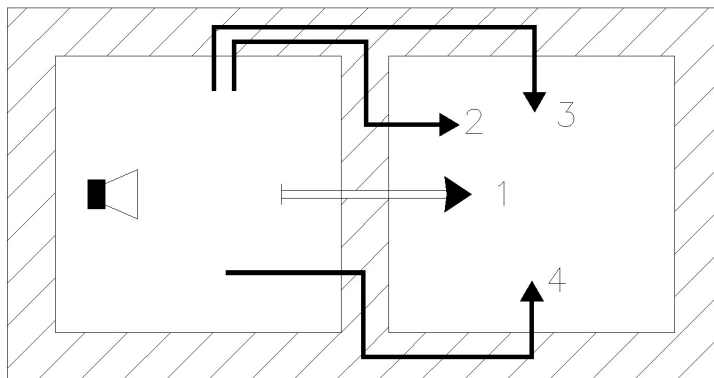


Figura 3.1: Vie di trasmissione diretta e laterale del rumore

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:

dove:

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

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.

E' 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 da ottava o terzi di ottava:

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

Manuale di Buona Pratica

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 do 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 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:

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

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).

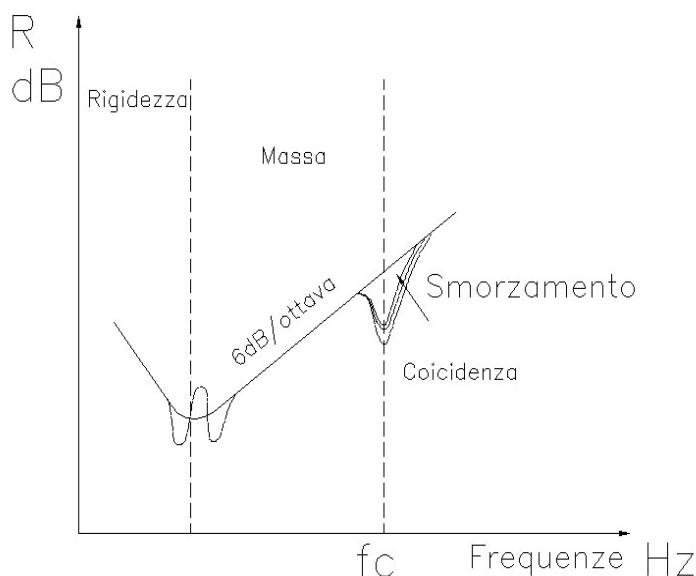


Figura 3.2: Diagramma della legge di massa di una parete singola

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/m^3)
- E modulo di elasticità del materiale costituente la parete (N/m^2)

Per determinare la frequenza critica per altri spessori basta dividere quella relativa ad 1 cm per il 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 x 10 ⁹ N/m ² |
|--------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 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.

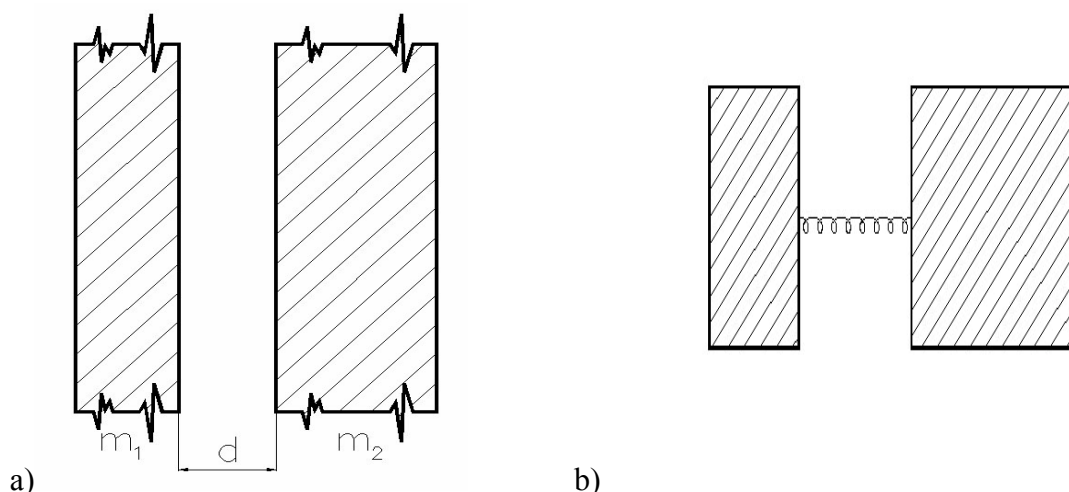


Figura 3.3: Parete doppia a) e sua modellizzazione b)

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/m^2)

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 divisorii 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.

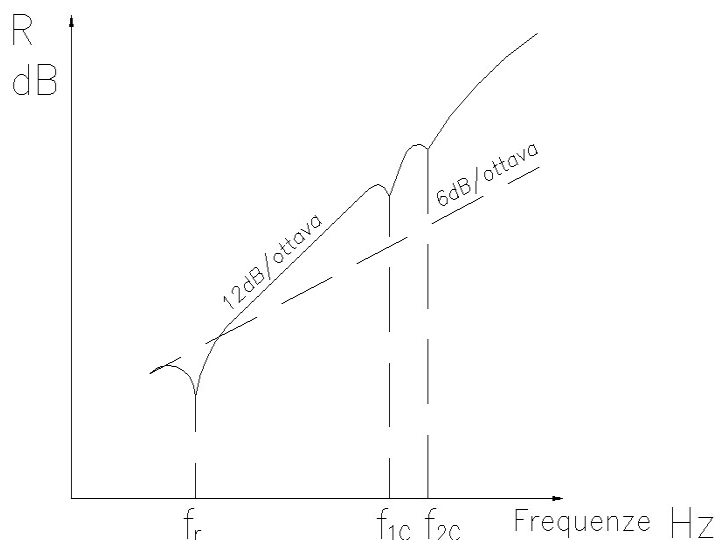


Figura 3.4: Diagramma della legge di massa per una parete doppia

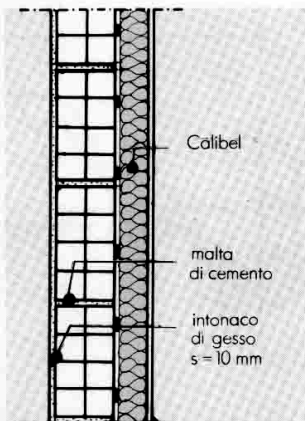
Se invece i due pannelli hanno frequenza critica diversa (agendo sulle masse e le rigidezze dei materiali) la curva di isolamento in funzione della frequenza presenta due difetti, ma ciascuno di questi è minore di quello che si avrebbe nella parete semplice, in quanto quando un pannello non isola, l'altro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

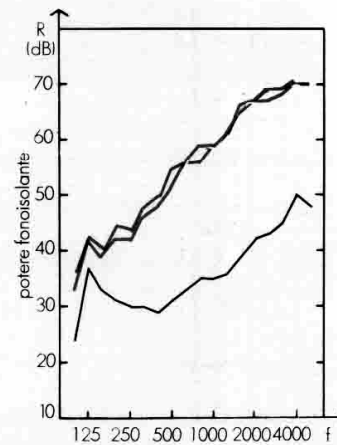
Applicazioni dei principi sopra esposti sono le cosiddette *contropareti*, normalmente costituite da una lastra sottile e leggera, generalmente in cartongesso, accoppiata ad una normale parete in muratura (costituita da mattoni forati intonacati, o da blocchetti di cemento vibrato, o da calcestruzzo, 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.

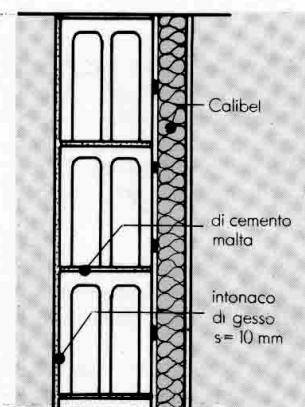
d Struttura in mattoni-forati di spessore 100 mm doppiata con Calibel



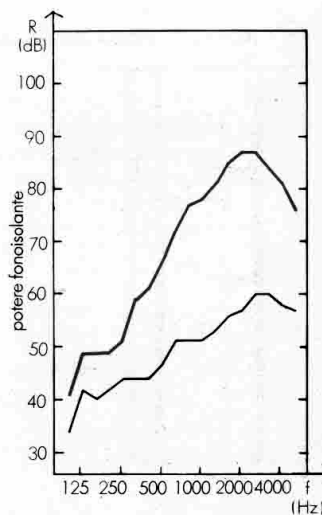
| frequenza (Hz) | potere fonoisolante del muro nudo (dB) | potere fonoisolante del muro doppiato con Calibel 10 + 50 10 + 70 (dB) | |
|--|--|--|---------|
| | | 10 + 50 | 10 + 70 |
| 125 | 37 | 42 | 43 |
| 250 | 30 | 42 | 44 |
| 500 | 31 | 51 | 55 |
| 1000 | 35 | 59 | 59 |
| 2000 | 42 | 67 | 67 |
| 4000 | 50 | 70 | 70 |
| indice di valutazione del potere fonoisolante (dB) | | 55 | 57 |



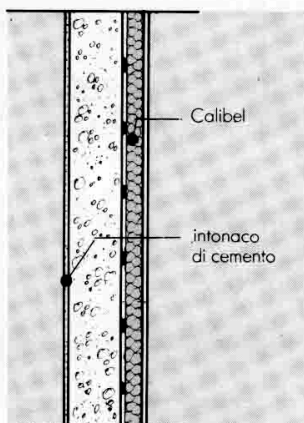
f Struttura in blocchi di cemento vibrato di spessore 150 mm doppiata con Calibel



| frequenza (Hz) | potere fonoisolante del muro nudo (dB) | potere fonoisolante del muro doppiato con Calibel 10 + 50 (dB) |
|--|--|--|
| | | |
| 250 | 44 | 50 |
| 500 | 47 | 65 |
| 1000 | 51 | 77 |
| 2000 | 57 | 86 |
| 4000 | 58 | 80 |
| indice di valutazione del potere fonoisolante (dB) | | 65 |



g Struttura in calcestruzzo di spessore 90 mm doppiata con Calibel



| frequenza (Hz) | potere fonoisolante del muro nudo (dB) | potere fonoisolante del muro doppiato con Calibel 10 + 30 10 + 50 (dB) | |
|--|--|--|---------|
| | | 10 + 30 | 10 + 50 |
| 125 | 37 | 36 | 39 |
| 250 | 37 | 51 | 52 |
| 500 | 42 | 61 | 61 |
| 1000 | 46 | 65 | 65 |
| 2000 | 57 | 73 | 77 |
| 4000 | 63 | 77 | 79 |
| indice di valutazione del potere fonoisolante (dB) | | 60 | 63 |

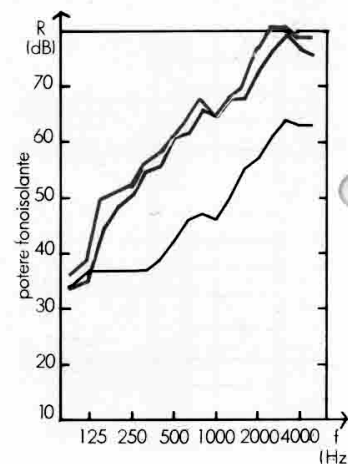


Figura 3.5: Incrementi del potere fonoisolante per apposizione di controparti sul muro nudo

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.

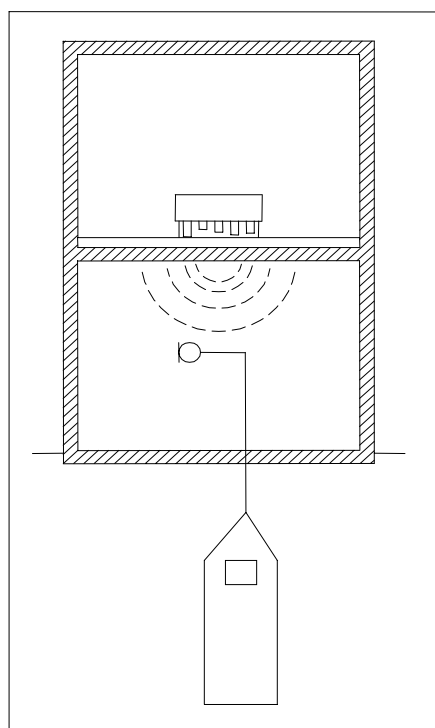


Figura 4.1 - Schema di misura del livello di rumore di calpestio

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;
- 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 traslando 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.

E' 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. E' 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.

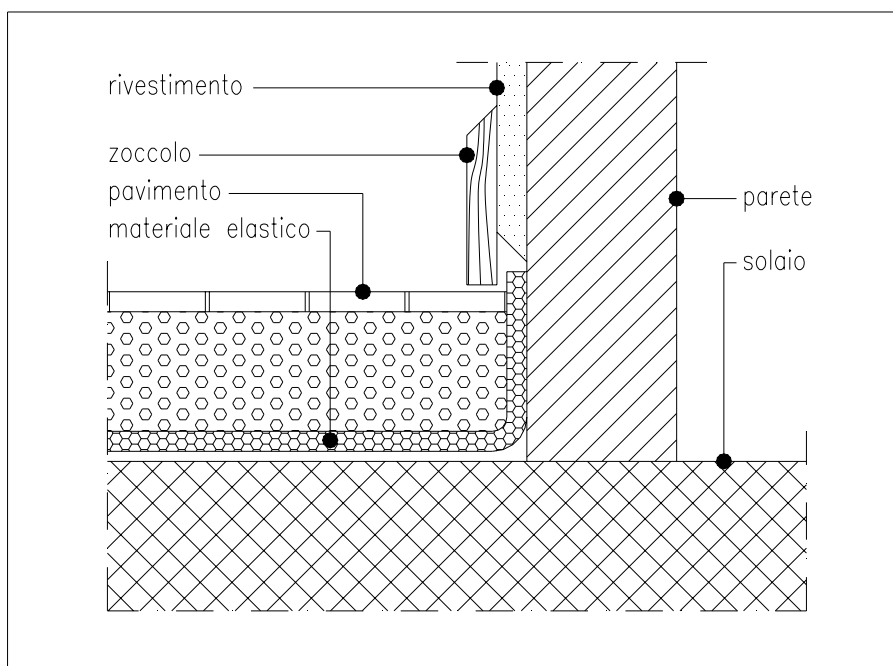


Figura 4.2 - Schema di realizzazione di un pavimento galleggiante

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.

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.

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.

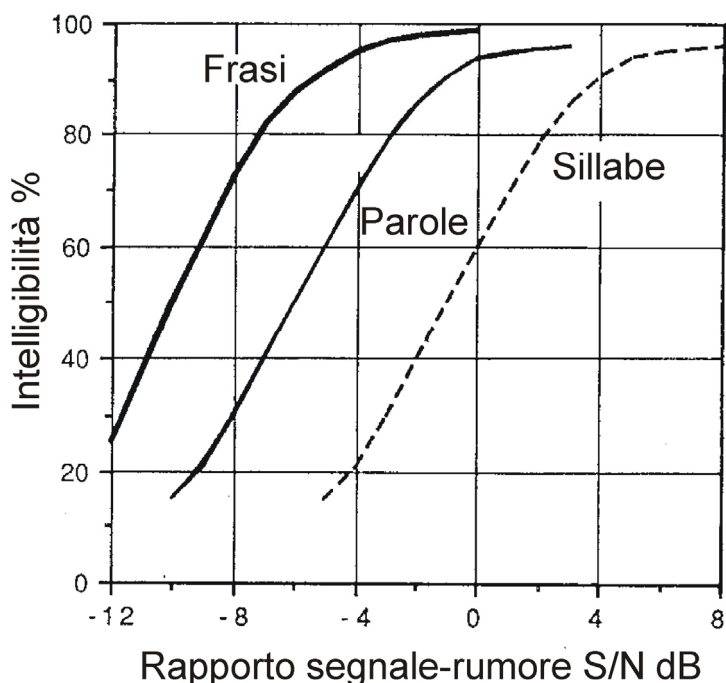


Figura 5.1 - Intelligibilità del messaggio verbale in funzione del rapporto segnale/rumore

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.

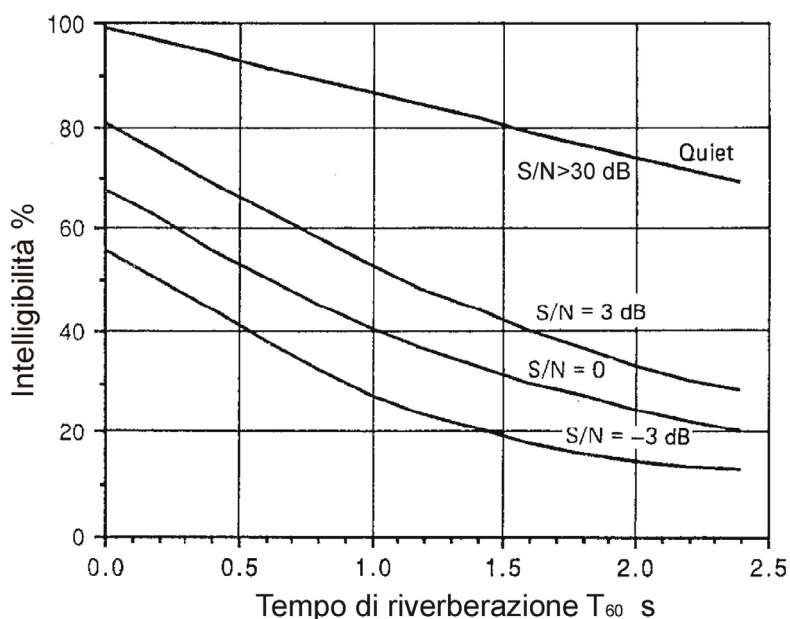


Figura 5.2 - Intelligibilità del messaggio verbale in funzione del tempo di riverberazione e del rapporto segnale/rumore

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 procedura 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:

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

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

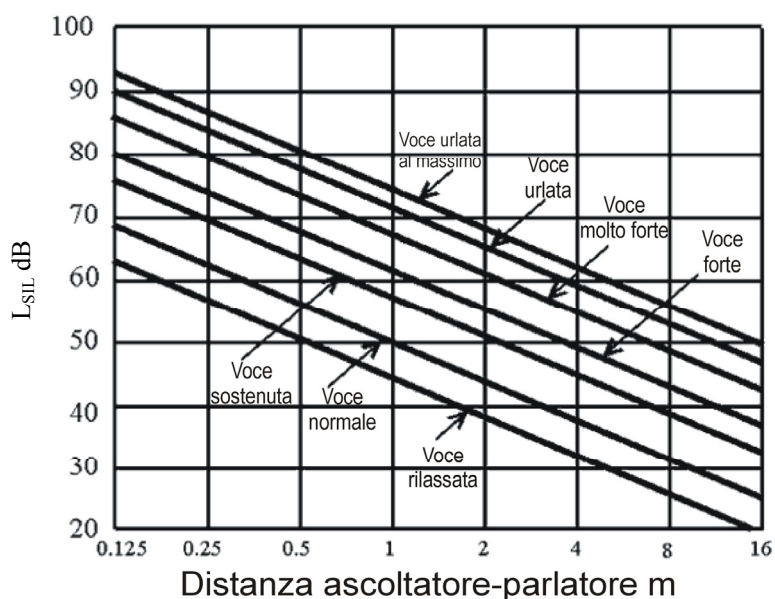


Figura 5.3 - Distanza ascoltatore-parlatore per una buona comprensibilità della comunicazione verbale in funzione di L_{SIL} e per diverse intensità di voce

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 dell'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 | |

COMPRESIONE 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.

E' 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

Anche se le normative cardine (D.Lgs. 277/91, D.P.R. 459/96) sono in vigore da alcuni anni, parecchi produttori di macchinari omettono di fornire precise indicazioni sui livelli di rischio delle proprie attrezzature, limitando così l'informazione agli acquirenti e rendendo più difficoltosa la tutela della salute degli operatori.

Si rammenta che il legislatore nazionale ha stabilito i seguenti obblighi a carico di produttori ed utilizzatori :

- il produttore 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. Rilevazione di 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 85 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.
- Qualora la rumorosità del macchinario, utilizzato in modo appropriato e continuativo, provochi al lavoratore che lo utilizza un livello di esposizione personale al rumore pari o superiore a 85 dB(A) la legislazione prevede un obbligo informativo da parte del produttore sanzionabile penalmente.
- Il datore di lavoro ha l'obbligo di scegliere, al momento dell'acquisto, l'apparecchio che nelle normali condizioni di funzionamento produce il più basso livello di rumore.

Esistono poi macchinari soggetti a specifica certificazione acustica (D.Lgs. 262/02) per i quali si rinvia al [paragrafo 5.1.2](#) del 1° Livello del Manuale.

Prima di acquistare un nuovo macchinario o impianto è necessario che venga seguita una procedura ben precisa, idonea al conseguimento degli obiettivi di riduzione dell'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro. La procedura comprende necessariamente 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.

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.

- 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 richiedere ai potenziali fornitori in fase di acquisto del macchinario comprendono 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.

Qualora il produttore proponesse livelli di rumore della macchina funzionante a vuoto occorre richiederli i dati del rumore nella condizione di lavoro in cui verrà utilizzata la macchina e, se il produttore non fornisse i dati richiesti, è opportuno rivolgersi ad altri.

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

| | | | | | | | | | | |
|----------|--|--|--|-----|------------|-------------------|--|-------------------|-------|--|
| 1 | Macchina | | | | | | | | | |
| 1.1 | Tipo: | 1.6 | Parametri riferiti al rumore della macchina: | | | | | | | |
| 1.2 | Modello: | | Potenza elettrica nominale: | | | | | | | |
| 1.3 | Costruttore: | | Potenza meccanica nominale: | | | | | | | |
| 1.4 | Macchina n°: | | Velocità nominale: (esempi) | | | | | | | |
| 1.5 | Anno di costruzione: | | Velocità massima: | | | | | | | |
| 2 | Valori rilevati di emissione di rumore | | | | | | | | | |
| | Misura di emissione di rumore secondo ISO.... e ISO..... | Condizioni di funzionamento secondo ISO... | | | | | Altre condizioni di funzionamento concordate | | | |
| | | Senza carico | Con carico | | | Utilizzo previsto | | | | |
| 2.1 | Livello di potenza sonora L_{WA} (dB, rif. 1 pW) | dB | | dB | | | dB | | | |
| 2.2 | Incertezza delle misurazioni | dB | | dB | | | dB | | | |
| 2.3 | Livello di pressione sonora ponderato A nel posto di lavoro L_{PA} | dB | | dB | | | dB | | | |
| 2.3.1 | In alternativa, livello di pressione sonora della superficie a 1 m, $L_{PA, 1 m}$, oppure | dB | | dB | | | dB | | | |
| 2.3.2 | Livello di pressione sonora di picco a 1 m dalla superficie della macchina e a 1,60 m sopra il pavimento, $L_{pC, 1 m, max}$ | dB | | dB | | | dB | | | |
| 2.4 | Livello di pressione sonora di picco ponderato C nel posto di lavoro, $L_{pC, picco}$ | dB | | dB | | | dB | | | |
| 2.5 | In opzione, livello sonoro L_W oppure L_P in bande di ottave per le condizioni di funzionamento secondo ISO.... | | | | | | | | | |
| | f in Hz | 63 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 | 4 000 | 8 000 | |
| | L_W L_P nel posto di lavoro in dB | | | | | | | | | |
| 2.6 | Informazioni sulle condizioni di funzionamento. | | | | | | | | | |
| 2.6.1 | | | | | | | | | | |
| 2.6.2 | | | | | | | | | | |
| 2.6.3 | | | | | | | | | | |
| 3 | Riduzione del rumore | | | | | | | | | |
| 3.1 | Il progetto della macchina comprende provvedimenti di riduzione del rumore? | | | | | | | SI | NO | |
| | In caso affermativo quali provvedimenti di riduzione del rumore sono stati adottati? _____ | | | | | | | | | |
| 3.2 | Esiste una versione a basso rumore dello stesso modello di macchina? | | | | | | | SI | NO | |
| | In caso affermativo in che misura si riduce il livello sonoro? _____ dB | | | | | | | | | |
| | | Senza carico | | | Con carico | | | Utilizzo previsto | | |
| | Riduzioni di L_{WA} | dB | | | dB | | | dB | | |
| | Riduzioni di L_{PA} | dB | | | dB | | | dB | | |

| 4 | Valori dichiarati In alternativa: valore dichiarato con numero unico con doppio numero | | | Utilizzo previsto |
|-------|--|--------------|------------|-------------------|
| | | Senza carico | Con carico | |
| 4.1 | Valore di emissione di rumore dichiarato con singolo numero | | | |
| 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

CRITERI DI SCELTA DEL CONSULENTE ACUSTICO

In Italia esiste purtroppo un'oggettiva difficoltà nel parametrare conoscenze e capacità operative del consulente acustico, stante anche una variegata offerta sul mercato di capacità professionali e competenze difformi (non è detto che un eccellente esperto in monitoraggio del rumore ambientale sia parimenti valido come progettista di insonorizzazioni, pur rientrando entrambe le attività nella generica pertinenza dell'*acustico*).

Il legislatore italiano non ha affrontato il problema; 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.

In realtà, molto spesso la verifica non va oltre il primo elemento, ma se nel passato ordini e collegi professionali hanno rappresentato un livello di garanzia (perlomeno un livello minimo garantito), il proliferare di professioni storicamente non regolamentate e gli indirizzi dell'Unione Europea (che si basa sulla figura dell'associazione professionale più che non dell'ordine/collegio) comporta un accertamento della professionalità 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 a livello universitario non si può non evidenziare che solo in pochissimi atenei l'acustica è inserita a pieno titolo nei piani di studio per il conseguimento delle lauree in Ingegneria, Architettura o Fisica. Tali contributi, sicuramente meritori, non riescono comunque a soddisfare alle diverse richieste dell'acustica applicata (insonorizzazione delle macchine, valutazione degli effetti del rumore sull'uomo, riduzione del rumore prodotto dal traffico veicolare, progettazione degli spazi destinati all'ascolto della parola e della musica, ecc.).

Tra le iniziative più qualificate si segnalano le seguenti:

- la Scuola di Acustica, istituita presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara e che dal 1995 organizza un Corso per Tecnici di Acustica strutturato in 30 giornate di lezioni (corrispondenti a 180 ore) effettuate da settembre a marzo ed articolate in 5 moduli (2 di base, 3 applicativi), ciascuno con esame finale e corrispondenti a 18 crediti formativi;
- il Master di primo livello in Acustica e Controllo del Rumore attivato presso la Facoltà di Architettura della Seconda Università degli Studi di Napoli, avente l'obiettivo di fornire conoscenze di base e nozioni tecniche necessarie ad affrontare i compiti di analisi, valutazione,

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.

progettazione e controllo nei settori dell'inquinamento acustico industriale ed ambientale, nonché dell'acustica architettonica; il master ha la durata di un anno e una valenza corrispondente a 60 crediti formativi.

Per quanto concerne il riconoscimento delle capacità scientifiche o professionali questo può avvenire all'interno di Associazioni. Nel seguito si segnalano nel seguito alcune Associazioni con procedure di valutazione, non tutte specificamente relative al solo settore acustico:

- Assoacustici (Associazione degli specialisti di acustica – rumore, suono, vibrazioni) riconosce come “specialisti” i soci con una conoscenza avanzata nei suddetti settori e che svolgono in tali campi attività professionale, con almeno due anni di esperienza continuativa e documentabile in campo dell'acustica, del suono e delle vibrazioni e come “acustico” i soci che hanno superato la procedura di certificazione per titoli o per esami.
- Euroacustici (associazione tra gli Acustici specialisti, i tecnici e le persone interessate alle conoscenze ed alle problematiche connesse con il suono, il rumore e le vibrazioni) ha istituito 9 divisioni di specialisti riservate ai soci e comprendenti, tra gli altri, i tecnici competenti in acustica, gli specialisti in acustica e in vibrazioni.
- AIDII (Associazione Italiana degli Igienisti Industriali): certificazione dell'Igienista Industriale per titoli (prima fase) e per esami (II fase) delle capacità di assumere le responsabilità di individuazione, valutazione e controllo, ai fini della prevenzione e della eventuale bonifica, dei fattori ambientali di natura chimica, fisica e biologica derivanti dall'attività industriale, presenti all'interno e all'esterno degli ambienti di lavoro che possono alterare lo stato di salute e di benessere dei lavoratori e della popolazione", così come ha stabilito l'organizzazione mondiale della sanità e tenendo sempre in primo piano la necessità di rispettare pienamente i canoni dell'etica professionale.
- AIAS (Associazione Italiana tra Addetti alla Sicurezza) nel 1995 indisse un bando di certificazione per titoli riservato ai soci con competenze nel ruolo di Coordinatore e Specialista delle attività di Prevenzione in ambiente di lavoro; successivamente tale certificazione interna si è tramutata nella certificazione in schema SINCERT (con un organismo di certificazione denominato IC PREV) del responsabile e dell'Addetto al Servizio di Prevenzione e Protezione.

Altre Associazioni scientifiche o tecniche a carattere acustico (AIA, Associazione Italiana di Acustica) non hanno attivato procedure di certificazione o riconoscimento delle capacità professionali o delle competenze dei propri associati.

Un passo in avanti rispetto alla certificazione interna alle Associazioni è quello di incaricare personale le cui competenze siano certificate da un organismo indipendente, secondo le regole del “sistema qualità”.

La continua evoluzione della normativa tecnica e la crescente richiesta di nuove tipologie professionali d'elevata qualificazione (insieme alla logica per la quale una struttura certificata ha il diritto di richiedere ai propri fornitori analoga certificazione) hanno visto un aumento delle certificazioni del personale.

In estrema sintesi la certificazione del personale è eseguita da un organismo di certificazione indipendente, pubblico o privato, che è a sua volta accreditato dal SINCERT (l'Organismo d'accreditamento degli enti di certificazione che, insieme al SINAL e al SNT costituisce il sistema di certificazione nazionale) per tale attività e per la specifica figura professionale; l'organismo di certificazione controlla le caratteristiche (grado d'istruzione, esperienza, addestramento specifico) del personale che richiede la certificazione e rilascia i relativi certificati che ne attestano la competenza (generalmente previo superamento d'esame).

In seguito l'organismo iscrive tale personale in un apposito registro e verifica il mantenimento nel tempo dei requisiti necessari alla certificazione.

Una nota doverosa concerne l'appartenenza della certificazione del personale al campo della volontarietà; in nessun modo la certificazione del professionista vuole o 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 Italia, la certificazione professionale del personale esperto in acustica, suono e vibrazioni è attualmente rilasciata da un unico organismo : CICIPND (*Centro Italiano di Coordinamento per le Prove Non Distruttive, Organismo Nazionale di Certificazione del Personale accreditato dal SINCERT*) in conformità alla norma UNI CEI EN 45013 e al Regolamento n° 79 su tre settori d'attività e per tre differenti livelli di competenza.

I settori d'applicazione sono i seguenti:

- A - Acustica (3 sottosectori : A1 metrologia; A2 valutazione acustica; A3 bonifica acustica).
- V - Vibrazioni (3 sottosectori : V1 metrologia ; V2 valutazione di vibrazioni ; V3 bonifica da vibrazioni).
- E - Elettroacustica: alta fedeltà, strumentazione, sonorizzazione (3 sottosectori : E1 metrologia ; E2 valutazioni d'elettroacustica ; E3 progettazione).

Per ciascuno dei tre settori, a seguito della verifica del possesso di requisiti di base, di un'esperienza professionale, della frequenza di un corso specifico riconosciuto dall'organismo e del superamento di un esame scritto, pratico ed orale, si può accedere alla certificazione per uno dei tre livelli (in ordine crescente di valenza).

Personale di Livello 1 (esegue attività metrologiche nel settore specifico d'applicazione in piena e completa autonomia operativa, ma sotto il coordinamento di un livello 2).

Personale di Livello 2 (Personale che, oltre alle competenze del livello 1, ha le competenze necessarie ad interpretare le norme e le specifiche e tradurle in istruzioni pratiche, stabilire e convalidare le tecniche e le procedure di prova, effettuare e sorvegliare le prove organizzando i risultati, redigendo il relativo rapporto ed eseguendo progettazioni, Al livello 2 è altresì demandato il compito di addestrare e guidare il personale di livello 1).

Personale di Livello 3 (Personale che, oltre alle competenze del livello è in grado di assumere la responsabilità di un laboratorio e del relativo personale, di condurre e gestire attività di ricerca e di procedere alla formazione e qualificazione del personale assicurandone l'aggiornamento tecnico e normativo).

In conclusione, le caratteristiche che si intende suggerire in questo Manuale per scegliere il consulente acustico sono le seguenti.

- Esperienza specifica dimostrata in attività analoga per tipologia ed entità di lavoro.
- Partecipazione a corsi specifici di formazione professionale.
- Conformità della strumentazione utilizzata ai requisiti normativi.
- Iscrizione ad associazioni di categoria.

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).

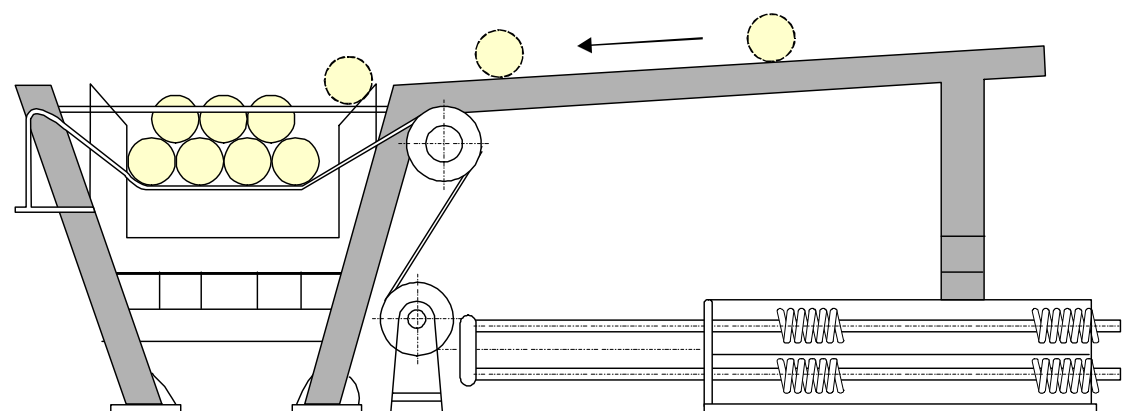


Figura 8.1: Dispositivo per la riduzione dell'altezza di caduta di tubazioni metalliche

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'operazione, 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.

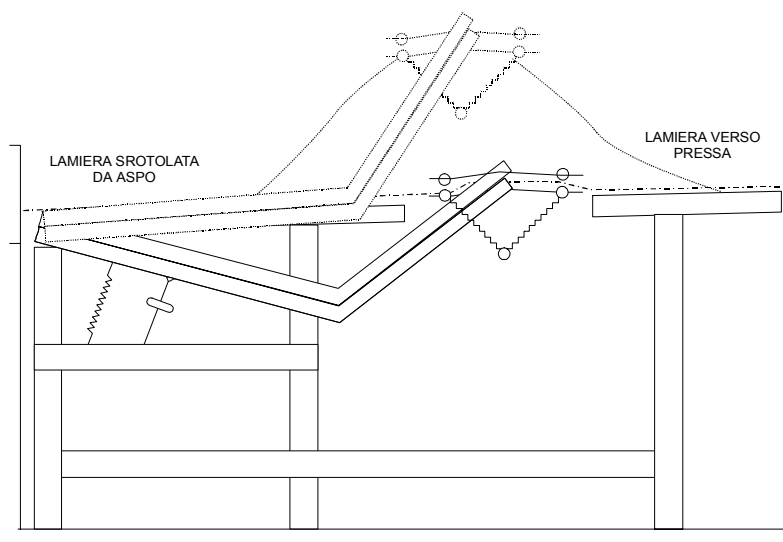


Figura 8.2: Dispositivo di attenuazione del rumore prodotto dalla linea di alimentazione di una tranciatrice

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](#)).

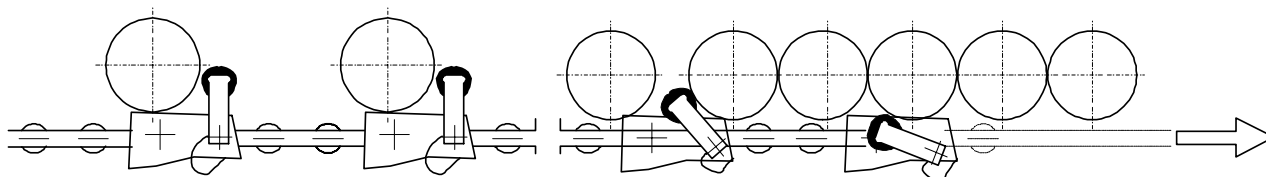


Figura 8.3: dispositivo di riduzione della rumorosità causata dalla movimentazione di tubi

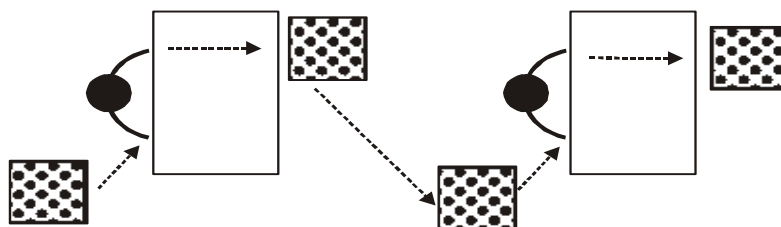
In questo ulteriore esempio riportato in Figura 8.3, per ridurre la rumorosità causata dall'urto dei tubi in discesa libera lungo un piano inclinato, il sistema, costituito da alcuni elementi mobili, ricoperti di materiale viscoelastico nella zona di contatto, raccoglie singolarmente i tubi e li accompagna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

movimentazione tramite cassoni



movimentazione tramite nastri trasportatori

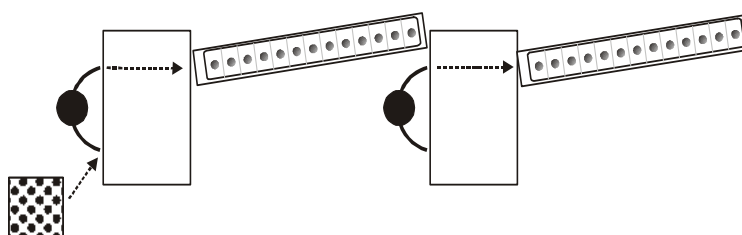


Figura 8.4 - Esempio di riduzione del rumore tramite utilizzo della movimentazione con nastri trasportatori

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 dritti 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:

- a) distribuendo l'impatto su un tempo più ampio, ad esempio ricorrendo a ruote a denti elicoidali, anziché a denti dritti;
- b) 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.

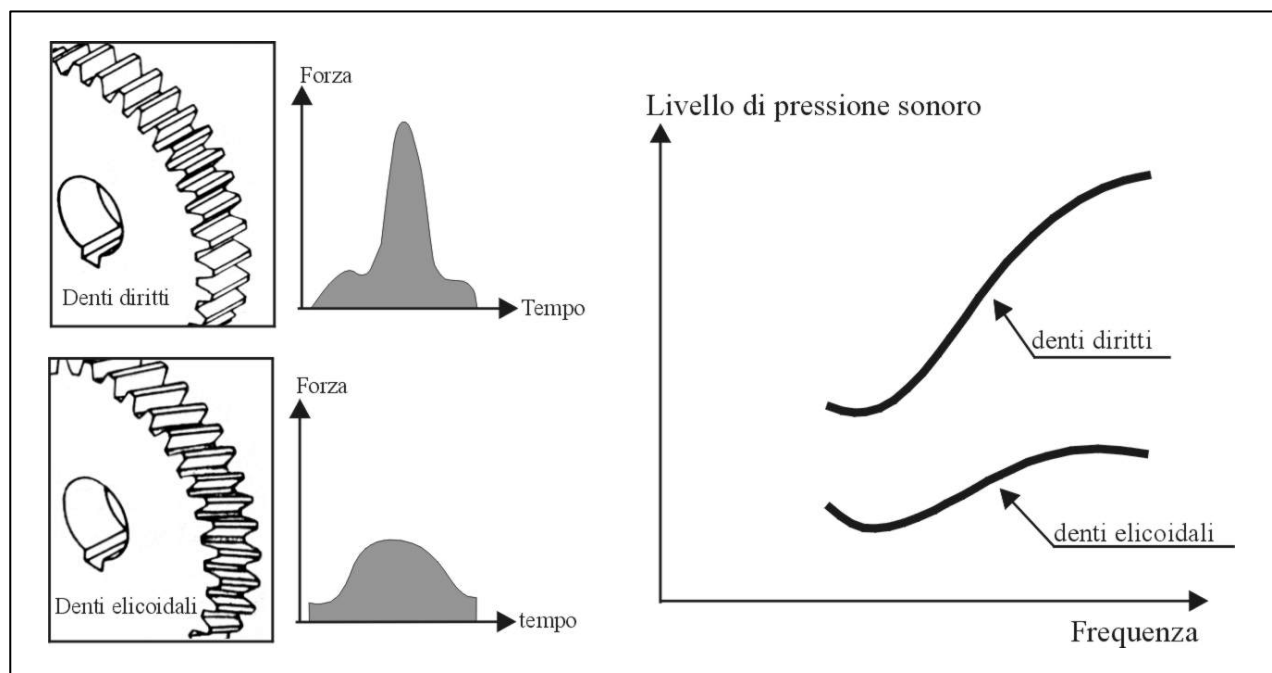


Figura 9.1 - Distribuzione temporale e spettro del livello di pressione sonora durante l'ingranamento di due denti

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.

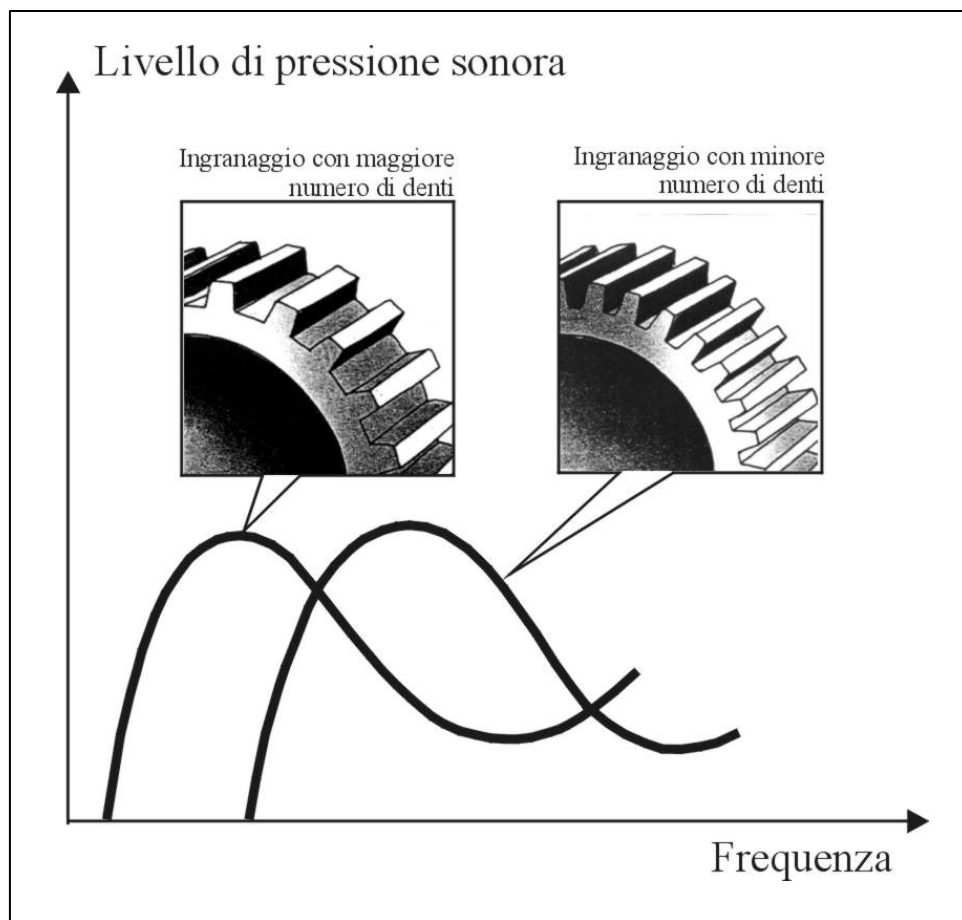


Figura 9.2 - Effetto del cambiamento del numero di denti sulla frequenza di eccitazione delle ruote dentate

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.

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.

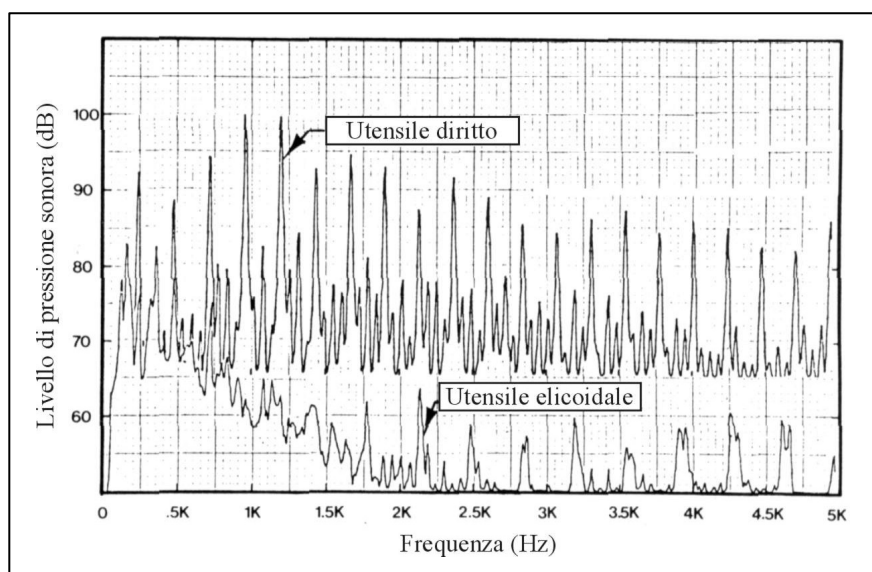
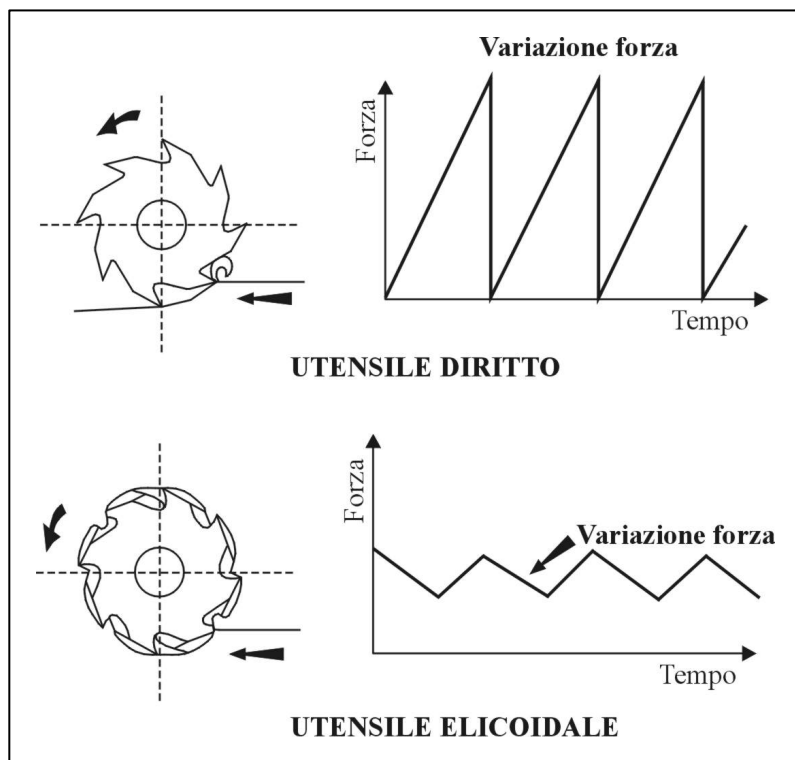


Figura 9.3 - Utensili a coltelli longitudinali e a coltelli con sviluppo elicoidale: variazione della forza nel tempo e spettro in frequenza

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 costruttore) 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'emissione 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.

E' 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).

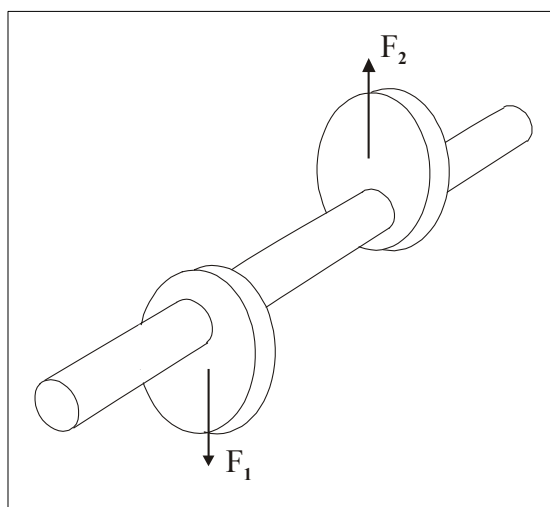
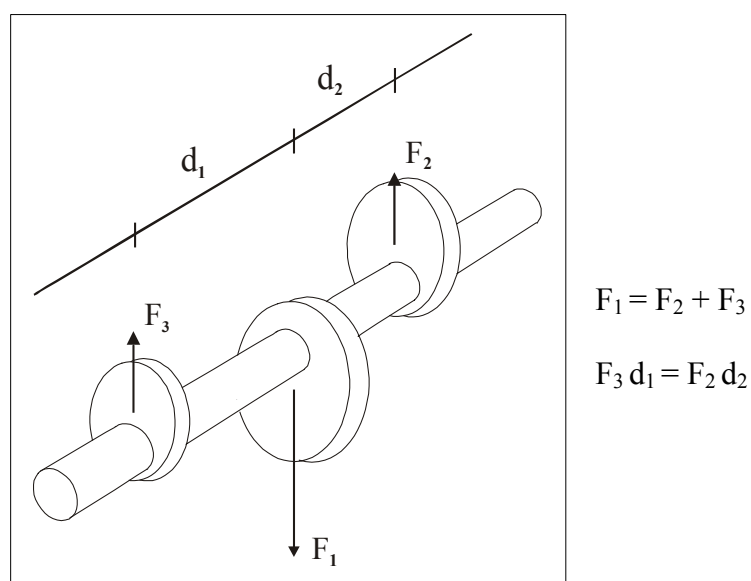


Figura 10.1 - L'aggiunta del disco 2 equilibra le forze ma non i momenti (bilanciamento statico ma non dinamico)

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



$$F_1 = F_2 + F_3$$

$$F_3 d_1 = F_2 d_2$$

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.

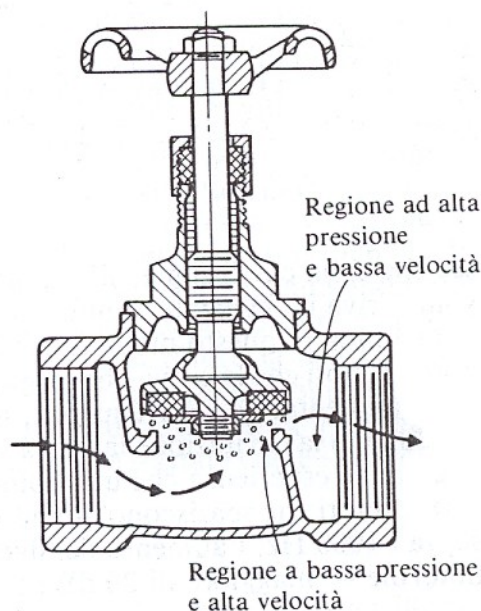


Figura 11.1 - Cavitazione generata da una valvola

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 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 cambiamenti bruschi di sezione, di giunti a T e a Y.

E' 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.

E' 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.

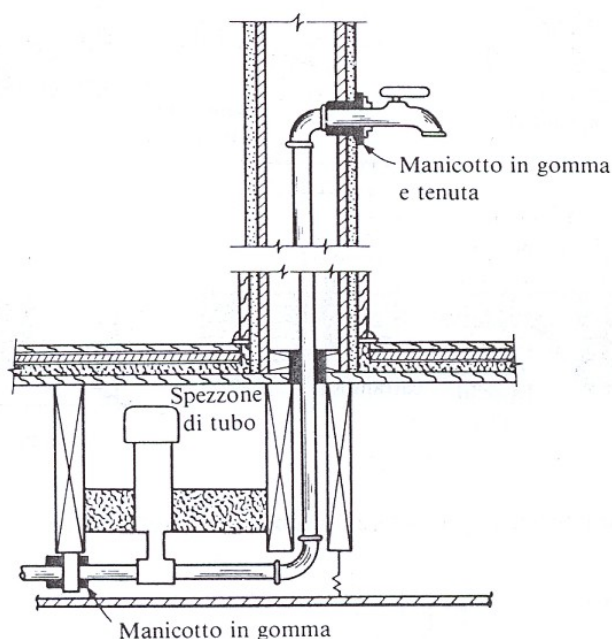


Figura 11.2 - Esempio di schema di principio di isolamento delle tubazioni dalle strutture dell'edificio.

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. E' 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.

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).

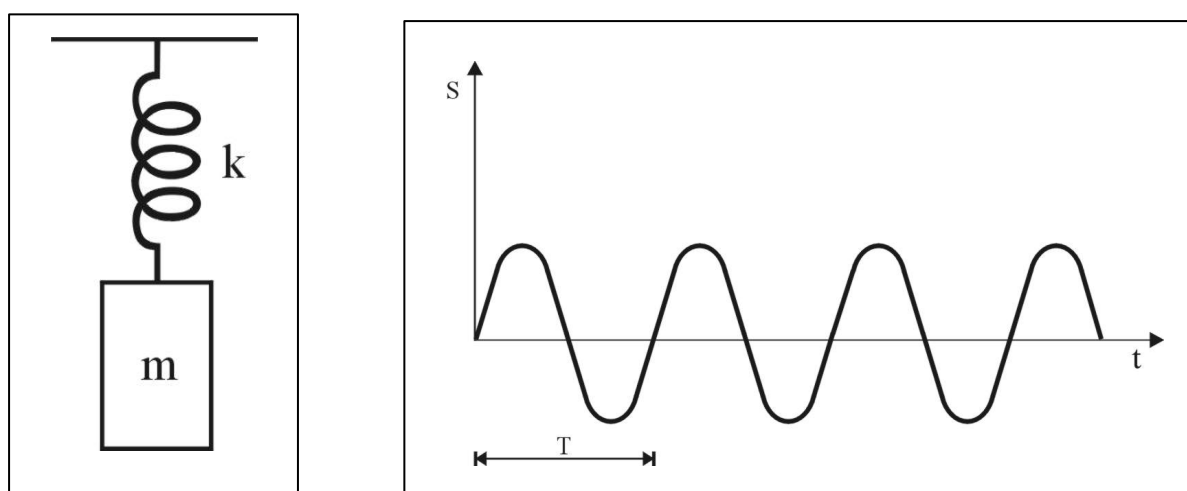


Figura 12.1 - Risposta all'impulso di un sistema meccanico elementare senza smorzamento

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 rigidità 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.

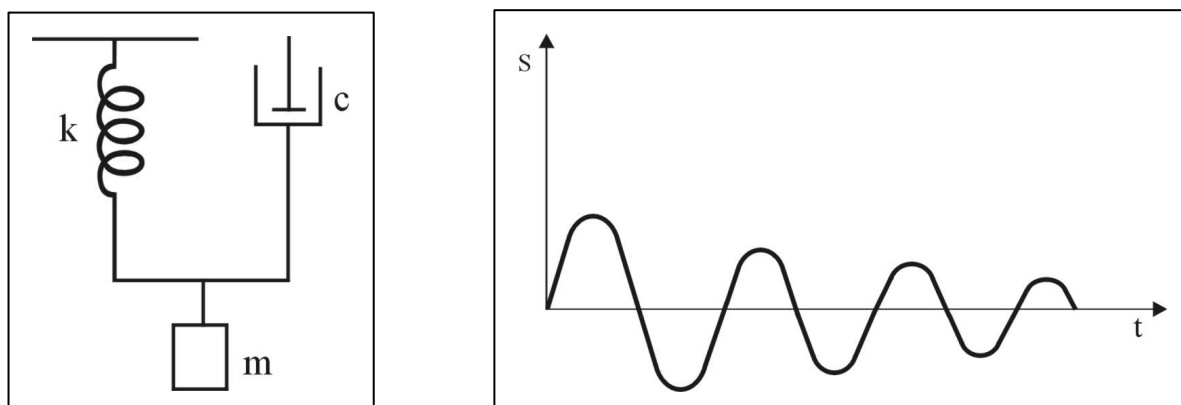


Figura 12.2 - Risposta all'impulso di un sistema meccanico elementare con smorzatore

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).

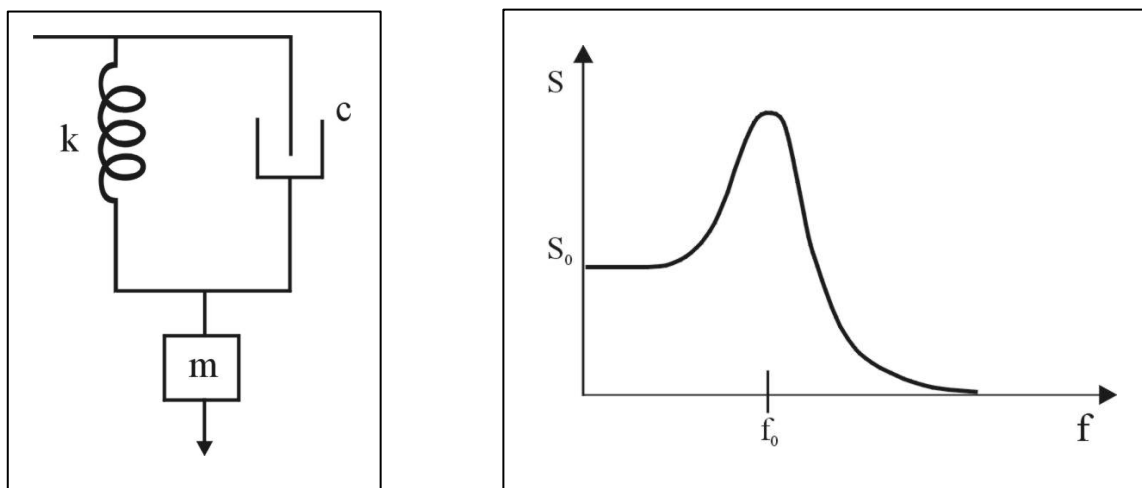


Figura 12.3 - Risposta ad un'eccitazione sinusoidale di un sistema meccanico elementare con smorzatore

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).

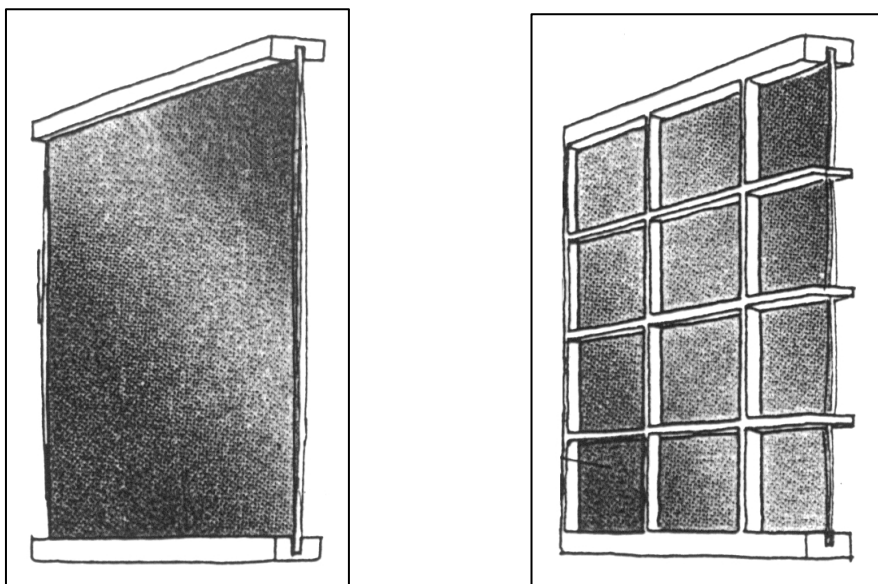


Figura 12.4 - Inserendo delle nervature su un pannello aumenta la sua rigidezza in misura molto maggiore dell'incremento di massa determinando un incremento nel valore delle frequenze di risonanza.

SCHEDA 13
MATERIALI 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, soffiotti 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.

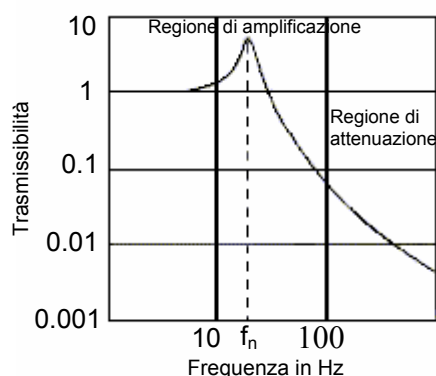


Figura 13.1 – Trasmissibilità di un sistema con una frequenza propria (f_n) di 20 Hertz.

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.

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).

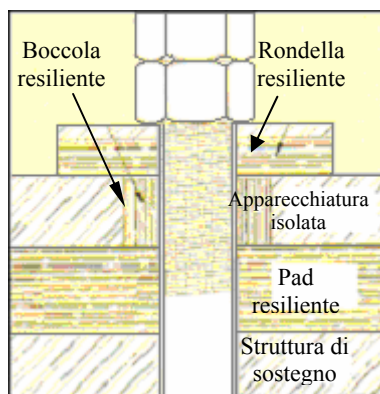


Figura 13.2 – Esempio di metodo raccomandato per l'installazione di un sistema pad.

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 interbloccati 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.

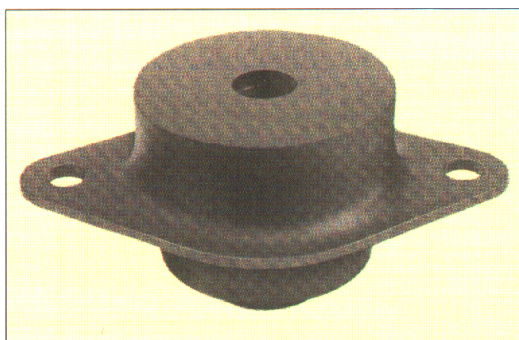


Figura 13.3 – Esempio di isolatore elastomerico.

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 miscela,
- 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).

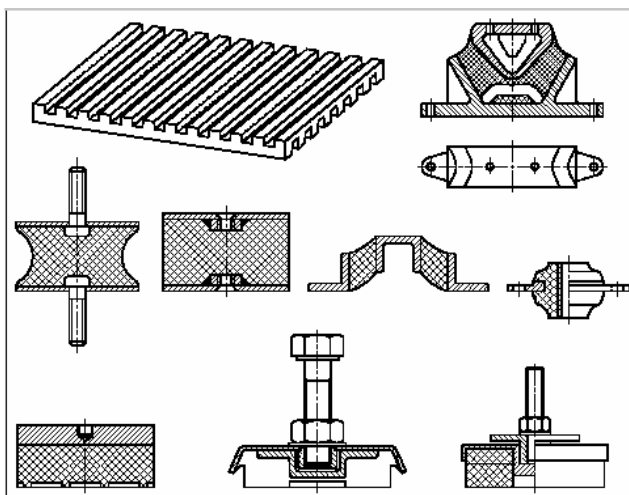


Figura 13.4 - Alcuni esempi di diverse conformazioni di molle elastomeriche.

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.

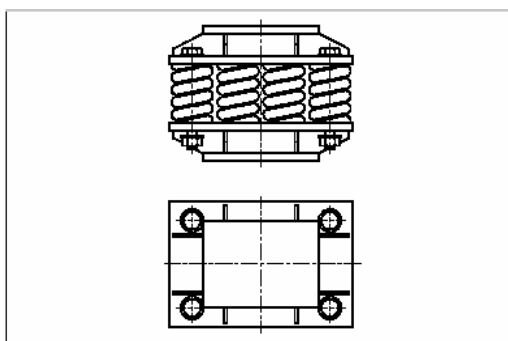


Figura 13.5 – Sospensione tipica costituita da molle elicoidali di compressione.

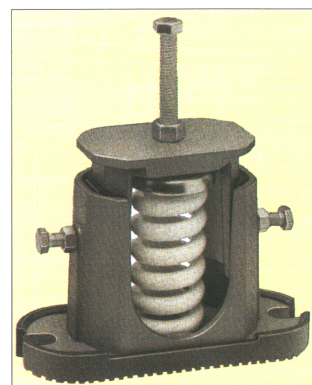


Figura 13.6 – Esempio di combinazione di molla metallica e elastomero.

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.

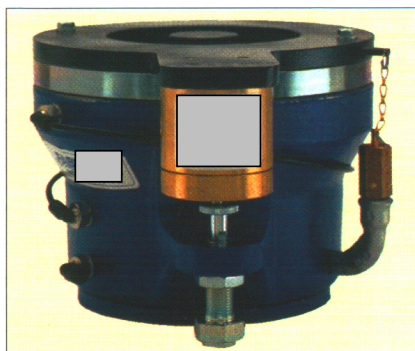


Figura 13.7 - Esempio di isolatore pneumatico.

Per consentire la regolazione del livello di smorzamento esistono anche molle pneumatiche in versione regolabile.

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)

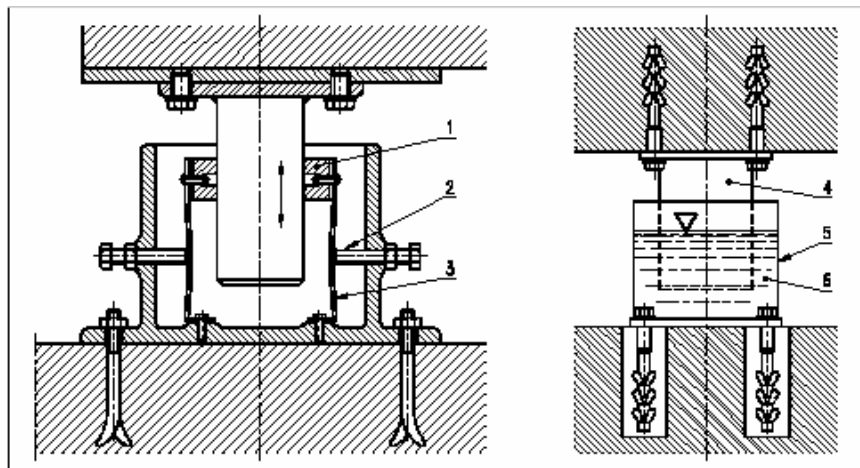


Figura 13.8 - Schema di un ammortizzatore ad attrito e di un ammortizzatore a liquido viscoso.

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.

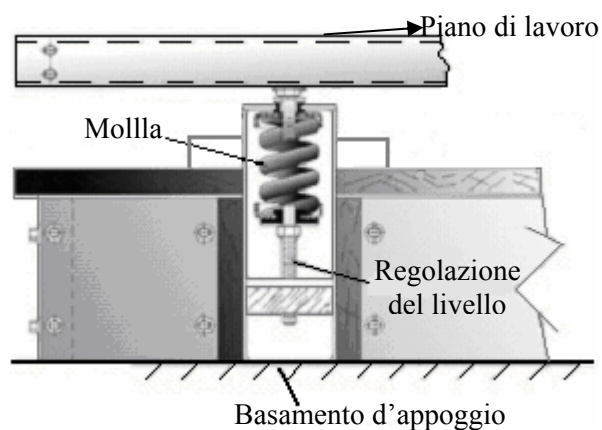


Figura 13.9 – Esempio d'isolamento delle vibrazioni per “piattaforme” di lavoro.

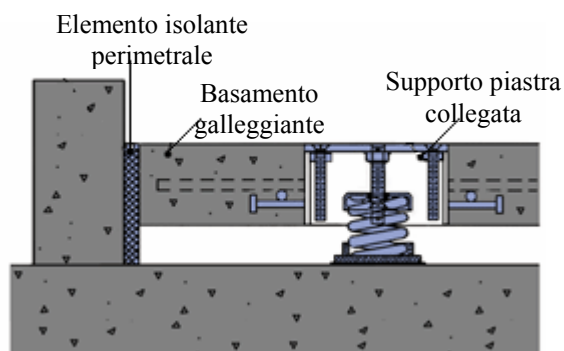
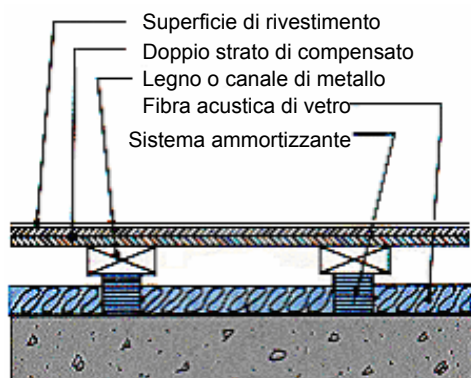


Figura 13.10 – Esempi di basamenti galleggianti.

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.

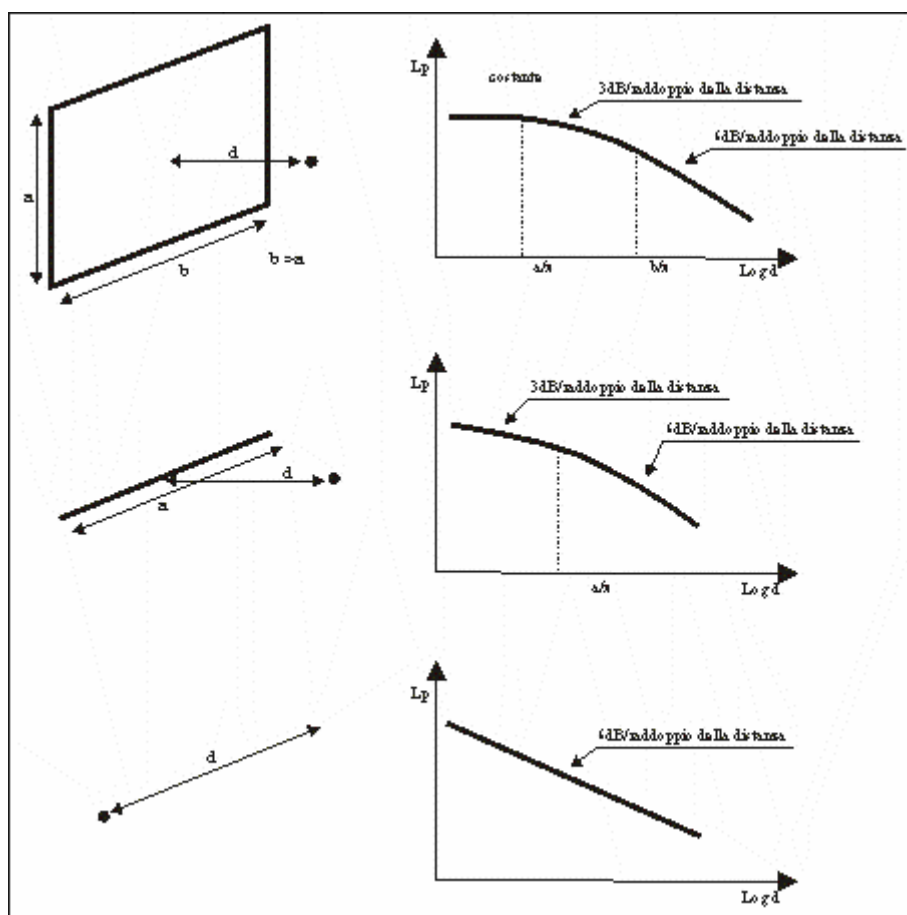


Figura 14.1 – Andamento con la distanza del rumore emesso da varie sorgenti

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.).

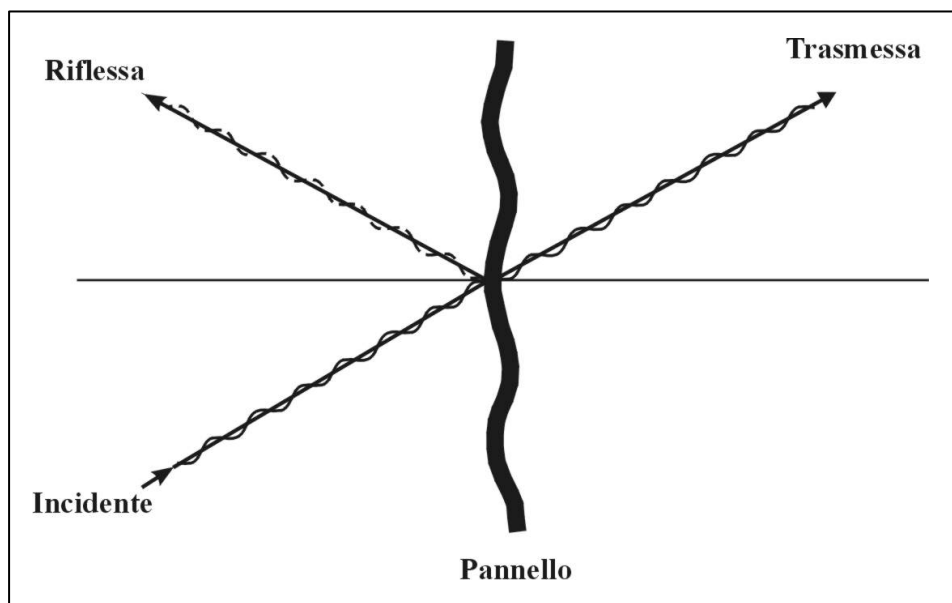


Figura 14.2 - Trasmissione acustica per via aerea di una parete

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.

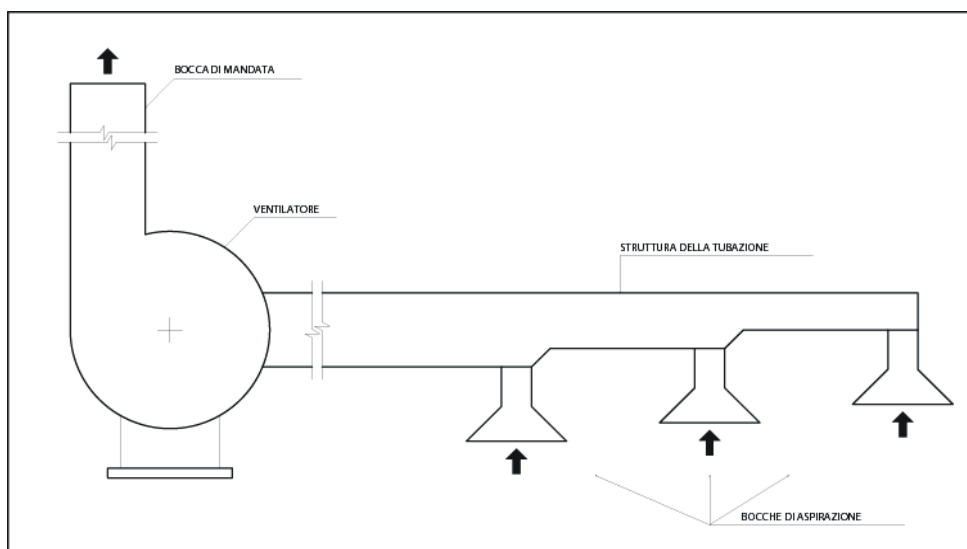


Figura 14.3 - Percorsi di trasmissione del rumore emesso da un ventilatore

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 |
|----------------------------------|---|-------------------------------|
| <i>bocca di mandata</i> | <i>propagazione per via aerea</i> | <i>esterno</i> |
| <i>carcassa del ventilatore</i> | <i>trasmissione per via aerea e per via strutturale</i> | <i>locale del ventilatore</i> |
| <i>struttura della tubazione</i> | <i>trasmissione per via aerea e per via strutturale</i> | <i>ambiente di lavoro</i> |
| <i>cappe di aspirazione</i> | <i>propagazione per via aerea</i> | <i>ambiente di lavoro</i> |

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).

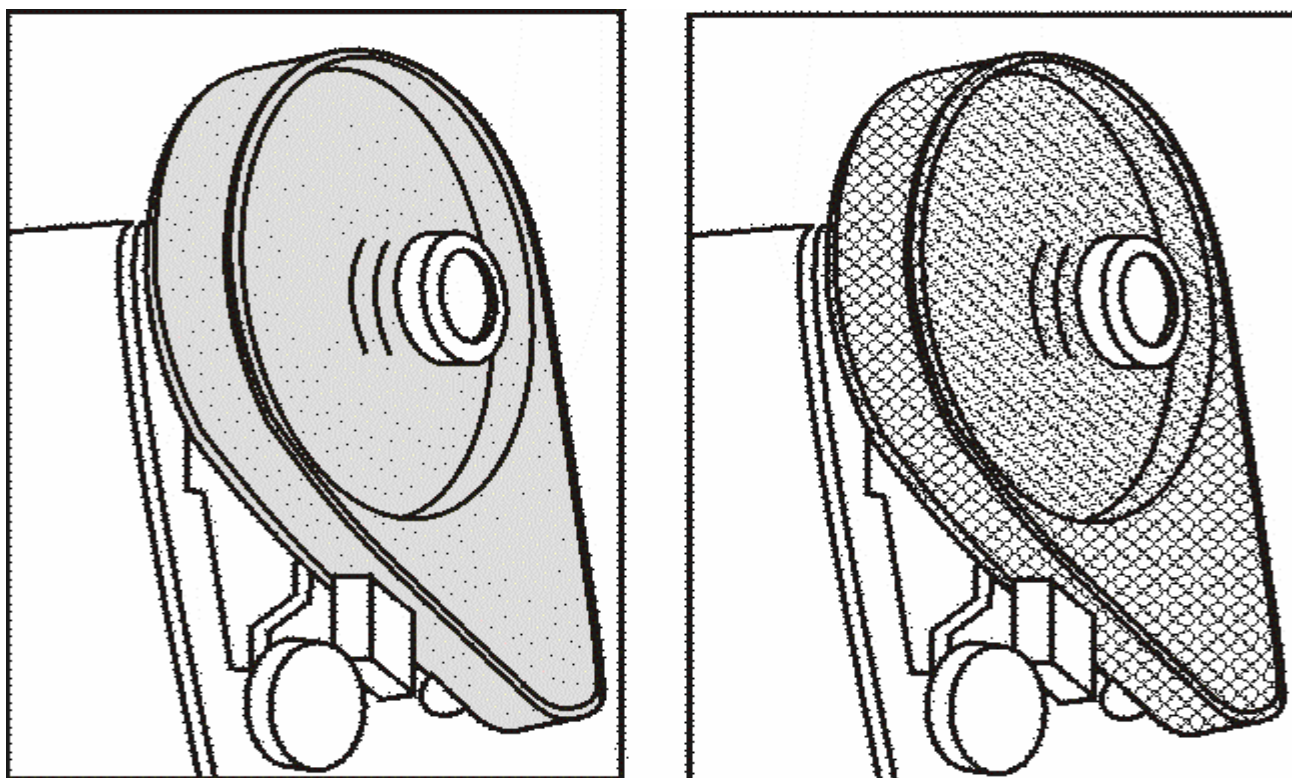


Figura 14.4 - Esempio di bonifica del gruppo freno frizione di una pressa, in cui il carter è la sorgente sonora prevalente a causa della trasmissione per via strutturale

SCHEMA 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_0 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 σ_{rad} variano in un intervallo molto grande (vedere esempi in fig. 15.1).

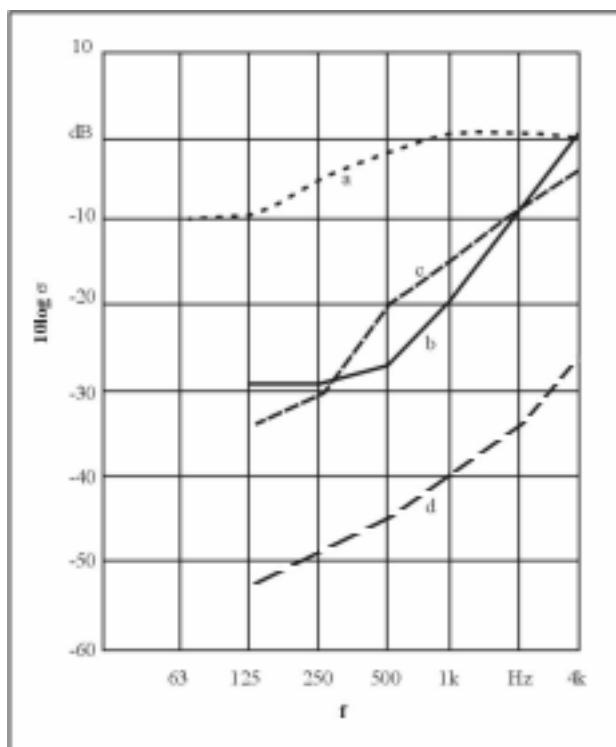


Figura 15.1 - Andamenti sperimentali dell'efficienza radiante effettiva per diverse strutture:

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

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 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).

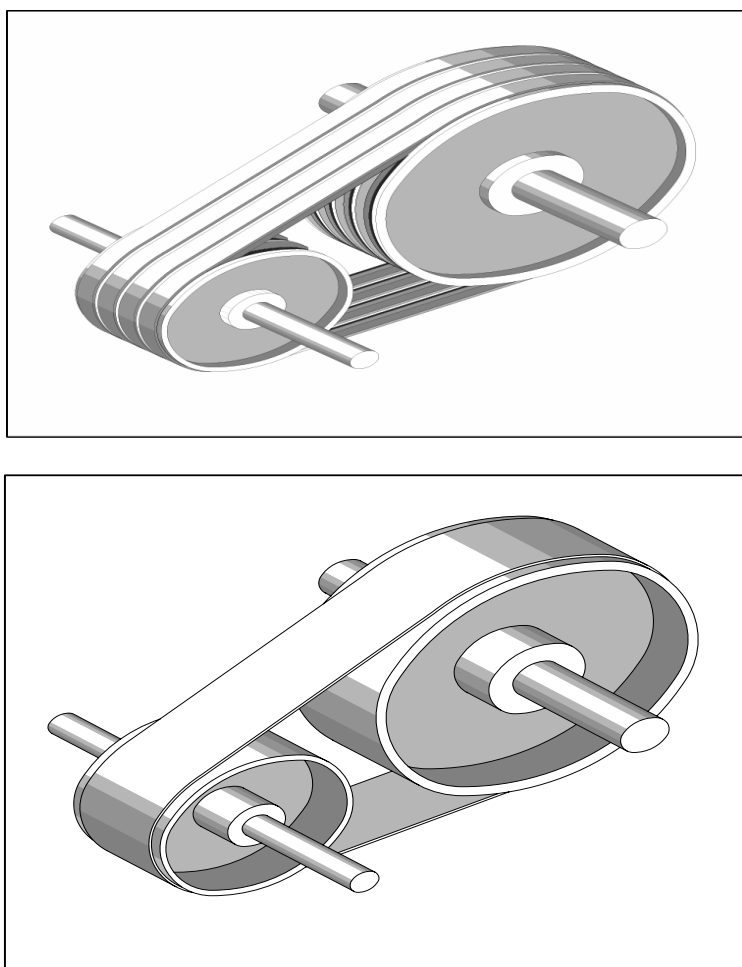


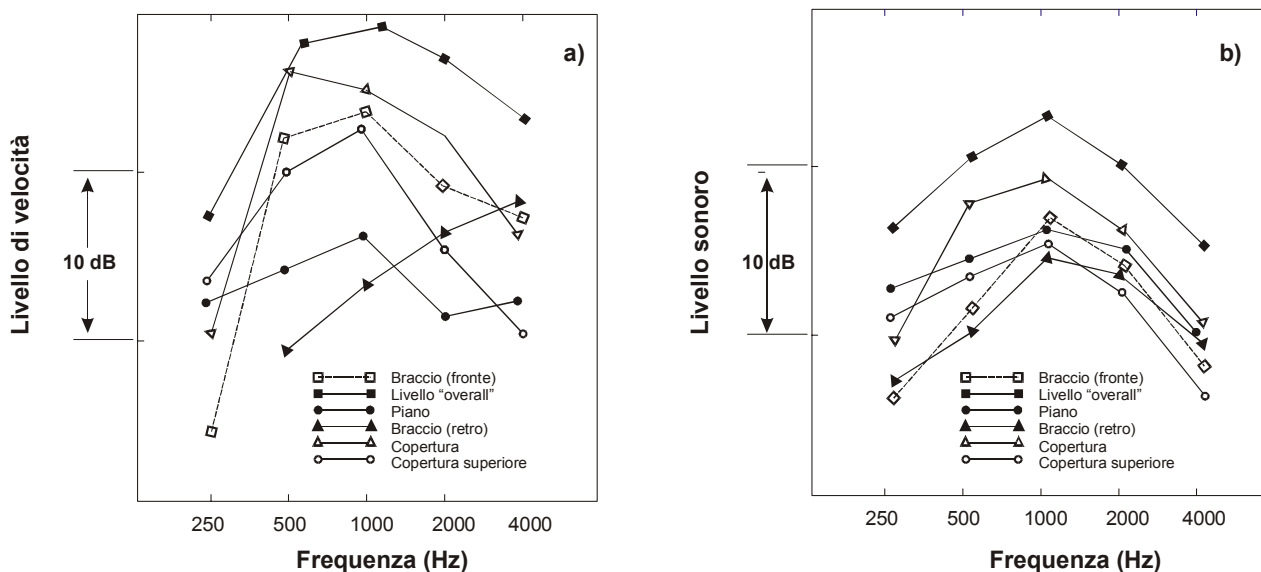
Figura 15.2 - Sostituendo una cinghia di trasmissione di notevole larghezza con più cinghie, ognuna di minor larghezza, si riduce l'emissione sonora alle basse frequenze.

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).



Stima ottenuta misurando
le vibrazioni superficiali

Livello di pressione sonora misurato

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.

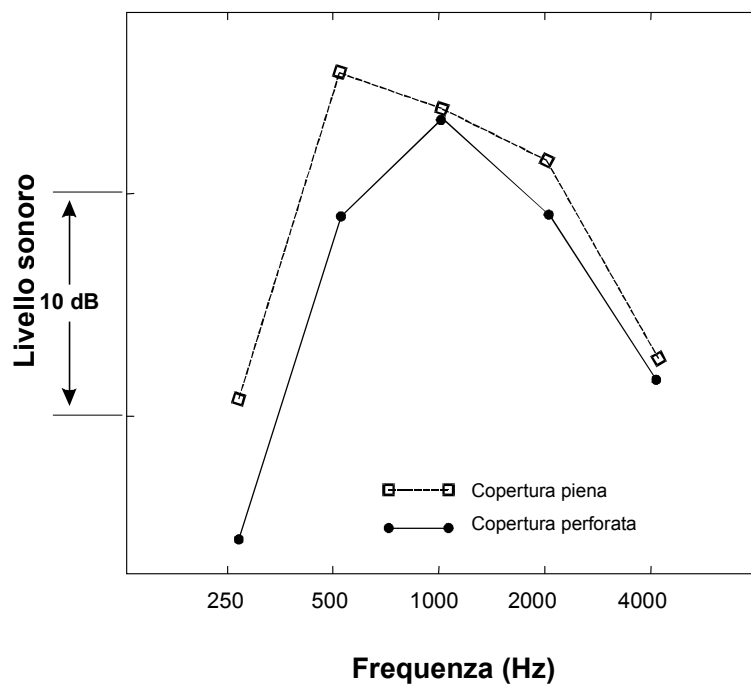


Figura 15. 5 – Riduzione della rumorosità della macchina da cucire ottenuta tramite la sostituzione della copertura di serie con una piastra perforata.

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:

- a) 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);

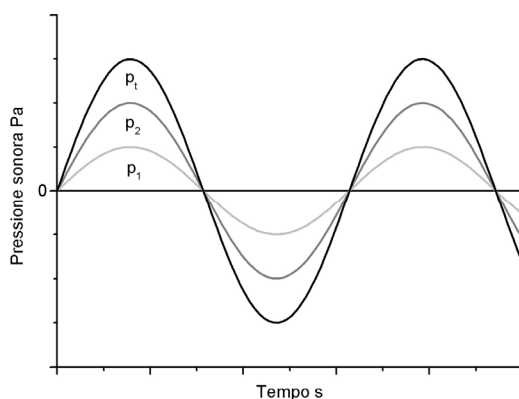


Figura 16.1a – Interferenza costruttiva tra due onde sonore in fase

- b) 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.

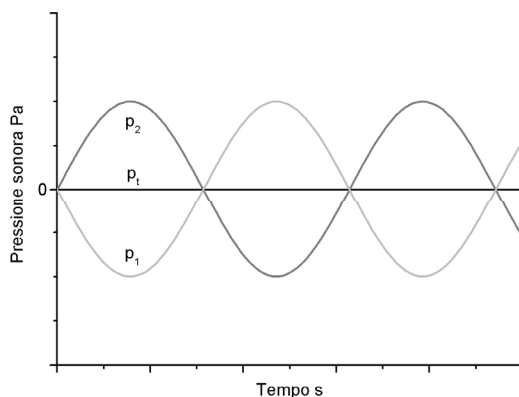
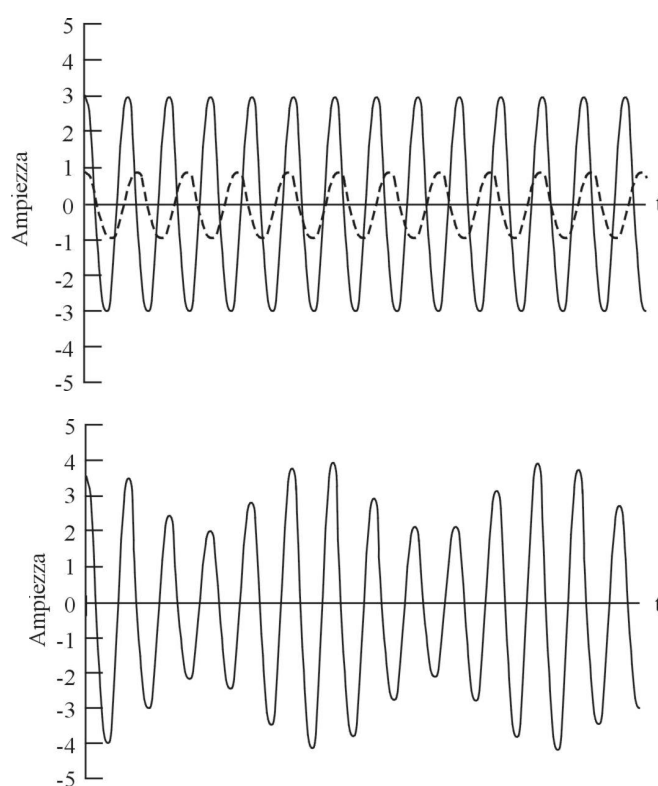


Figura 16.1b – Interferenza distruttiva tra due onde sonore in opposizione di fase

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).

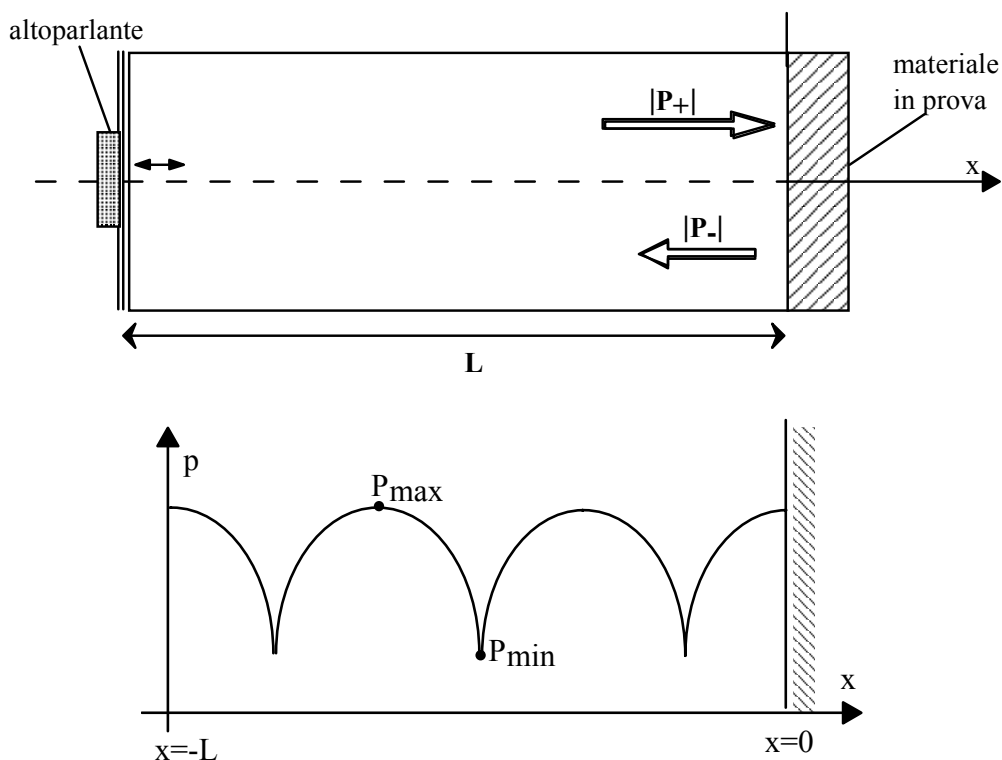


Figura 16.3 – Generazione di onde stazionarie in un tubo avente un'estremità chiusa

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).

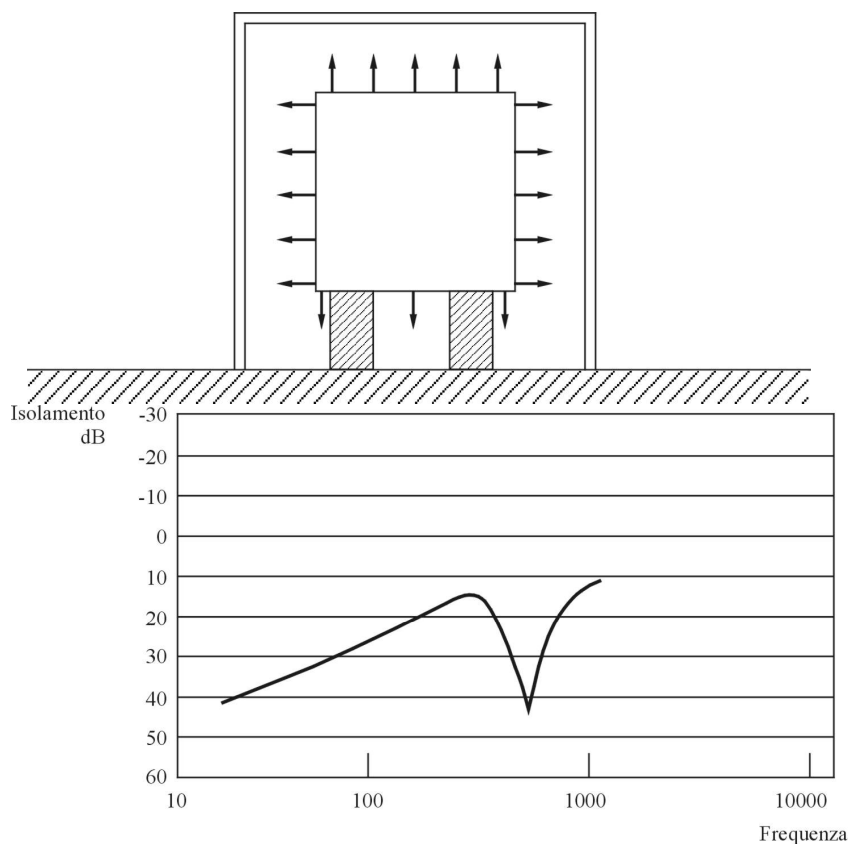


Figura 16.4 – L'isolamento di una copertura fonoisolante le cui pareti distano 0,28 m dalla superficie della sorgente di rumore presenta una perdita di isolamento intorno a 600 Hz

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

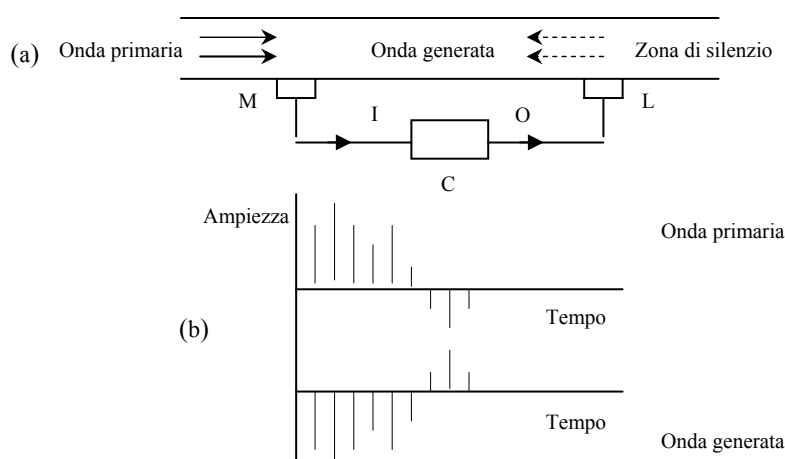


Figura 16.5 - Rappresentazione del concetto di controllo attivo

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).

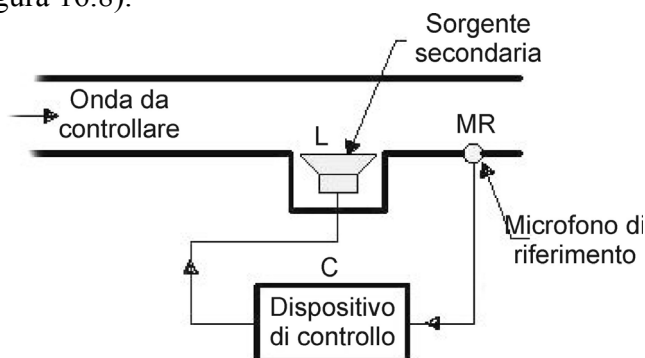


Figura 16.6 – Schema della tecnica *feedback*

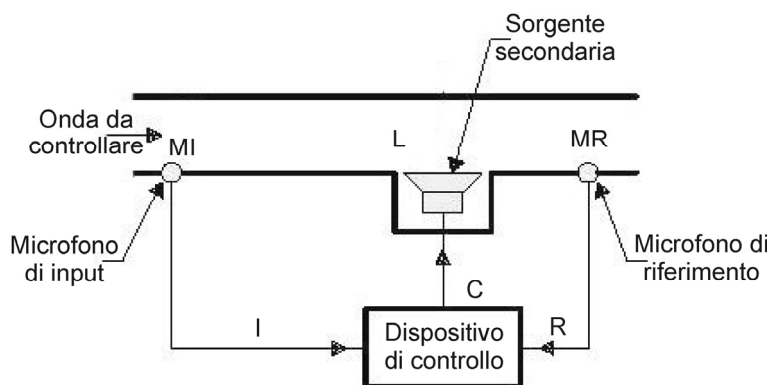


Figura 16.7(a) – Schema della tecnica *feedforward* a banda larga

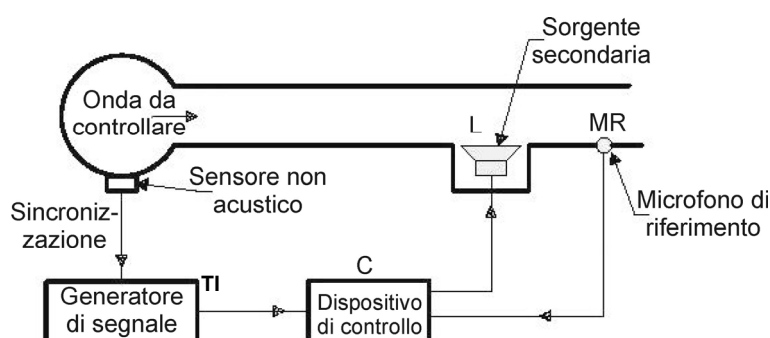


Figura 16.7(b) - Schema della tecnica *feedforward* a banda stretta

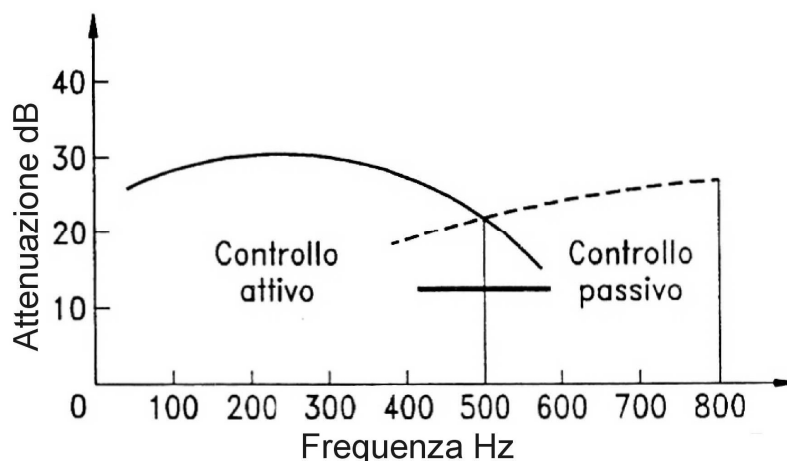


Figura 16.8 – Campo di applicazione degli interventi di controllo attivo e passivo [norma UNI EN ISO 11690-2:1999]

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 controllore *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.

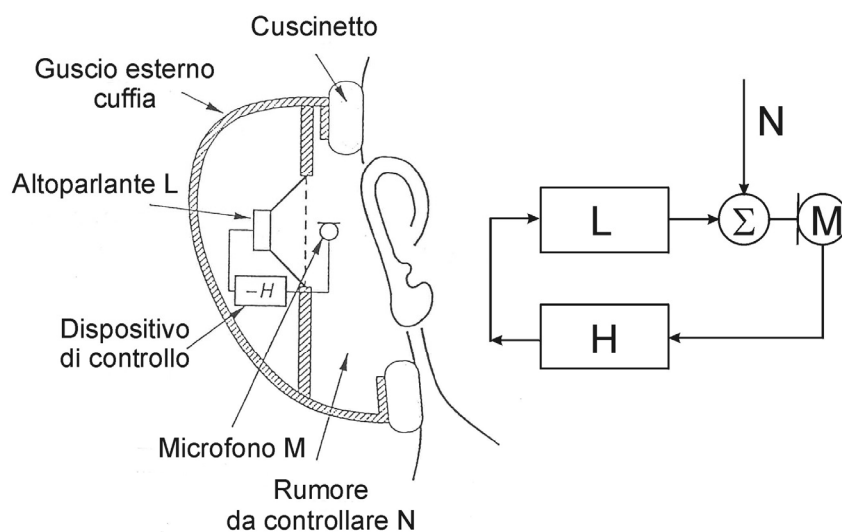


Figura 16.9 – Schema di cuffia con controllo attivo del rumore

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 impedente 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.

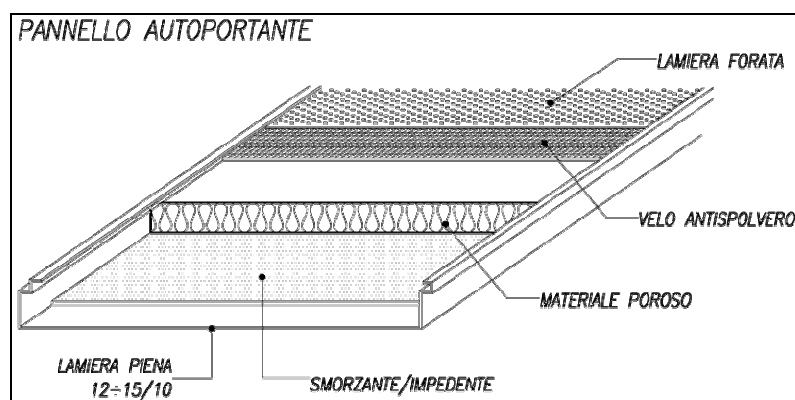


Figura 17.1 – Esempio di schema costruttivo di un pannello autoportante

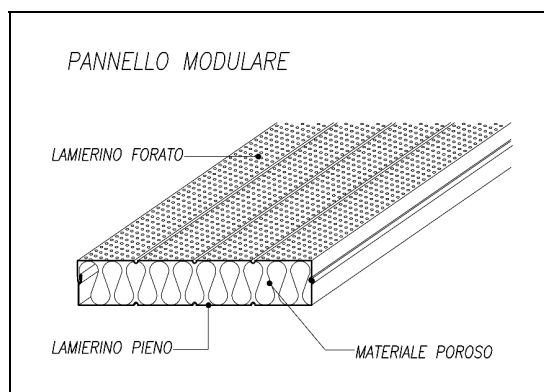


Figura 17.2 – Esempio di pannello modulare

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.

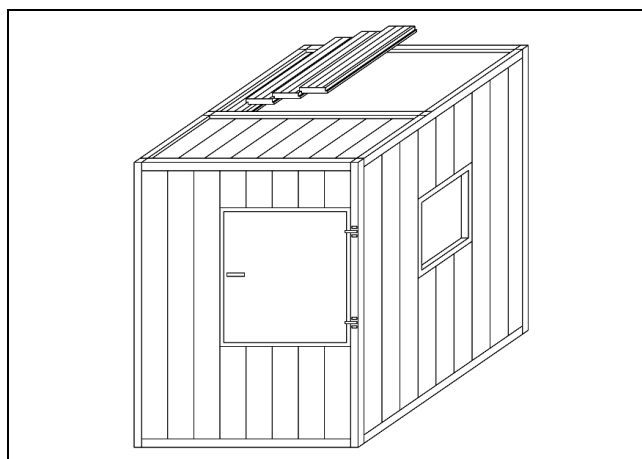


Figura 17.3 – Esempio di copertura ad elevato potere fonoisolante

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, 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).

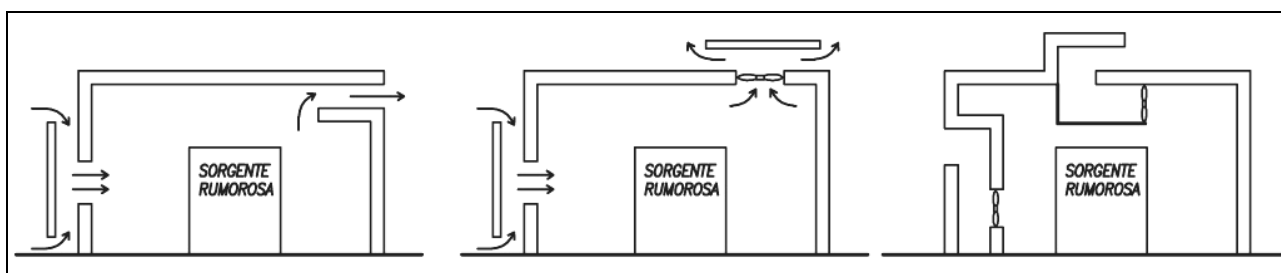


Figura 17.4 – Esempi di aperture (prese d'aria) che possono ridurre il potere fonoisolante delle coperture.

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.

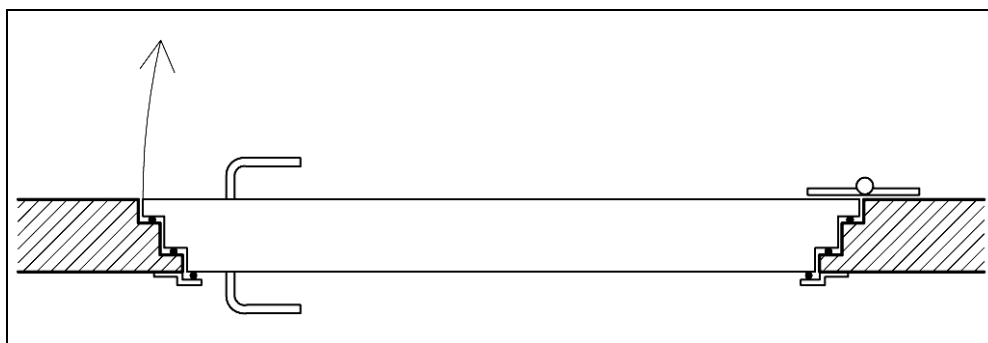


Figura 17.5 – Esempio di sistema di chiusura ad alta efficienza di una porta fonoisolante

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 *shilouette* del macchinario stesso costringerebbero ad adattamenti del cabinato alla sorgente, cosa questa non sempre facilmente realizzabile. 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 *shilouette* 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.2](#) 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 Costruttore; 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 ovviato 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.

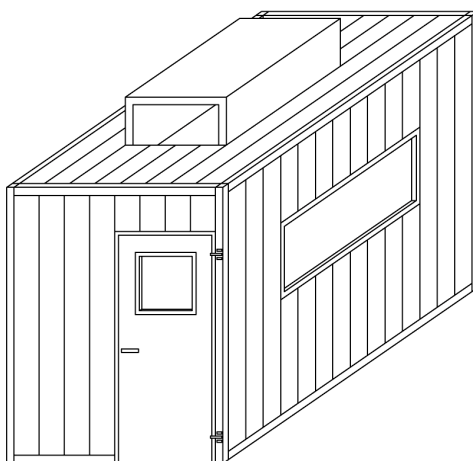


Figura 18.1 – Esempio di cabina per operatori

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 del L_{EP} si riduce a 4-5 dB(A).

efficacia delle cabine

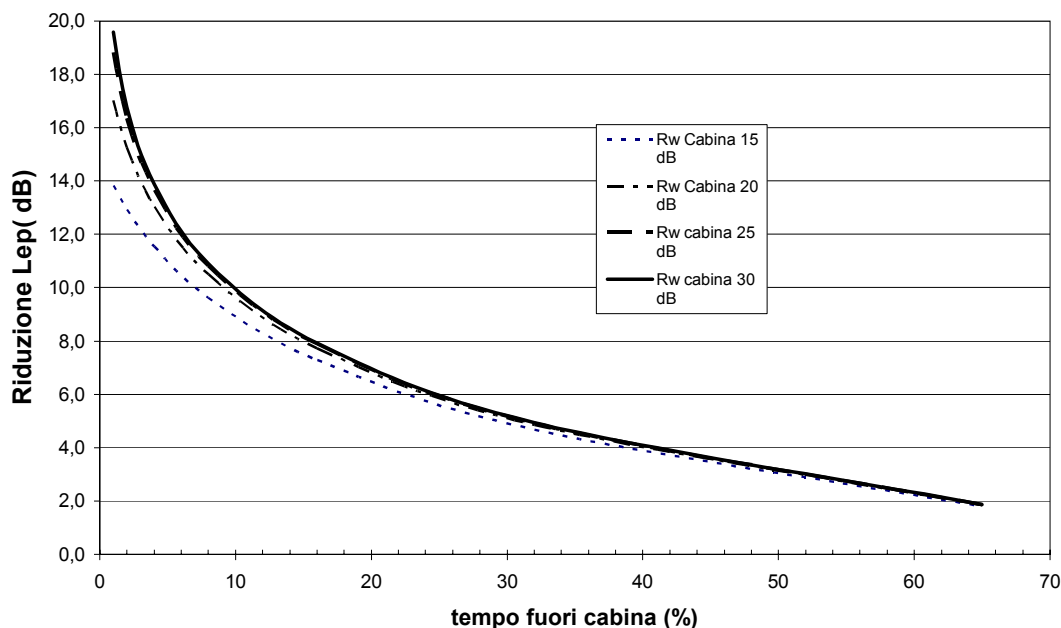


Figura 18.2: Efficacia acustica delle cabine per operatore in funzione del tempo di permanenza

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 ovvi 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. Una rassegna delle cabine per operatore realizzate sul campo è riportata nella [Sezione C.6](#) del Terzo Livello.

SCHEDE 19 SCHEMATURE 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).

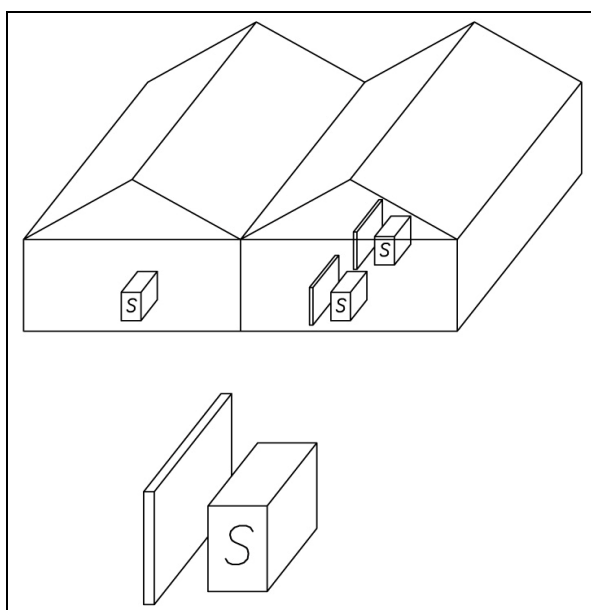


Figura 19.1 – Esempi di utilizzo di schermature

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).

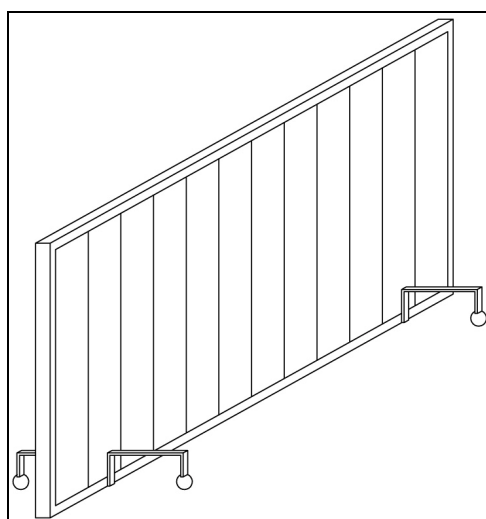


Figura 19.2 – Esempio di applicazione di ruote per la movimentazione di schermi

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 scavalco 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 scavalco per effetto delle riflessioni occorre quindi trattare l'ambiente, o la parte di esso in cui è posizionato lo schermo.

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 scavalco, 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.

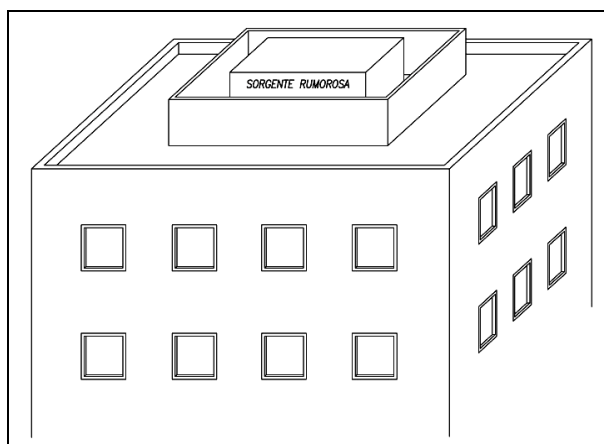


Figura 19.3 – Esempio di utilizzo di barriere acustiche sul tetto di un edificio

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.3](#) del Terzo Livello.

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 (o fin anche di 10 dB se il trattamento può essere integrato con schermi aperti);
- 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, anche se non quello della sorgente vicina (a cui il lavoratore è addetto);
- 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 sorgenti che necessitano del continuo intervento dell'operatore; infatti, se gli interventi diretti sulla macchina sono dell'ordine dei 30 ogni ora o più, probabilmente qualunque tipo di copertura fonoisolante (cabina o cappottatura), anche se dotata di aperture automatiche, si rivelerebbe non idonea e sarebbe dismessa dopo poco;
- 5) 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).

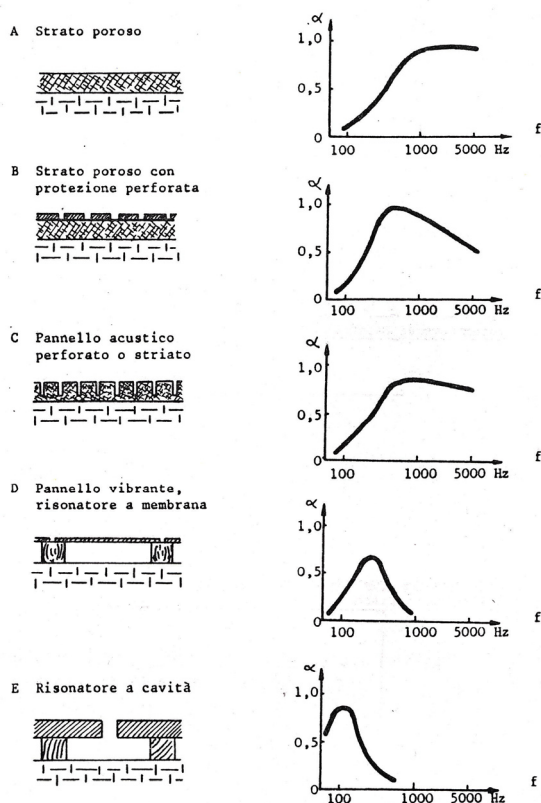


Figura 20.1 - Sistemi fonoassorbenti e andamento dei relativi coefficienti di assorbimento

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 poliuretatiche;
- 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.

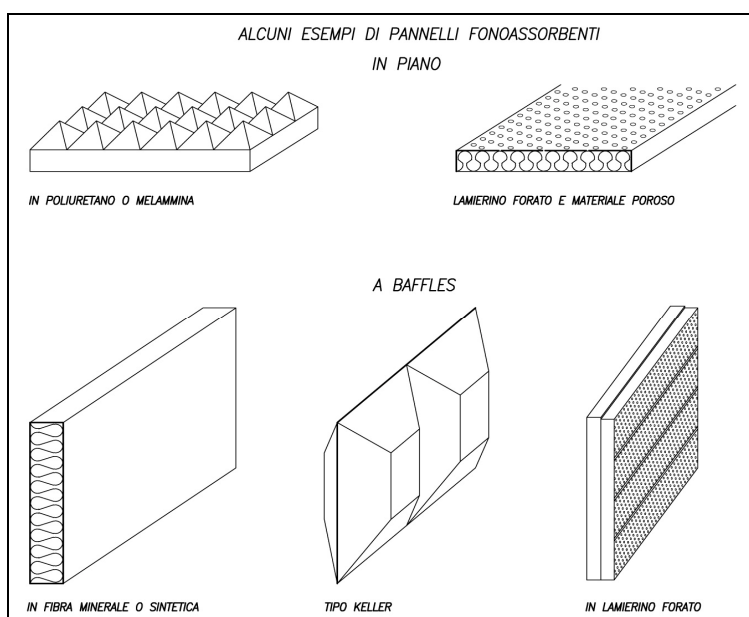


Figura 20.2 – Esempi di pannelli fonoassorbenti porosi

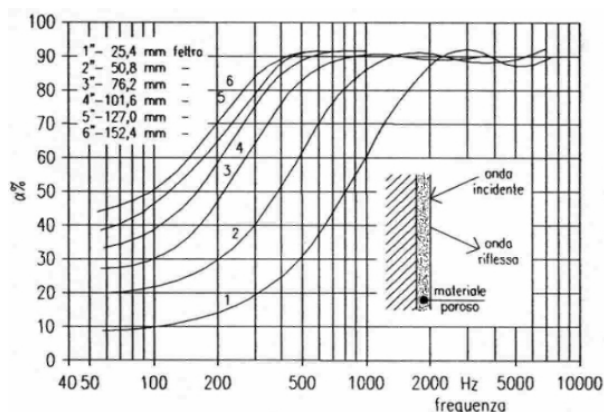


Figura 20.3 - Assorbimento di pannelli fonoassorbenti porosi in funzione della frequenza

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 smorzamento. 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.

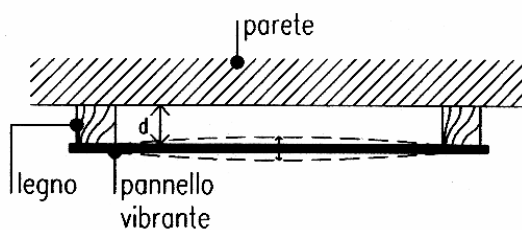


Figura 20.4 - Pannello assorbente per risonanza di membrana

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/m^2]

d è la distanza del pannello dalla parete [m].

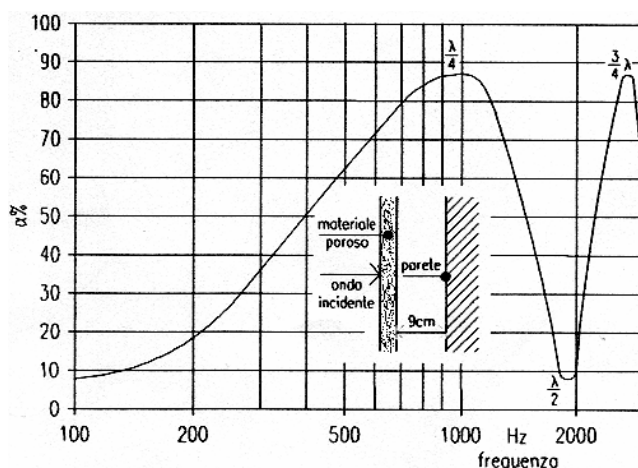


Figura 20.5 – Esempio di assorbimento di un risonatore a membrana

III) 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.

Risonatore di Helmholtz

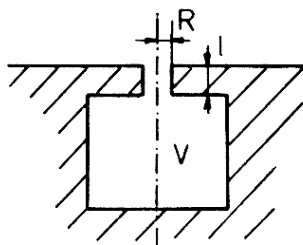


Figura 20.6 - Assorbitore per risonanza di cavità

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].

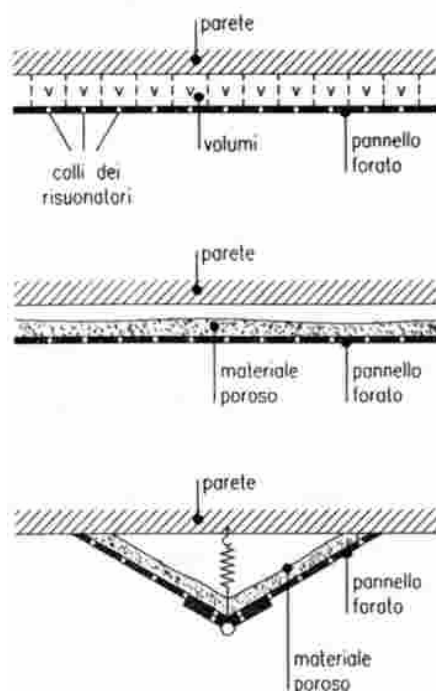


Figura 20.7 - Sistemi fonoassorbenti misti

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.

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.

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.

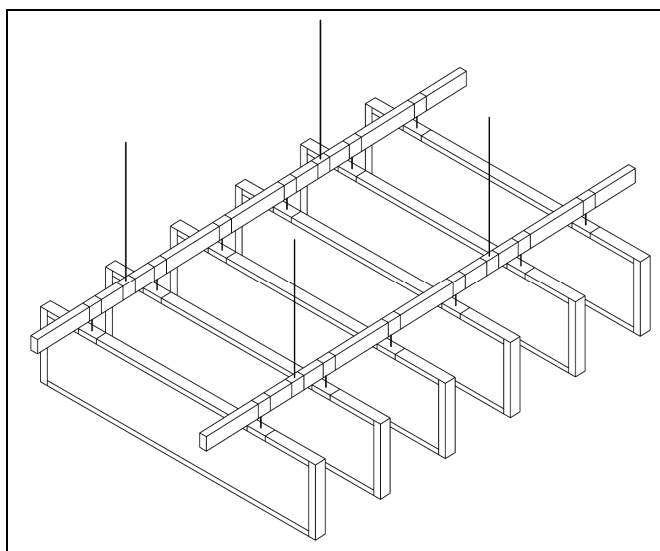


Figura 20.8 – Schema di applicazione dei *baffles*

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).

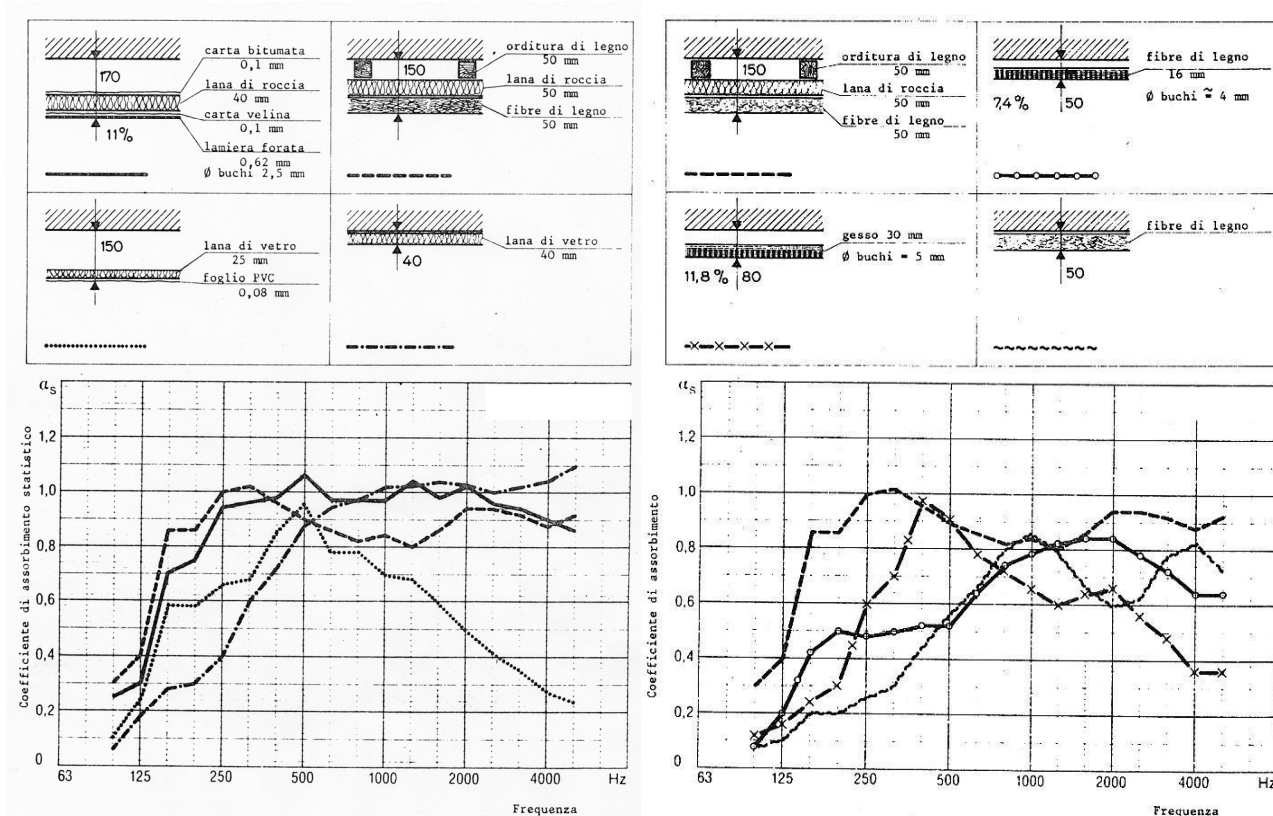


Figura 20.9 - Sistemi fonoassorbenti e coefficienti di assorbimento

Un altro aspetto con cui ci si confronta di frequente è la reazione al fuoco dei materiali, classificata sulla base di prove che assegnano ai prodotti migliori la Classe 0 (vedi Tabella 20.1).

Tabella 20.1 – Classi di reazione al fuoco dei materiali.

| Comportamento | Classificazione |
|---------------------------|-----------------|
| Prodotto non combustibile | Classe 0 |
| Prodotto combustibile | Classe 1 |
| | Classe 2 |
| | Classe 3 |
| | Classe 4 |
| | Classe 5 |

I materiali in Classe 0 sono quindi quelli che rendono più difficile la propagazione dell'incendio e il rilascio di calore. Ciò favorisce l'evacuazione tempestiva dell'edificio e le operazioni di spegnimento.

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

SCHEMA 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 riceventi.

Sono evidenziate:

Sorgenti di rumore

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

Cammini di propagazione

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

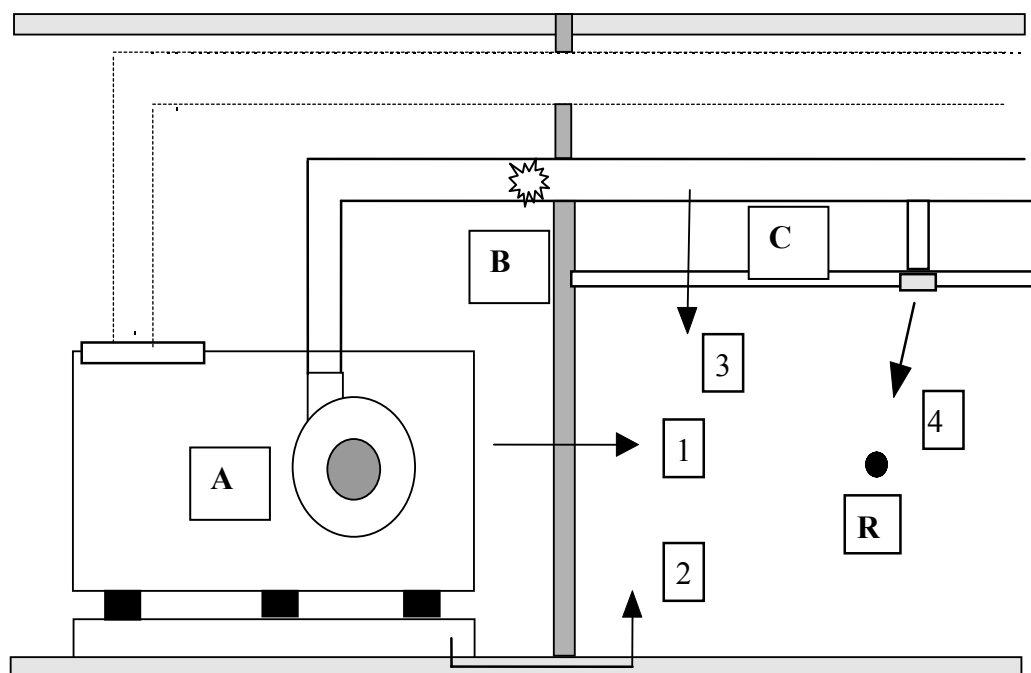


Figura 21.1- Impianto di condizionamento e termoventilazione tipico con possibili sorgenti e cammini di propagazione del rumore.

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 riceventi dai primi tre cammini di propagazione possibili. In ogni caso, gli ambienti

riceventi 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 graduali, 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:

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

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. E' 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 una 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 costruttore 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 costruttore 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.

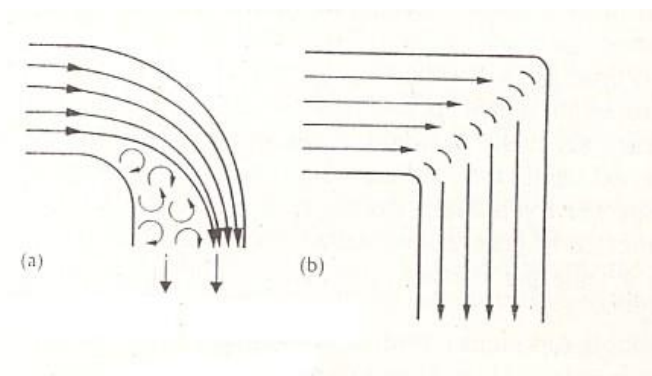


Figura 21.2 - Andamento qualitativo del flusso dell'aria in corrispondenza di una curva a 90°

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.

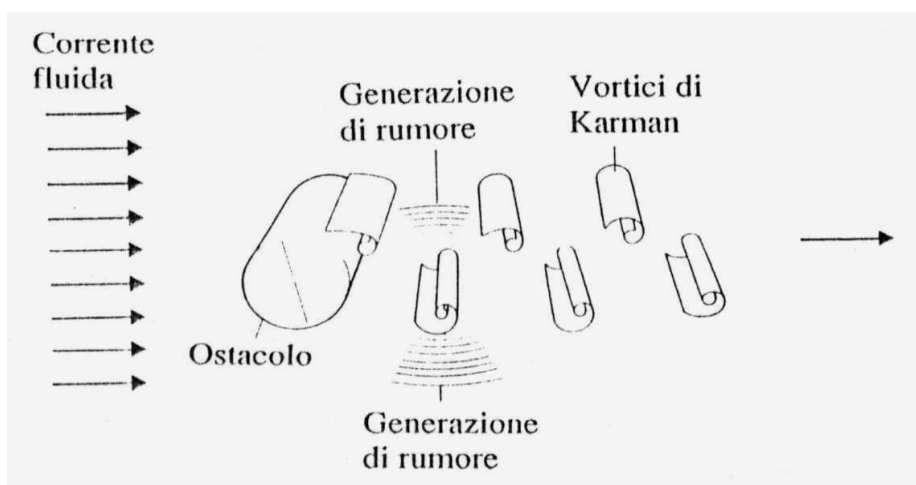


Figura 21.3 - Generazione dei vortici nell'interazione di un corpo tozzo con una corrente.

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.

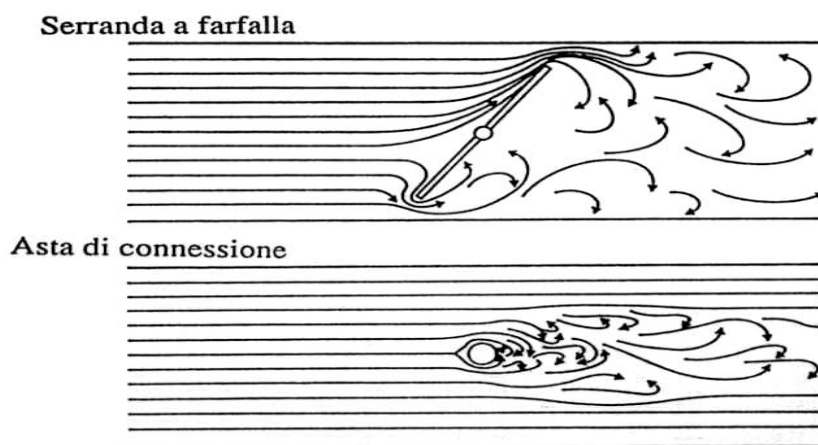


Figura 21.4 - Generazione della turbolenza a valle di un oggetto in un condotto d'aria.

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.

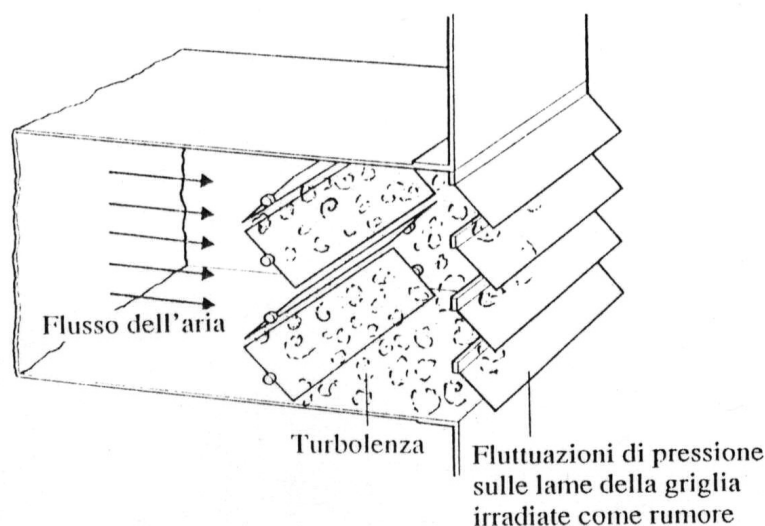


Figura 21.5 - Generazione del rumore dalla combinazione di una serranda e di una griglia.

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. Le sorgenti di rumore aerodinamico che è necessario considerare per l'analisi acustica del rumore che si propaga nel sistema di distribuzione dell'aria di un impianto RCV sono elencate qui di seguito.

- a.- Serrande di sezionamento e regolazione, singole e multiple.
- b.- Curve e gomiti, con e senza alette aerodinamiche.
- c.- Giunzioni e stacchi.

- d.- Variazioni di sezione, brusche e graduali.
- e.- Elementi strutturali all'interno dei condotti.
- f.- Attenuatori.
- g.- Griglie e diffusori, con e senza serrande di regolazione.
- h.- Condotti nudi rettilinei.

Ovviamente, la potenza sonora generata dagli elementi elencati sopra non è di pari importanza. I livelli della potenza sonora generati dagli elementi più importanti, che sono disponibili sul mercato (griglie, diffusori, serrande, ecc.), devono essere richiesti al costruttore per le condizioni operative previste.

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 vorticose 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.

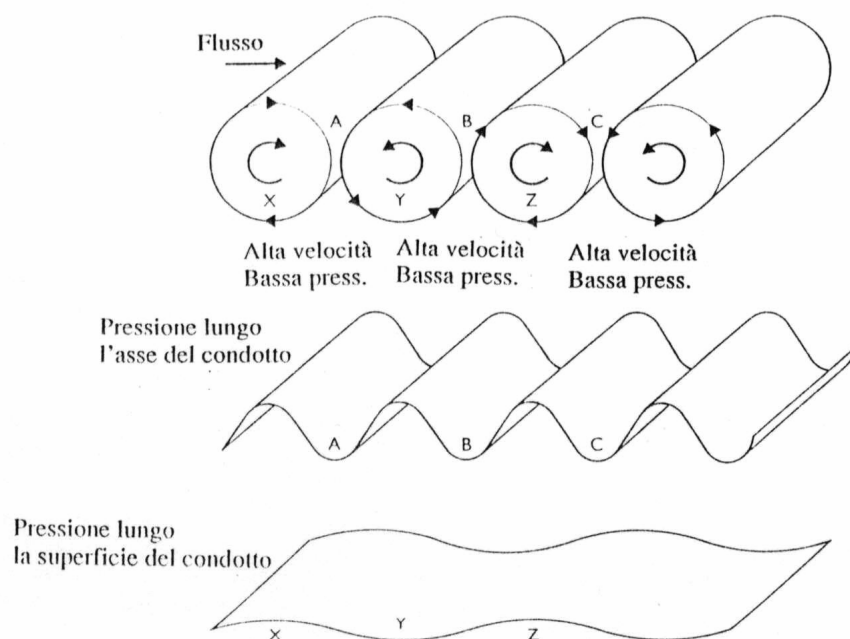


Figura 21.6 - Meccanismo di generazione della vibrazione dei canali a frequenza molto bassa

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 vetrature 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 è 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 gradualmente (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).
- E' 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 è anche un isolante termico, permettono di realizzare elevati valori di attenuazione.

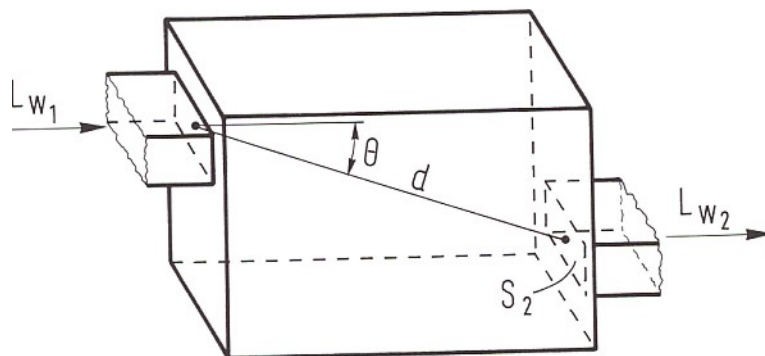


Figura 22.1 – Plenum di distribuzione.

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:

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

con:

- α = coefficiente di assorbimento del rivestimento interno
- S_2 = area della bocca di uscita del plenum (m^2)
- S_t = 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.

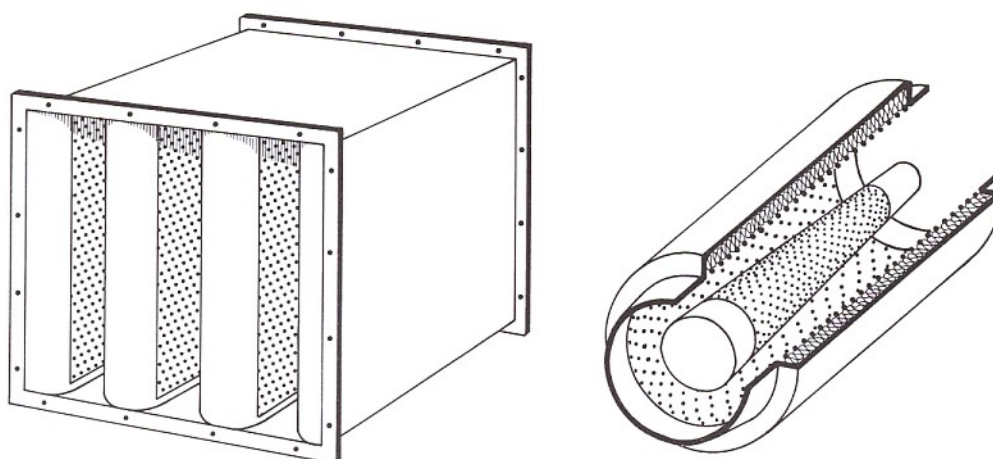


Figura 22.2 - Filtri acustici concentrati di tipo dissipativo

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.

E' 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).

SCHEDE 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.

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 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.

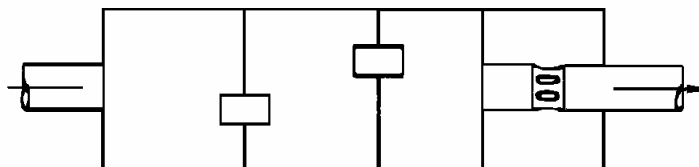


Figura 23.2 - Silenziatore a riflessione e risonatore.

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 contropressione generata, nella tubazione a monte e quindi una diminuzione del rumore nella tubazione stessa che è funzione proprio della velocità del fluido.

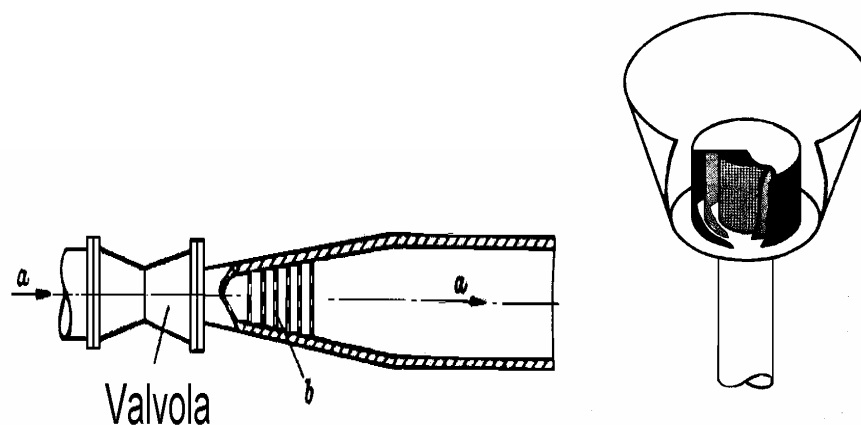


Figura 23.3 - Silenzianti a strozzamento ed espansione.

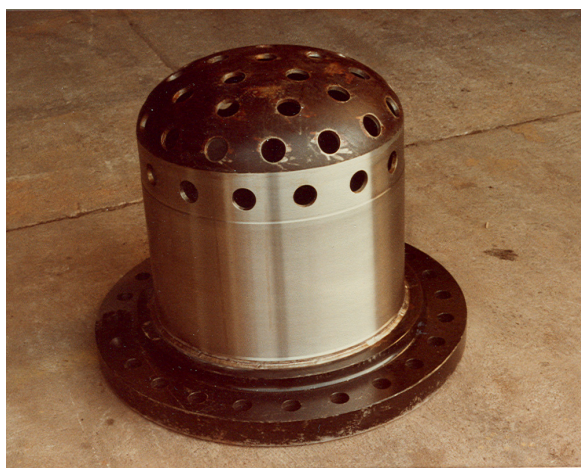


Figura 23.4 - Particolare di un espansore per scarico vapore.

SILENZIATORI 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.

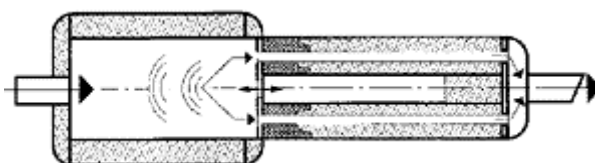


Figura 23.5 - Sezione di un silenziatore risonante.

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.

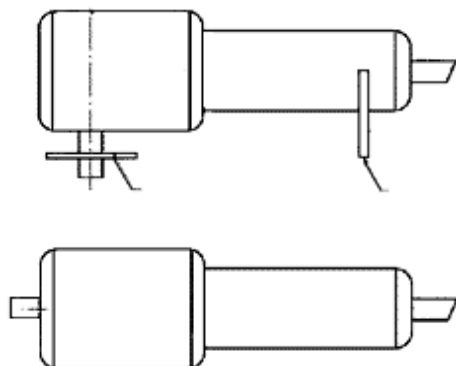


Figura 23.6 - Viste di un silenziatore risonante.

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 vibratori 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. Una rassegna dei sistemi silenzianti realizzati sul campo è riportata nella [Sezione C.5](#) del Terzo Livello.

SCHEDA 24
MISURA E VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI POTENZA SONORA (DI SORGENTI INDUSTRIALI IN AMBIENTE 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 D.P.R. 459/96, 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 9902:2003), le macchine per la lavorazione del legno (ISO 7960:1995), le macchine per ufficio (ISO 7779:2003), 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.

| <i>Ambiente di misura</i> | <i>Camere riverberanti</i> | <i>Camere semiriverberanti</i> | <i>Camere anecoiche e semianecoiche</i> | <i>Spazi aperti, capannoni industriali</i> | |
|---------------------------------------|--|--|--|--|---|
| <i>Grado di precisione</i> | Metodo di laboratorio | Metodo progettuale | Metodo di laboratorio | Metodo progettuale | Metodo di controllo |
| <i>Normativa di riferimento</i> | UNI EN ISO 3741:2001 | UNI EN ISO 3743-1:1997 UNI EN ISO 3743-2:1997 | UNI EN ISO 3745:2004 | UNI EN ISO 3744:1997 | UNI EN ISO 3746:1997 UNI EN ISO 3747:2002 |
| <i>Volume della sorgente in prova</i> | 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 |
| <i>Strumentazione</i> | | | | | |
| fonometri | Classe 1 secondo CEI EN 61672-1 | | Classe 1 secondo CEI EN 61672-1 | | Classe 2 secondo CEI EN 61672-1 Classe 2 secondo CEI EN 61672-1 e 2 Classe 2 secondo cei en 60942 |
| fonointegratori | Classe 1 secondo CEI EN 61672-1 e 2 | | Classe 1 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 | | |

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 microfónica, 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 3746:1997. 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, che con l'art. 46 del D.Lgs. 277/91, 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 costruttore 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:

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

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 termini 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 m^3 , del locale in cui è sistemata la sorgente e T_{60} 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

| <i>Posizione della sorgente</i> | <i>Fattore di direttività Q</i> | <i>Indice di direttività ID (dB)</i> |
|--|--|---|
| 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 semiriverberante 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 m^2 , dell'ambiente in questione.

E' 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

CRITERI 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 3746:1997, par. 8.2 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 3741:2001 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

$$\overline{L}_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{10^{0,1L_{p1}} + 10^{0,1L_{p2}} + \dots + 10^{0,1L_{pn}}}{n} \right) \text{ dB}$$

dove $L_{p1}, L_{p2}, \dots, L_{pn}$ 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:

$$L'_n = L_i + 10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{ dB}$$

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:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ dB}$$

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 $T_0 = 0,5 \text{ s}$

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_{Amax} ; L_{Asmax} : Livello di pressione sonora misurato con dinamica Impulse ovvero Slow e con ponderazione A.

Livello di riferimento, L_{rif} : 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

$$L_{am} = 10 \lg \left[1 / N \sum 10^{(L_{a})j / 10} \right]$$

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 [m^2];

A è l'area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente [m^2]

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 3746:1997, par. 8.2 e riportata nella nota in premessa.

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 $d \geq 1$ 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 $L_{pAS \text{ Max}}$ (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:

$$D_p = L_p \text{ (senza cappottatura)} - L_p \text{ (con cappottatura)} \quad \text{dB}$$

se misurata nelle singole bande di frequenza, oppure come:

$$D_{pA} = L_{pA} \text{ (senza cappottatura)} - L_{pA} \text{ (con cappottatura)} \quad \text{dB(A)}$$

se misurata in ponderazione A.

Allo stesso modo potrà essere determinata l'attenuazione sui livelli impulsivi come:

$$D_{pAS \text{ Max}} = L_{pAS \text{ max}} \text{ (senza cappottatura)} - L_{pAS \text{ max}} \text{ (con cappottatura)} \quad \text{dB(A)}$$

oppure:

$$D_{pPeak} = L_{pPeak} \text{ (senza cappottatura)} - L_{pPeak} \text{ (con cappottatura)} \quad \text{dB(A)}$$

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. 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 3746:1997, par. 8.2 e riportata nella nota in premessa.

Equivalenza delle sorgenti

Possono essere utilizzati tre tipi di sorgente di rumore:

- I) Sorgente naturale
- II) Sorgente naturale controllata
- III) Sorgente artificiale controllata

1 Sorgente naturale

E' 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.

2 Sorgente naturale controllata

E' 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.

3 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 11200:1997.

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

$$D_{IL A} = L_{pA} \text{ (senza barriera)} - L_{pA} \text{ (con barriera)} \quad \text{dB(A)}$$

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

$$\overline{D_{IL}} = L_p \text{ medio senza barriera} - L_p \text{ medio con barriera}$$

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 misura 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:

$$D_{pA} = L_{pA} \text{ (senza silenziatore)} - L_{pA} \text{ (con silenziatore)} \quad \text{dB(A)}$$

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 354:2003.

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, 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

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.

E' 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.L. 277/91).

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:

$$D_p = (L_p)_{camera} - (L_p)_{cabina} \text{ dB}$$

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.

PROCEDIMENTI 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 pressione 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 avere 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, $D_{n,r}$, 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 354:2003, 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 717-2:1997.

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: 2000 Pag. 9 di 20.

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 avere 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 1m e 2 m dal suolo, evitando l'altezza standard di 1,5m 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 717-2:1997.

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 5000 Hz, 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 *registratori* 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: 2000 Pagina 7 di 28).

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 avere 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 $1, 2, \dots, n$.

- **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 $R'_{tr,s}$,**

$$R'_{tr,s} = L_{1,s} - L_2 + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right) - 3 \quad [\text{dB}]$$

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 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 717-2:1997.

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 20m^2 , posizionare il microfono nella zona centrale del locale.
- **Condizione B.** Presenza di ambienti di medie dimensioni, con superficie in pianta maggiori di 20m^2 , 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 $L_{pAS \text{ Max}}$ (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

$$L_i = L_a \quad \text{se } L_i - L_a \geq 10 \text{ dB}$$

$$L_i = 10 \lg \left(10^{L_a/10} - 10^{L_r/10} \right) \quad \text{se } 6 \text{ dB (A)} < L_a - L_r < 10 \text{ dB}$$

$$L_i = L_a - 1.6 \text{ dB (A)} \quad \text{se } L_a - L_r \leq 6 \text{ dB}$$

Il livello del rumore d'impianto deve essere corretto per un fattore K nei casi di :

presenza di componenti tonali $K_f = + 3 \text{ dB}$

presenza di componenti impulsive $K_i = + 3 \text{ dB}$

ambienti non arredati $K_T = - 10 \lg T_{60} / T_0 \text{ dB}$

In tal caso, il Livello di rumore d'impianto corretto, L_{ic} , sarà dato dalla relazione:

$$L_{ic} = L_i + K_f + K_i + K_T$$

Per quanto riguarda i parametri che compaiono nel fattore di correzione K_T per ambienti non arredati, si ricorda che:

T_{00} = 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

VERIFICA DELLO STATO DI APPLICAZIONE DEL D.LGS.277/91 – CAPO IV

In questa Scheda è esposta una lista di controllo destinata in primo luogo ad accompagnare gli operatori dell'Organo di Vigilanza per la verifica dei principali aspetti di prevenzione dei rischi di esposizione al rumore basata sul D.Lgs.277/91.

La Scheda, affidata alla compilazione degli operatori dell'Organo di Vigilanza, può essere utilizzata dai Datori di Lavoro o dai loro consulenti per verificare la corretta applicazione dei disposti del Capo IV del D.Lgs.277/91.

Verifica dello stato d'applicazione del D.Lgs.277/91 capo IV

Protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro

1) *L'Azienda*

- 1.1 Codice Istat (A.Te.Co.) attività prevalente _____
 1.1.1 *produzione prevalente* _____
 1.2 N° occupati a tempo indeterminato (compresi soci, minori e apprendisti) _____
 1.3 N° occupati con contratti di lavoro non a tempo indeterminato (“*altri*”: stagionali, somministrati o interinali-, a contratto o Co.Co.Co- ...) _____
 1.4 N° lavoratori esterni (per appalti/contratti d'opera) _____
 1.5 RLS aziendale territoriale assente

2) *La Valutazione*

- 2.1 E' disponibile la valutazione del rumore (relazione tecnica o “autocertificazione”)?
 Sì No
 2.2 Se sì, con misurazioni? Sì No

Prima valutazione il ___/___/___ ultima valutazione il ___/___/___

Riferendosi all'ultima valutazione effettuata:

Occupati esposti:

- fino ad 80 dB(A) n° _____
 da 80 ad 85 dB(A) n° _____
 da 85 a 90 dB(A) n° _____
 oltre 90 dB(A) / 140 dB_{L_{in}picco} n° _____

- 2.3 Sono stati determinati i L_{EP} (**d o w**) dei singoli lavoratori esposti a più di 80 dB(A)?
 Sì No

2.4 Sono stati identificati sulla valutazione

- 2.4.1 I luoghi di lavoro con L_{Aeq} > 90 dB(A)/140 dB_{L_{in}picco}? Sì No

- 2.4.2 Le macchine con $L_{Aeq} > 85 \text{ dB(A)}/140 \text{ dB}_{Lin \text{ piccolo}}$ Sì No
- 2.5 La valutazione è aggiornata? (assunzioni/dimissioni lavoratori; acquisti/alienazioni di macchine, variazioni del lay-out aziendale) Sì No
- 2.6 I lavoratori “*altri*” sono considerati e classificati in una fascia di rischio?
 Sì No Np.
- 2.7 La relazione tecnica è, in riferimento alla valutazione del rischio dei lavoratori,
 carente sufficiente buona

Indicare le carenze riscontrate:

-
- 2.8 Il DdL ha formalmente redatto e sottoscritto il rapporto di valutazione? Sì No
- 2.9 E' espressamente prevista la periodicità per la ripetizione della valutazione? Sì No
- 2.10 Gli RLS sono stati consultati in merito alla valutazione (scelta del personale competente / condizioni da misurare / azioni da attivare sulla base dei risultati)?
 No L'hanno ricevuta successivamente Sì Non presenti

3) Misure tecniche, organizzative e procedurali (TOP)

- 3.1 Nel Rapporto di valutazione ex D.Lgs.277/91 o nel Documento di valutazione dei rischi ex D.Lgs.626/94 è presente un programma di miglioramento (**PdM**) sul rischio rumore con misure TOP e relativi tempi di esecuzione?
 Sì No Non necessario
- 3.2 Se 3.1=sì, le misure TOP previste nel **PdM** rispetto al rischio del luogo di lavoro sono:
 molto carenti soddisfacenti Non necessarie
- 3.3 Se 3.1=sì, il programma delle misure TOP indicato nel **PdM** è rispettato?
 Sì No Non pertinente
- 3.4 Sono comunque presenti in azienda misure TOP ? Sì No

Quali?

-
- 3.5 Viene applicata una procedura per acquistare macchine meno rumorose?
 No raramente spesso sempre nessun acquisto
- 3.6 Le macchine marcate CE o quelle con $L_{Aeq} > 85 \text{ dB(A)}/140 \text{ dB}_{Linpicco}$ acquistate nell'ultimo anno sono corredate da una adeguata informazione acustica?
 Sì No
- 3.7 Nelle aree con $L_{Aeq} > 90 \text{ dB(A)}/140 \text{ dB}_{Linpicco}$ è esposta una segnaletica appropriata?
 Sì No Non pertinente

- 3.8 Sono concretamente attuabili dall'azienda misure TOP non realizzate né programmate?
- 3.8.1 Alla sorgente (modifiche ciclo produttivo / sostituzione di macchinari / silenziatori / smorzanti ..) Sì No specificare _____
- 3.8.2 Sulla propagazione (Separazione attività rumorose / cabine / schermi / trattamenti ambientali ..) Sì No specificare _____
- 3.8.3 Sull'operatore (cabine di riposo acustico / turni / procedure ..)
Sì No specificare _____

4) **Usa dei DPI per la protezione dell'udito** (da compilare se vi sono esposti con $L_{EP,d} > 85$ dB(A) o comunque in presenza di DPI uditivi)

- 4.1 Il DdL ha fornito DPI a tutti i lavoratori (compresi gli "altri") il cui $L_{EP,d}$ supera gli 85 dB(A)? Sì No
- 4.2 I DPI sono forniti in dotazione individuale o monouso? Sì No
- 4.3 Per la scelta dei DPI sono stati consultati i lavoratori? Sì No
- 4.4 Per la scelta dei DPI sono stati considerati il L_{EP} dei lavoratori, l'attenuazione prodotta ed il loro comfort rispetto alla lavorazione svolta? Sì No
- 4.5 Tutti i lavoratori indossano correttamente i DPI ? Sì No
- 4.6 Esiste una comunicazione scritta che individui le fasi / lavorazioni in cui è obbligatorio l'uso dei DPI? Sì No
- 4.7 L'azienda controlla l'obbligo di impiego dei DPI per chi ha esposizioni superiori ai 90 dBA di $L_{EP,d}$ o specifica prescrizione del medico competente? Sì No
- 4.8 Tra i lavoratori soggetti all'obbligo dell'uso dei DPI, quanti effettivamente li impiegano?
La maggior parte Circa la metà Minima parte
- 4.9 I lavoratori hanno un luogo idoneo dove riporre i DPI in caso di utilizzo non continuato? Sì No

5) **Informazione / Formazione**

- 5.1 I lavoratori a tempo indeterminato sono stati informati (mediante materiale informativo cartaceo o altro) sui rischi da esposizione a rumore e sulle modalità di prevenzione?
Sì No Non necessario

5.2 I lavoratori a tempo indeterminato sono stati formati (in un incontro o in un altro modo appropriato) sui mezzi (collettivi e individuali) e le modalità di prevenzione e protezione dal rumore aziendale?

Sì No Non necessario

5.3. I lavoratori a tempo indeterminato sono stati formati e addestrati circa l'uso corretto e l'utilizzo pratico del DPI per la protezione dell'udito?

Sì No Non necessario

5.4 L'informazione e la formazione sono effettuate anche per tutti i lavoratori "altri"?

Sì No Non pertinente

6) Sorveglianza sanitaria

6.1 I lavoratori a tempo indeterminato sono sottoposti al controllo sanitario preventivo e periodico con i tempi previsti dall'art. 44? Sì No Non pertinente

6.2 Il controllo sanitario preventivo e periodico è effettuato anche per i lavoratori "altri" che ne hanno diritto? Sì No Non pertinente

6.3 I lavoratori con L_{EP} compreso tra 80 e 85 dB(A) sono stati informati del loro diritto a poter richiedere il controllo audiometrico? Sì No Non pertinente

6.4 L'azienda dispone di un resoconto anonimo e collettivo dei risultati degli ultimi controlli audiometrici ("Relazione Sanitaria")? Sì No

7) Esito del controllo (o Attività di vigilanza dell'ASL)

7.1 Prescrizioni ex D.Lgs. 758/96 (che richiamano il Capo IV del D.Lgs.277/91); quante e su che temi:

Valutazione: n° ___ Misure TOP: n° ___ DPI uditivi: n° ___ Sorv. San.: n° ___

Informazione-Formazione: n° ___ Altre (specificare)

7.2 Disposizioni (che richiamano il Capo IV° del D.Lgs.277/91); quante e su che temi:

Valutazione: n° ___ Misure TOP: n° ___ DPI uditivi: n° ___ Sorv. San.: n° ___

Inf.-Formaz.: n° ___ Altre (specificare) _____

7.3 Segnalazioni al Ministero della Attività produttive, al Ministero del Lavoro e alla propria Regione delle inadempienze in tema di rumore riscontrate sulle macchine marcate CE a carico di produttori:

Sì quante ___ No

SCHEDA 27

**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 L_{EP} superiore ad 80 dB(A) o con L_{picco} superiore a 135 dB.

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
(D.Lgs.277/91)**

**da compilare per i reparti/locali con lavoratori che presentano livelli di esposizione a rumore
(L_{EP}) superiori ad 80 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 competente 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 LAeq > 70 dB(A): LpA e, se pertinenti LwA e LpiccoC
- per tutte le lavorazioni con LAeq > 80 dB(A): LAeq, 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_{EP} in dB(A) previsti per le diverse mansioni

Riportare la mappa del rumore previsto nel Reparto/Locale

Reparto/Locale 2

... (ripetere lo Schema del Reparto 1)

Reparto/Locale n

...

_____ li _____ (data)

FIRMA del legale rappresentante

Informazioni

Specifiche di acquisto ed accettazione di macchine, attrezzature ed impianti

Prima di acquistare un nuovo macchinario o impianto è necessario richiedere ai potenziali fornitori i seguenti dati sull'emissione del rumore:

- a) Livelli dichiarati di pressione sonora nei posti di lavoro L_{pA} , e livello massimo di picco ponderato C, $L_{pC,picco}$
- b) Livello dichiarato di potenza sonora ponderato A L_{wA} (se $L_{pA} > 85$ dB)
- c) Riferimento alla norma tecnica oppure, se non esiste tale norma, descrizione completa del metodo di misurazione adottato per la determinazione dei dati dell'emissione di rumore dichiarati

Se il produttore propone livelli di rumore della macchina funzionante a vuoto occorre richiederli i dati del rumore nella condizione di lavoro in cui voi utilizzerete la macchina.

Se il produttore non vi fornisce i dati richiesti, rivolgetevi ad altri.

Se il produttore propone una versione silenziata ed una non silenziata della stessa macchina egli commette un reato e, se vi vende quella non silenziata, vi induce a commettere un secondo reato.

Confrontate i valori della rumorosità delle macchine di diversi produttori scegliendo quella a minore emissione sonora nelle stesse condizioni operative (in primo luogo scegliete sulla base del L_{wA} ; se la potenza acustica non è indicata confrontate il L_{pA}).

Nel Capitolato d'acquisto precisate la possibilità della restituzione della macchina che non rispettasse i valori dichiarati (e le relative penali) ed eseguite sempre il collaudo acustico della macchina.

TERZO LIVELLO

BANCHE DATI

NOTA BENE: Le banche dati riportate di seguito tengono conto delle informazioni che il Gruppo di Lavoro che ha redatto il presente Manuale ha raccolto alla data di aprile 2005.

Chi fosse interessato a fornire ulteriori contributi alle banche dati è invitato a far pervenire le informazioni al Dr. Pietro Nataletti al seguente indirizzo: ISPEL, Dipartimento Igiene del Lavoro, Laboratorio Agenti Fisici, Via di Fontana Candida 1 – 00040 Monteporzio Catone (Roma); fax 06/94181419; e-mail: p.nataletti@dil.ispesl.it

Il Gruppo di Lavoro si riserva di inserire il materiale pervenuto nei successivi aggiornamenti. Si fa presente a tal fine che la documentazione deve contenere almeno le informazioni presenti negli specifici format presenti nelle sezioni in cui è articolata la banca dati.

A1. LEGISLAZIONE COMUNITARIA

1. Direttiva 2003/10/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 6 febbraio 2003, sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore) (diciassettesima direttiva particolare ai sensi dell'art. 16 della direttiva 89/391/CEE). (G.U.C.E. 15 febbraio 2003, n. L 42).
2. Direttiva 2002/30/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 marzo 2002 che istituisce norme e procedure per l'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti della Comunità. (G.U.C.E. 28 marzo 2002).
3. Direttiva 2002/44/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 giugno 2002, sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni) (sedicesima direttiva particolare ai sensi dell'art. 16 della direttiva 89/391/CEE). (G.U.C.E. 6 luglio 2002).
4. Direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 giugno 2002, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. (G.U.C.E. 18 luglio 2002).
5. Direttiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, dell'8 maggio 2000, sul ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto. (G.U.C.E. 3 luglio 2000, n. L 162).
6. Direttiva 98/37/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 22 giugno 1998 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine. (G.U.C.E. 23 luglio 1998, n. L 207). (modificata dalla direttiva 27 ottobre 1998, n. 98/79/CE).
7. Direttiva 94/33/CE del Consiglio, del 22 giugno 1994, relativa alla protezione dei giovani sul lavoro (Recepimento legislativo italiano: D. Lgs. 4 agosto 1999, n. 345). (G.U.C.E. 20 agosto 1994, n. L 216).
8. Direttiva 93/103/CE del Consiglio, del 23 novembre 1993, riguardante le prescrizioni minime di sicurezza e di salute per il lavoro a bordo delle navi da pesca (tredicesima direttiva particolare ai sensi dell'art. 16 della direttiva 89/391/CEE) (Recepimento legislativo italiano: D. Lgs. 17 agosto 1999, n. 298). (G.U.C.E. 13 dicembre 1993, n. L 307). Allegato I - prescrizioni minime di sicurezza e di salute per le navi da pesca nuove [articoli 4 e 6 e articolo 7, paragrafo 1, lettera a)].
9. Direttiva 92/85/CEE del Consiglio, del 19 ottobre 1992, concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute sul lavoro delle lavoratrici gestanti, puerpere o in periodo di allattamento (decima direttiva particolare ai sensi dell'art. 16, paragrafo 1 della direttiva 89/391/CEE) (Recepimento legislativo italiano: D.Lgs. 25 novembre 1996, n. 645). (G.U.C.E. 28 novembre 1992, n. L 348). Allegato I - Elenco non esauriente di agenti, processi e condizioni di lavoro di cui all'articolo 4, paragrafo 1: A. Agenti
 1. Agenti fisici, allorché vengono considerati come agenti che comportano lesioni del feto e/o rischiano di provocare il distacco della placenta, in particolare: .. omissis..: rumore
10. Direttiva 92/58/CEE del Consiglio del 24 giugno 1992 recante le prescrizioni minime per la segnaletica di sicurezza e/o di salute sul luogo di lavoro (nona direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, della direttiva 89/391/CEE) (Recepimento legislativo italiano: D.Lgs. 14 agosto 1996, n. 493). (G.U.C.E. 26 agosto 1992, n. L 245). Allegati I e VII.
11. Direttiva 90/270/CEE del Consiglio del 29 maggio 1990 relativa alle prescrizioni minime in materia di sicurezza e di salute per le attività lavorative svolte su attrezzature munite di videoterminali (quinta direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, della direttiva 89/391/CEE) (Recepimento legislativo italiano: D. Lgs. 19 settembre 1994, n. 626). (G.U.C.E. 21 giugno 1990, n. L 156).

12. Direttiva 89/686/CEE del Consiglio, del 21 dicembre 1989, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative ai dispositivi di protezione individuale. (Recepimento legislativo italiano: D. Lgs. 4 dicembre 1992, n. 475). (G.U.C.E. 30 dicembre 1989, n. L 399). (per le modificazioni alla presente direttiva si vedano le direttive 22 luglio 1993, n. 93/68/CEE, 29 ottobre 1993, n. 93/95/CEE e 3 settembre 1996, n. 96/58/CE).
13. Direttiva 89/656/CEE del Consiglio del 30 novembre 1989 relativa alle prescrizioni minime in materia di sicurezza e salute per l'uso da parte dei lavoratori di attrezzature di protezione individuale durante il lavoro (terza direttiva particolare ai sensi dell'art. 16 della direttiva 89/391/CEE) (Recepimento legislativo italiano: D.Lgs. 19 settembre 1994, n. 626). (G.U.C.E. 30 dicembre 1989, n. L 393).
14. Direttiva 89/336/CEE del Consiglio del 3 maggio 1989 per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative alla compatibilità elettromagnetica) (Recepimento legislativo italiano: D. Lgs. 4 dicembre 1992, n. 476). (G.U.C.E. 23 maggio 1989, n. L 139). (per le modificazioni alla presente direttiva, si vedano le direttive 29 aprile 1991, n. 91/263/CEE, 28 aprile 1992 n. 92/31/CEE e 22 luglio 1993, n. 93/68/CEE).
15. Direttiva 89/106/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione. (Recepimento legislativo italiano: D.P.R. 21 aprile 1993, n. 246). (G.U.C.E. 11 febbraio 1989, n. L 040). (per le modificazioni alla presente direttiva, si veda la direttiva 22 luglio 1993, n. 93/68/CEE).
16. Direttiva 86/188/CEE del Consiglio del 12 maggio 1986 in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dell'esposizione al rumore durante il lavoro. (Recepimento legislativo italiano: D. Lgs. 15 agosto 1991, n. 277) (G.U.C.E. 24 maggio 1986, n. L 137). (per le modifiche alla presente direttiva, si veda la direttiva 7 aprile 1998, n. 98/24/CE).
17. Raccomandazione della Commissione del 6 agosto 2003 concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità. (G.U.C.E: agosto 2003, n. L212)

DIRETTIVE NON PIU' IN VIGORE

Direttiva 95/27/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 29 giugno 1995, che modifica la direttiva 86/662/CEE del Consiglio per la limitazione del **rumore prodotto dagli escavatori idraulici e a funi, apripiste e pale caricatori** (Recepimento legislativo italiano: D.M. 26 giugno 1998, n. 308). (G.U.C.E. 18 luglio 1995, n. L 168)

Direttiva 89/514/CEE della Commissione del 2 agosto 1989 che adegua al progresso tecnico la direttiva 86/662/CEE del Consiglio per la limitazione del **rumore prodotto dagli escavatori idraulici e a funi, apripista e pale caricatori.** (Recepimento legislativo italiano: D.Lgs. 27 gennaio 1992, n. 135). (G.U.C.E. 30 agosto 1989, n. L 253).

Direttiva 88/181/CEE del Consiglio del 22 marzo 1988 che modifica la direttiva 84/538/CEE per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative al livello di potenza acustica ammesso dei tosaerba. (Recepimento legislativo italiano: D.Lgs. 27 gennaio 1992, n. 136). (G.U.C.E. 26 marzo 1988, n. L 081).

Direttiva 86/662/CEE del Consiglio del 22 dicembre 1986 per la limitazione del rumore prodotto dagli escavatori idraulici e a funi, apripiste e pale caricatrici. (Recepimento legislativo italiano: D.Lgs. 27 gennaio 1992, n. 135). (G.U.C.E. 31 dicembre 1986, n. L 384). (Per l'abrogazione, si veda la direttiva 8 maggio 2000, n. 2000/14/CE.)

Direttiva 85/405/CEE della Commissione dell'11 luglio 1985 che adegua al progresso tecnico la direttiva 79/113/CEE del Consiglio per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative alla determinazione delle emissioni sonore delle macchine e dei materiali per cantieri. (Recepimento legislativo italiano: D.M. 28 novembre 1987, n. 588) (G.U.C.E. 30 agosto 1985, n. L 233).

Direttiva 84/534/CEE del Consiglio del 17 settembre 1984 per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative al livello di potenza acustica ammesso delle gru a torre (Recepimento legislativo italiano: D.M. 28 novembre 1987, n. 588). (G.U.C.E. 19 novembre 1984, n. L 300). (Per l'abrogazione, si veda la direttiva 8 maggio 2000, n. 2000/14/CE.

Direttiva 81/1051/CEE del Consiglio, del 7 dicembre 1981, che modifica la direttiva 79/113/CEE per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative alla determinazione delle emissioni sonore delle macchine e dei materiali per cantieri (Recepimento legislativo italiano: D.M. 28 novembre 1987, n. 588). (G.U.C.E. 30 dicembre 1981, n. L 376).

Direttiva 79/113/CEE del Consiglio, del 19 dicembre 1978, per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative alla determinazione delle emissioni sonore delle macchine e dei materiali per cantieri. (Recepita col D.M. 28 novembre 1987, n. 588) (G.U.C.E. 8 febbraio 1979, n. L 033).

A2. LEGISLAZIONE NAZIONALE E REGIONALE

NORMATIVA NAZIONALE

- **Decreto Legislativo del 15/08/1991, n.277** “Attuazione delle direttive n. 80/1107/CEE, n.82/605/CEE, n. 83/477/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell’art.7 della legge 30/07/1990, n. 212” e successivi aggiornamenti e integrazioni; Supplemento Ordinario n. 53 alla G.U. n. 200 del 27.8.1991;
- **Decreto Legislativo 4 dicembre 1992, n. 475** “Attuazione della direttiva 89/686/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1989 in materia di ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relativa ai dispositivi di protezione individuale”; G.U. n. 289 del 9.12.1992;
- **Decreto Legislativo del 19/09/1994, n. 626** “Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro” e successivi aggiornamenti e integrazioni; Supplemento Ordinario n. 141 alla G.U. n. 265 del 12.11.1994;
- **Decreto Presidente della Repubblica del 24/07/1996, n. 459** “Regolamento per l’attuazione delle direttive 89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE e 93/68/CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine”; Supplemento Ordinario n. 459 alla G.U. n. 209 del 6.9.1996;
- **Decreto Legislativo del 14/08/96, n. 493** “Attuazione della direttiva 92/58/CEE concernente le prescrizioni minime per la segnaletica di sicurezza e/o di salute sul luogo di lavoro”; G.U. n. 223 del 23.9.1996;
- **Decreto Legislativo del 14/08/1996, n. 494** “Attuazione della direttiva 92/57/CEE concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili” e successivi aggiornamenti e integrazioni; G.U. n. 223 del 23.9.1996;
- **Legge 196 del 24/6/97** “Norme in materia di promozione dell’occupazione”; Supplemento Ordinario n. 196 alla G.U. n. 154 del 4.7.1997;
- **Decreto Legislativo del 04/08/1999, n. 345** “Attuazione della direttiva 94/33/CE relativa alla protezione dei giovani sul lavoro”; G.U. n. 237 del 8.10.1999;
- **Decreto Legislativo del 17/08/1999, n. 298** “Attuazione della direttiva 93/103/CEE relativa alle prescrizioni minime di sicurezza e di salute per il lavoro a bordo delle navi da pesca”; G.U. n. 201 del 27.8.1999;
- **Decreto Legislativo del 18/08/2000, n. 262** “Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 345, in materia di protezione dei giovani sul lavoro, a norma dell’articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128”; G.U. n. 224 del 25.9.2000;
- **Decreto del Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale del 02/05/01** “Criteri per l’individuazione e l’uso dei dispositivi di protezione individuale (DPI)”; Supplemento Ordinario n. 226 alla G.U. n. 209 del 8.9.2001;
- **Decreto Legislativo del 26/03/2001, n. 151** “Testo unico delle disposizioni legislative in materia di tutela e sostegno della maternità e della paternità, a norma dell’articolo 15 della legge 8 marzo 2000, n.53”; Supplemento Ordinario n. 93/L alla G.U. n. 96 del 26.4.2001;
- **Decreto Legislativo del 04/09/2002 n. 262** “Attuazione della direttiva 2000/14/CE concernente l’emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all’aperto”; Supplemento Ordinario n. 214/L alla G.U. n. 273 del 21.12.2002;
- **Ministero del Lavoro (Prot. n.21490/RLA.5)**, “Richiesta di chiarimenti sugli adempimenti di valutazione e di prevenzione in materia di rumore”, Roma 1992;

- Ministero del Lavoro (Prot. n.21939-pr 14), “Applicazione del D.Lgs.277/91 – Valutazione del rischio rumore - Parere tecnico-legislativo”, Roma 1993.

NORMATIVA REGIONALE

- Circolare 45/92: “Primi indirizzi applicativi del Decreto Legislativo n 277 del 15 Agosto 1991”, Assessorato Sanità – Igiene – Ambiente della Regione Lazio, Roma 1992
- Circolare 36/93: “D.Lgs.277 del 15 agosto 1991 – Applicazione delle norme riguardanti la rumorosità con particolare riferimento alle attività lavorative con esposizione discontinua, ed alle problematiche connesse alla informazione e formazione dei lavoratori”, Assessorato Sanità – Igiene – Ambiente della Regione Lazio, Roma 1993
- Circolare 35/SAN/93: “Linee guida per l’applicazione del D.Lgs.277/91 in ordine ai rischi derivanti dall’esposizione lavorativa a piombo, amianto e rumore”, Assessorato Sanità e Igiene della Regione Lombardia, Milano 1993
- Circolare Prot. n.5144/48/768 del 03/08/94: “Linee guida per l’applicazione del D.Lgs.277/91 – Capo IV”, Assessorato Assistenza Sanitaria della Regione Piemonte, Torino 1994
- “D.L.277 del 15/08/91: primi indirizzi applicativi”, Dipartimento Sicurezza Sociale della Regione Toscana, Firenze 22/02/1992
- “Decreto legislativo 15 agosto 1991, n.277 – Rischio rumore. Raccolta indirizzi applicativi della Giunta regionale toscana per la prevenzione del rischio rumore”, Dipartimento Sicurezza Sociale della Regione Toscana, Firenze luglio 1993
- Circolare 12/92: “Applicazione del D.Lgs.277 del 15/08/91 relativo alla protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dall’esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro”, Assessorato alla Sanità della Regione Emilia-Romagna, Bologna 1992
- Circolare 23/93: “Indicazioni sull’applicazione del Capo IV , D.Lgs.277/91 - Protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro”, Assessorato alla Sanità della Regione Emilia-Romagna, Bologna 1993
- Circolare 3/93: “Ulteriori indicazioni applicative del Capo IV del D.Lgs.277/91. Protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro”, Assessorato alla Sanità della Regione Emilia-Romagna, Bologna 1995
- “Linee guida per l’effettuazione e la registrazione dei Rapporti di Valutazione dei rischi Piombo, Amianto e Rumore, ai sensi del D.Lgs.277/91”, Coordinamento dei Servizi di Medicina Preventiva e Igiene del Lavoro della provincia di Modena, Modena 1992
- “Linee guida sull’applicazione del D.Lgs.494/96–Cantieri temporanei o mobili”, Coordinamento delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano, approvate in data 09/10/97
- “Integrazioni operative predisposte dalla Task-Force dell’Assessorato alla Sanità della Regione Emilia-Romagna al documento <Linee guida sull’applicazione del D.Lgs.494/96–Cantieri temporanei o mobili> prodotto dal Coordinamento delle Regioni e delle Province Autonome ed approvato in data 09/10/97”, Bologna 1997

A3. NORMATIVA TECNICA INTERNAZIONALE

1. STANDARDS ISO

1.1 Misurazioni acustiche e determinazione del rumore in generale

- ISO 31-7:1992 Quantities and units -- Part 7: Acoustics.
- ISO 1683:1983 Acoustics -- Preferred reference quantities for acoustic levels.
- ISO 1996-1:2003 Acoustics -- Description and measurement of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures.
- ISO 1996-2:1987 Acoustics -- Description and measurement of environmental noise -- Part 2: Acquisition of data pertinent to land use.
- ISO 1996-3:1987 Acoustics -- Description and measurement of environmental noise -- Part 3: Application to noise limits.
- ISO 1999:1990 Acoustics -- Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment.
- ISO 3382:1997 Acoustics -- Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
- ISO 3743-2:1994 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure -- Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields -- Part 2: Methods for special reverberation test rooms.
- ISO 4869-1:1990 Acoustics -- Hearing protectors -- Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation.
- ISO/TR 4869-3:1989 Acoustics -- Hearing protectors -- Part 3: Simplified method for the measurement of insertion loss of ear-muff type protectors for quality inspection purposes.
- ISO/TR 4869-4:1998 Acoustics -- Hearing protectors -- Part 4: Measurement of effective sound pressure levels for level-dependent sound-restoration ear-muffs.
- ISO 9612:1997 Acoustics -- Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment.
- ISO/TS 13474:2003 Acoustics -- Impulse sound propagation for environmental noise assessment.
- ISO/DIS 16032 Acoustics -- Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings -- Engineering method.

1.2 Rumore emesso da macchine ed apparecchiature

- ISO 230-5:2000 Test code for machine tools -- Part 5: Determination of the noise emission.
- ISO 362:1998 Acoustics -- Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles -- Engineering method.
- ISO/CD 362 Advanced test cycle for the measurement of noise emitted by road vehicles, including consideration of measurement uncertainty and modes of operation.

- ISO 1680:1999 Acoustics -- Test code for the measurement of airborne noise emitted by rotating electrical machines.
- ISO 2151:2004 Acoustics – Noise test code for compressors and vacuum pumps -- Engineering method (grade 2).
- ISO 2923:1996 Acoustics -- Measurement of noise on board vessels.
- ISO 3095:1975 Acoustics -- Measurement of noise emitted by railbound vehicles.
- ISO 3381:1976 Acoustics -- Measurement of noise inside railbound vehicles.
- ISO/DIS 3381 Railway applications -- Acoustics -- Measurement of noise inside railbound vehicles.
- ISO 3891:1978 Acoustics -- Procedure for describing aircraft noise heard on the ground.
- ISO 4412-1:1991 Hydraulic fluid power -- Test code for determination of airborne noise levels -- Part 1: Pumps.
- ISO 4412-2:1991 Hydraulic fluid power -- Test code for determination of airborne noise levels -- Part 2: Motors.
- ISO 4412-3:1991 Hydraulic fluid power -- Test code for determination of airborne noise levels -- Part 3: Pumps -- Method using a parallelepiped microphone array.
- ISO 4871:1996 Acoustics -- Declaration and verification of noise emission values of machinery and equipment.
- ISO 4872:1978 Acoustics -- Measurement of airborne noise emitted by construction equipment intended for outdoor use -- Method for determining compliance with noise limits.
- ISO 5128:1980 Acoustics -- Measurement of noise inside motor vehicles.
- ISO 5130:1982 Acoustics -- Measurement of noise emitted by stationary road vehicles -- Survey method.
- ISO 5131:1996 Acoustics -- Tractors and machinery for agriculture and forestry -- Measurement of noise at the operator's position -- Survey method.
- ISO 5135:1997 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise from air-terminal devices, air-terminal units, dampers and valves by measurement in a reverberation room.
- ISO 5136:2003 Acoustics - Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices - In-duct method.
- ISO 6393:1998 Acoustics -- Measurement of exterior noise emitted by earth-moving machinery -- Stationary test conditions .
- ISO 6394:1998 Acoustics -- Measurement at the operator's position of noise emitted by earth-moving machinery -- Stationary test conditions
- ISO 6395:1988 Acoustics -- Measurement of exterior noise emitted by earth-moving machinery -- Dynamic test conditions.
- ISO 6396:1992 Acoustics -- Measurement at the operator's position of noise emitted by earth-moving machinery -- Dynamic test conditions.
- ISO 6798:1995 Reciprocating internal combustion engines -- Measurement of emitted airborne noise -- Engineering method and survey method.
- ISO 7182:1984 Acoustics -- Measurement at the operator's position of airborne noise emitted by chain saws.

- ISO 7216:1992 Acoustics -- Agricultural and forestry wheeled tractors and self-propelled machines -- Measurement of noise emitted when in motion.
- ISO 7574-1:1985 Acoustics -- Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment -- Part 1: General considerations and definitions.
- ISO 7574-2:1985 Acoustics -- Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment -- Part 2: Methods for stated values for individual machines.
- ISO 7574-3:1985 Acoustics -- Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment -- Part 3: Simple (transition) method for stated values for batches of machines.
- ISO 7574-4:1985 Acoustics -- Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment -- Part 4: Methods for stated values for batches of machines.
- ISO 7779/Amd1:2003 Acoustics - Measurement of airborne noise emitted by computer and business equipment - Amendment 1: Noise measurement specification for CD/DVD-ROM drives.
- ISO/CD TS 7849 Acoustics -- Estimation of airborne noise emitted by machinery using vibration measurement.
- ISO/TR 7849:1987 Acoustics -- Estimation of airborne noise emitted by machinery using vibration measurement.
- ISO 7917:1987 Acoustics -- Measurement at the operator's position of airborne noise emitted by brush saws.
- ISO 7960:1995 Airborne noise emitted by machine tools -- Operating conditions for woodworking machines.
- ISO 8528-10:1998 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets -- Part 10: Measurement of airborne noise by the enveloping surface method.
- ISO 8960:1991 Refrigerators, frozen-food storage cabinets and food freezers for household and similar use -- Measurement of emission of airborne acoustical noise.
- ISO 9295:1988 Acoustics -- Measurement of high-frequency noise emitted by computer and business equipment.
- ISO 9296:1988 Acoustics -- Declared noise emission values of computer and business equipment.
- ISO 10494:1993 Gas turbines and gas turbine sets -- Measurement of emitted airborne noise -- Engineering/survey method.
- ISO 11205:2003 Acoustics -- Noise emitted by machinery and equipment -- Engineering method for the determination of emission sound pressure levels in situ at the work station and at other specified positions using sound intensity.
- ISO 11094:1991 Acoustics -- Test code for the measurement of airborne noise emitted by power lawn mowers, lawn tractors, lawn and garden tractors, professional mowers, and lawn and garden tractors with mowing attachments.
- ISO 12001:1996 Acoustics -- Noise emitted by machinery and equipment -- Rules for the drafting and presentation of a noise test code.

- ISO 15739:2003 Photography - Electronic still-picture imaging - Noise measurements.
- ISO/CD 20361 Liquid pumps and pumps units -- Noise test code -- Grades 2 and 3 of accuracy.
- ISO/DIS 22868.2 Noise test code for portable hand-held forestry machines with internal combustion engine -- Determination of A-weighted emission sound pressure levels at the operator's position, and the sound power level -- Engineering method (Grade 2).

1.3 Rumore emesso da mezzi di trasporto

- ISO 362:1998 Acoustics -- Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles -- Engineering method (available in English only).
- ISO 2922:2000 Acoustics -- Measurement of airborne sound emitted by vessels on inland waterways and harbours.
- ISO 2923:1996 Acoustics -- Measurement of noise on board vessels.
- ISO 3095:1975 Acoustics -- Measurement of noise emitted by railbound vehicles.
- ISO 3381:1976 Acoustics -- Measurement of noise inside railbound vehicles.
- ISO/DIS 3381 Railway applications -- Acoustics -- Measurement of noise inside railbound vehicles.
- ISO 5128:1980 Acoustics -- Measurement of noise inside motor vehicles.
- ISO 5129:2001 Acoustics -- Measurement of sound pressure levels in the interior of aircraft during flight.
- ISO 5130:1982 Acoustics -- Measurement of noise emitted by stationary road vehicles -- Survey method.
- ISO/AWI 5130 Acoustics -- Measurement of exhaust sound level emitted by stationary road vehicles.
- ISO 7188:1994 Acoustics -- Measurement of noise emitted by passenger cars under conditions representative of urban driving.
- ISO 9645:1990 Acoustics - Measurement of noise emitted by two-wheeled mopeds in motion - Engineering method.
- ISO 10844:1994 Acoustics -- Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles.

1.4 Isolamento e controllo del rumore

- ISO 140-2:1991 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 2: Determination, verification and application of precision data.
- ISO 140-9:1985 Acoustics -- Measurements of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 9: Laboratory measurement of room-to-room airborne sound insulation of a suspended ceiling with a plenum above it.
- ISO 140-10:1991 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 10: Laboratory measurement of airborne sound insulation of small building elements.

- ISO/WD 140-11 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 11: Laboratory measurements of the reduction impact noise by floor coverings on lightweight frame standard floors.
- ISO/TR 140-13:1997 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 13: Guidelines (available in English only).
- ISO/DIS 140-14 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 14: Additional requirements and guidelines for special situations in the field.
- ISO/WD 140-16 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 16: Laboratory measurement of the sound reduction index improvement by additional lining.
- ISO/WD 140-17 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 17: Evaluation of the total loss factor.
- ISO/CD 140-18 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 18: Laboratory measurement of sound generated by rainfall on building elements.
- ISO 9052-1:1989 Acoustics -- Determination of dynamic stiffness -- Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.
- ISO 9053:1991 Acoustics -- Materials for acoustical applications -- Determination of airflow resistance.
- ISO 9613-1:1993 Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
- ISO 9613-2:1996 Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation.
- ISO/DIS 10052 Acoustics -- Field measurements of airborne and impact sound insulation and of equipment sound -- Survey method.
- ISO 10053:1991 Acoustics -- Measurement of office screen sound attenuation under specific laboratory conditions.
- ISO/AWI 10140-1 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Laboratory test facilities.
- ISO/AWI 10140-2 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 2: Airborne measurement principles.
- ISO/AWI 10140-3 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 3: Impact measurement principles.
- ISO/AWI 10140-4 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 4: Laboratory measurements.
- ISO/AWI 10140-5 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 5: Qualifications.
- ISO/AWI 10140-6 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 6: Test code principles.
- ISO 10534-1:1996 Acoustics -- Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -- Part 1: Method using standing wave ratio.

- ISO 10534-2:1998 Acoustics -- Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -- Part 2: Transfer-function method.
- ISO 10846-3:2002 Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 3: Indirect method for determination of the dynamic stiffness of resilient supports for translatory motion.
- ISO 10846-4:2003 Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 4: Dynamic stiffness of elements other than resilient supports for translatory motion.
- ISO/WD 10846-5 Acoustics and vibration -- Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements -- Part 5: Driving point method for determination of the low frequency dynamic stiffness of elastic supports for translatory motion.
- ISO 10847:1997 Acoustics -- In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types.
- ISO/AWI 10848-1 Acoustics -- Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact noise between adjoining rooms -- Part 1: Frame document.
- ISO/DIS 10848-2 Acoustics -- Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact noise between adjoining rooms -- Part 2: Application to light elements when the junction has a small influence.
- ISO/DIS 10848-3 Acoustics -- Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact noise between adjoining rooms -- Part 3: Application to light elements when the junction has a substantial influence.
- ISO/WD 10848-4 Acoustics -- Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact noise between adjoining rooms -- Part 4: Application to all other cases.
- ISO 11546-1:1995 Acoustics -- Determination of sound insulation performances of enclosures -- Part 1: Measurements under laboratory conditions (for declaration purposes).
- ISO 11546-2:1995 Acoustics -- Determination of sound insulation performances of enclosures -- Part 2: Measurements in situ (for acceptance and verification purposes).
- ISO 10846-3:2002 Acoustics and vibration -- Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements -- Part 3: Indirect method for determination of the dynamic stiffness of resilient supports for translatory motion.
- ISO/FDIS 10846-4 Acoustics and vibration -- Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements -- Part 4: Dynamic stiffness of elements other than resilient supports for translatory motion.
- ISO 11820:1996 Acoustics -- Measurements on silencers in situ.
- ISO 11821:1997 Acoustics -- Measurement of the in situ sound attenuation of a removable screen.
- ISO 13472-1:2002 Acoustics -- Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ -- Part 1: Extended surface method.
- ISO/AWI 13472-3 Acoustics -- Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ -- Part 3: Spot method for low absorption surfaces.
- ISO 14163:1998 Acoustics - Guidelines for noise control by silencers.
- ISO 15186-1:2000 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity -- Part 1: Laboratory measurements.

- ISO 15186-2:2003 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity -- Part 2: Field measurements (available in English only).
- ISO 15186-3:2002 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity -- Part 3: Laboratory measurements at low frequencies (available in English only).
- ISO 15665:2003 Acoustics -- Acoustic insulation for pipes, valves and flanges.
- ISO 15664:2001 Acoustics -- Noise control design procedures for open plant.
- ISO 15667:2000 Acoustics -- Guidelines for noise control by enclosures and cabins.
- ISO/DIS 15712-1 Building acoustics -- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements -- Part 1: Airborne sound insulation between rooms.
- ISO/DIS 15712-2 Building acoustics -- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements -- Part 2: Impact sound insulation between rooms.
- ISO/DIS 15712-3 Building acoustics -- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements -- Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.
- ISO/DIS 15712-4 Building acoustics -- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements -- Part 4: Transmission of indoor sound to the outside.
- ISO 17624:2004 Acoustics -- Guidelines for noise control in offices and workrooms by means of acoustical screens.

1.5 Altro

- ISO/TR 3352:1974 Acoustics -- Assessment of noise with respect to its effect on the intelligibility of speech.
- ISO 3891:1978 Acoustics -- Procedure for describing aircraft noise heard on the ground.
- ISO/TR 4870:1991 Acoustics -- The construction and calibration of speech intelligibility tests.
- ISO 5136:2003 Acoustics -- Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices -- In-duct method.
- ISO 8687:1987 Cinematography -- Signal-to-noise ratio of 8 mm Type S, 16 mm and 35 mm variable-area photographic sound records -- Method of measurement.
- ISO 8960:1991 Refrigerators, frozen-food storage cabinets and food freezers for household and similar use -- Measurement of emission of airborne acoustical noise.
- ISO 9568:1993 Cinematography -- Background acoustic noise levels in theatres, review rooms and dubbing rooms .
- ISO 9611:1996 Acoustics -- Characterization of sources of structure-borne sound with respect to sound radiation from connected structures -- Measurement of velocity at the contact points of machinery when resiliently mounted.
- ISO 9645:1990 Acoustics -- Measurement of noise emitted by two-wheeled mopeds in motion -- Engineering method.

- ISO 10302:1996 Acoustics -- Method for the measurement of airborne noise emitted by small air-moving devices.
- ISO/AWI 10302-1 Acoustics -- Measurement of noise and vibration of small air-moving devices -- Part 1: Airborne noise emission.
- ISO 10996:1999 Photography -- Still-picture projectors -- Determination of noise emissions (available in English only).
- ISO/AWI 12605 Cinematography -- Measurement of ambient noise from motion-picture film cameras.
- ISO/TS 13474:2003 Acoustics -- Impulse sound propagation for environmental noise assessment.
- ISO 14257:2001 Acoustics -- Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance.
- ISO/TS 15666:2003 Acoustics -- Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys.
- ISO 15739:2003 Photography -- Electronic still-picture imaging -- Noise measurements (available in English only).
- ISO 15744:2002 Hand-held non-electric power tools -- Noise measurement code -- Engineering method (grade 2.)
- ISO/WD 15762 Road vehicles -- Test procedure for measuring noise generated by a deploying airbag.

1.6 Vibrazioni

- ISO 1925:2001 Mechanical vibration -- Balancing -- Vocabulary.
- ISO 1940-1:2003 Mechanical vibration -- Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state -- Part 1: Specification and verification of balance tolerances.
- ISO 1940-2:1997 Mechanical vibration - Balance quality requirements of rigid rotors - Part 2: Balance errors.
- ISO 2017:1982 Vibration and shock - Isolators - Procedure for specifying characteristics.
- ISO 2041:1990 Vibration and shock - Vocabulary.
- ISO 2953:1999 Mechanical vibration -- Balancing machines -- Description and evaluation.
- ISO 3719:1994 Mechanical vibration - Symbols for balancing machines and associated instrumentation.
- ISO 4866:1990 Mechanical vibration and shock - Vibration of buildings - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings.
- ISO 6807:2003 Rubber hoses and hose assemblies for rotary drilling and vibration applications - Specification.
- ISO 7475:2002 Mechanical vibration - Balancing machines - Enclosures and other protective measures for the measuring station.
- ISO 8569:1996 Mechanical vibration and shock - Measurement and evaluation of shock and vibration effects on sensitive equipment in buildings.

- ISO/TR 7849:1987 Acoustics - Estimation of airborne noise emitted by machinery using vibration measurement.
- ISO 10137:1992 Bases for design of structures -- Serviceability of buildings against vibration.
- ISO/TS 10811-1:2000 Mechanical vibration and shock -- Vibration and shock in buildings with sensitive equipment -- Part 1: Measurement and evaluation.
- ISO/TS 10811-2:2000 Mechanical vibration and shock -- Vibration and shock in buildings with sensitive equipment -- Part 2: Classification.
- ISO 10846-1:1997 Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 1: Principles and guidelines.
- ISO 10846-2:1997 Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 2: Dynamic stiffness of elastic supports for translatory motion - Direct method.
- ISO 10846-3:2002 Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 3: Indirect method for determination of the dynamic stiffness of resilient supports for translatory motion.
- ISO 10846-4:2003 Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 4: Dynamic stiffness of elements other than resilient supports for translatory motion.
- ISO 11342:1998 Mechanical vibration - Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors
- ISO 13373-1:2002 Condition monitoring and diagnostics of machines - Vibration condition monitoring - Part 1: General procedures.
- ISO 13753:1998 Mechanical vibration and shock - Hand-arm vibration - Method for measuring the vibration transmissibility of resilient materials when loaded by the hand-arm system.
- ISO 14694:2003 Industrial fans - Specifications for balance quality and vibration levels.
- ISO 14695:2003 Industrial fans - Method of measurement of fan vibration.
- ISO 14839-1:2002 Mechanical vibration - Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings - Part 1: Vocabulary.
- ISO 14963:2003 Mechanical vibration and shock - Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts.
- ISO 14964:2000 Mechanical vibration and shock -- Vibration of stationary structures -- Specific requirements for quality management in measurement and evaluation of vibration.
- ISO 15242-1:2004 Rolling bearings - Measuring methods for vibration - Part 1: Fundamentals.
- ISO/WD 20283-2 Mechanical vibration -- Vibratory noise measurements and acceptance criteria of shipboard equipment -- Part 2: Guidelines for the measurement, evaluation and reporting of global structural vibration in merchant ships.
- ISO/CD 20283-3 Mechanical vibration -- Vibratory noise measurements and acceptance criteria of shipboard equipment -- Part 3: Vibratory acceleration measurement and acceptance criteria of shipboard equipment.

2 STANDARDS IEC

2.1 Rumore

- IEC 60034-9 Ed. 4.0 b:2003 Rotating electrical machines - Part 9: Noise limits.
- IEC 60151-4 Ed. 1.0 b:1963 Measurements of the electrical properties of electronic tubes and valves. Part 4: Methods of measuring noise factor.
- IEC 60151-18 Ed. 1.0 b:1968 Measurements of the electrical properties of electronic tubes and valves. Part 18: Methods of measurement of noises due to mechanical or acoustic excitations.
- IEC 60268-1-am1 (1988-01) Amendment 1 - Sound system equipment. Part 1: General.
- IEC 60268-1-am2 (1988-01) Amendment 2 - Sound system equipment. Part 1: General.
- IEC 60268-1 (1985-01) Sound system equipment. Part 1: General. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-2 (1987-06) Sound system equipment. Part 2: Explanation of general terms and calculation methods. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-2-am1 (1991-05) Amendment 1 - Sound system equipment. Part 2: Explanation of general terms and calculation method.
- IEC 60268-3 (2000-08) Sound system equipment - Part 3: Amplifiers. Maintenance Result Date: 2005.
- IEC 60268-4 (2004-02) Sound system equipment - Part 4: Microphones. Maintenance Result Date: 2008.
- IEC 60268-5 (2003-05) Sound system equipment - Part 5: Loudspeakers. Maintenance Result Date: 2005.
- IEC 60268-6 (1971-01) Sound system equipment. Part 6: Auxiliary passive elements. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-7 (1996-02) Sound system equipment - Part 7: Headphones and earphones. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-8 (1973-01) Sound system equipment. Part 8: Automatic gain control devices. Maintenance Result Date: 2013.
- IEC 60268-9 (1977-01) Sound system equipment. Part 9: Artificial reverberation, time delay and frequency shift equipment. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-10 (1991-03) Sound system equipment - Part 10: Peak programme level meters. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-11 (1987-03) Sound system equipment. Part 11: Application of connectors for the interconnection of sound system components. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-11-am1 (1989-12) Amendment 1 - Sound system equipment. Part 11: Application of connectors for the interconnection of sound system components.
- IEC 60268-11-am2 (1991-10) Amendment 2 - Sound system equipment. Part 11: Application of connectors for the interconnection of sound system components.

- IEC 60268-12 (1987-03) Sound system equipment. Part 12: Application of connectors for broadcast and similar use. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-12-am1 (1991-05) Amendment 1 - Sound system equipment. Part 12: Application of connectors for broadcast and similar use.
- IEC 60268-12-am2 (1994-11) Amendment 2 - Sound system equipment. Part 12: Application of connectors for broadcast and similar use.
- IEC/TR3 60268-13 (1998-03) Sound system equipment - Part 13: Listening tests on loudspeakers.
- IEC 60268-14 (1980-01) Sound system equipment. Part 14: Circular and elliptical loudspeakers; outer frame diameters and mounting dimensions. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-16 (2003-05) Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Maintenance Result Date: 2005.
- IEC 60268-17 Corr.1 (1991-09) Corrigendum 1 - Sound system equipment. Part 17: Standard volume indicators. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC 60268-17 (1990-10) Sound system equipment. Part 17: Standard volume indicators. Maintenance Result Date: 2007.
- IEC/TR3 60268-18 (1995-11) Sound system equipment - Part 18: Peak programme level meters - Digital audio peak level meter.
- IEC 60534-8-1 Ed. 1.0 b:1986 Industrial-process control valves. Part 8: Noise considerations. Section One: Laboratory measurement of noise generated by aerodynamic flow through control valves.
- IEC 60534-8-2 Ed. 1.0 b:1991 Industrial-process control valves - Part 8: Noise considerations - Section 2: Laboratory measurement of noise generated by hydrodynamic flow through control valves.
- IEC 60534-8-3 Ed. 2.0 b:2000 Industrial-process control valves - Part 8-3: Noise considerations - Control valve aerodynamic noise prediction method.
- IEC 60534-8-4 Ed. 1.0 b:1994 Industrial-process control valves - Part 8: Noise considerations - Section 4: Prediction of noise generated by hydrodynamic flow.
- IEC 60704-3 Ed. 1.0 b:1992 Test code for the determination of airborne acoustical noise emitted by household and similar electrical appliances - Part 3: Procedure for determining and verifying declared noise emission values.
- IEC 60704-2-9 Ed. 1.0 b:2003 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-9: Particular requirements for electric hair care appliances.
- IEC 60704-2-8 Ed. 1.0 b:1997 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2: Particular requirements for electric shavers.
- IEC 60704-2-7 Ed. 1.0 b:1997 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2: Particular requirements for fans.
- IEC 60704-2-6 Ed. 2.0 en:2003 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-6: Particular requirements for tumble dryers.

- IEC 60704-2-5 Ed. 1.0 b:1989 Test code for the determination of airborne acoustical noise emitted by household and similar electrical appliances. Part 2: Particular requirements for room heaters of the storage type.
- IEC 60704-2-4 Ed. 2.0 b:2001 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-4: Particular requirements for washing machines and spin extractors.
- IEC 60704-2-3 Ed. 2.0 b:2004 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-3: Particular requirements for dishwashers.
- IEC 60704-2-2 Ed. 1.0 b:1985 Test code for the determination of airborne acoustical noise emitted by household and similar electrical appliances. Part 2: Particular requirements for forced draught convection heaters.
- IEC 60704-2-13 Ed. 1.0 b:2000 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-13: Particular requirements for range hoods.
- IEC 60704-2-11 Ed. 1.0 b:1998 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-11: Particular requirements for electrically-operated food preparation.
- IEC 60704-2-10 Ed. 1.0 b:2004 "Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-10: Particular requirements for electric cooking ranges, ovens, grills, microwave ovens and any combination of these".
- IEC 60704-2-1 Ed. 2.0 b:2000 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-1: Particular requirements for vacuum cleaners.
- IEC 60704-1 Ed. 2.0 b:1997 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 1: General requirements.
- IEC 60942 (2003-01) Electroacoustics - Sound calibrators. Maintenance Result Date: 2005.
- IEC 61063 Ed. 1.0 b:1991 Acoustics - Measurement of airborne noise emitted by steam turbines and driven machinery.
- IEC 61260 (1995-08) Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters. Maintenance Result Date: 2005.
- IEC 61260-am1 (2001-09) Amendment 1 - Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band. Filters Maintenance Result Date: 2005.
- IEC 61265 Ed. 1.0 b:1995 Electroacoustics - Instruments for measurement of aircraft noise - Performance requirements for systems to measure one-third-octave-band sound pressure levels in noise certification of transport-category aeroplanes.
- IEC 61400-11 Ed. 2.0 en:2002 Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques. IEC 61063 Ed. 1.0 b:1991 Acoustics - Measurement of airborne noise emitted by steam turbines and driven machinery.

- IEC 61672-1 (2002-05) Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications. Maintenance Result Date: 2005.
- IEC 61672-2 (2003-04) Electroacoustics - Sound level meters - Part 2: Pattern evaluation tests. Maintenance Result Date: 2005.

2.2 Vibrazioni

- IEC 61897 Ed. 1.0 b:1998 Overhead lines - Requirements and tests for Stockbridge type aeolian vibration dampers.
- IEC 61502 Ed. 1.0 b:1999 Nuclear power plants - Pressurized water reactors - Vibration monitoring of internal structures.
- IEC 61373 Ed. 1.0 b:1999 Railway applications - Rolling stock equipment - Shock and vibration tests.
- IEC 60994 Ed. 1.0 b:1991 Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines).
- IEC 60255-21-3 Ed. 1.0 b:1993 Electrical relays - Part 21: Vibration, shock, bump and seismic tests on measuring relays and protection equipment - Section 3: Seismic tests.
- IEC 60255-21-2 Ed. 1.0 b:1988 Electrical relays - Part 21: Vibration, shock, bump and seismic tests on measuring relays and protection equipment - Section Two: Shock and bump tests.
- IEC 60255-21-1 Ed. 1.0 b:1988 Electrical relays - Part 21: Vibration, shock, bump and seismic tests on measuring relays and protection equipment - Section One: Vibration tests (sinusoidal).
- IEC 60068-2-51 Ed. 1.0 b:1983 Environmental testing. Part 2: Tests. Tests Z/BFc: Combined dry heat/vibration (sinusoidal) tests for both heat-dissipating and non-heat-dissipating specimens.
- IEC 60068-2-50 Ed. 1.0 b:1983 Environmental testing. Part 2: Tests. Tests Z/AFc: Combined cold/vibration (sinusoidal) tests for both heat-dissipating and non-heat-dissipating specimens.
- IEC 60068-2-47 Ed. 2.0 b:1999 Environmental testing - Part 2-47: Test methods - Mounting of components, equipment and other articles for vibration, impact and similar dynamic tests.
- IEC 60034-14 Ed. 3.0 b:2003 "Rotating electrical machines - Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity".

3 STANDARDS ANSI

3.1 Rumore

- ASTM E596-96(2002)e1 Standard Test Method for Laboratory Measurement of Noise Reduction of Sound-Isolating Enclosures
- ASTM E2202-02 Standard Practice for Measurement of Equipment-Generated Continuous Noise for Assessment of Health Hazards

- ASTM E1686-03 Standard Guide for Selection of Environmental Noise Measurements and Criteria
- ASTM E1543-00 Standard Test Method for Noise Equivalent Temperature Difference of Thermal Imaging Systems
- ANSI S3.14-1977 (R1997) Rating Noise with Respect to Speech Interference
- ANSI S12.9-2000/Part 6 Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound - Part 6: Methods for Estimation of Awakenings Associated with Aircraft Noise Events Heard in Homes
- ANSI S12.9-1996/Part 4 Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound - Part 4: Noise Assessment and Prediction of Long-Term Community Response
- ANSI S12.8-1998 (R2003) Methods for Determination of Insertion Loss of Outdoor Noise Barriers
- ANSI S12.7-1986 (R1998) Methods for Measurement of Impulse Noise
- ANSI S12.35-1990 (R1996) Sound Power Levels of Noise Sources in Anechoic and Hemi-Anechoic Rooms, Determination of
- ANSI S12.30-1990 (R2002) Sound Power Standards and the Preparation of Noise Test Codes, Guidelines for the Use of
- ANSI S12.3-1985 (R1996) Statistical Methods for Determining and Verifying Stated Noise Emission Values of Machinery and Equipment
- ANSI S12.2-1995 (R1999) Criteria for Evaluating Room Noise
- ANSI S12.17-1996 Impulse Sound Propagation for Environmental Noise Assessment
- ANSI S12.16-1992 (R2002) American National Standard Guidelines for the Specification of Noise of New Machinery
- ANSI S12.15-1992 (R2002) American National Standard for Acoustics ? Portable Electric Power Tools, Stationary and Fixed Electric Power Tools, and Gardening Appliances - Measurement of Sound Emitted
- ANSI S12.12-1992 (R2002) Engineering Method for the Determination of Sound Power Levels of Noise Sources Using Sound Intensity
- ANSI S12.11-2003/Part 2 Acoustics - Measurement of noise and vibration of small air-moving devices - Part 2: Structure-borne vibration
- ANSI S12.11-2003/Part 1 ISO 10302:1996 (MOD) Acoustics - Measurement of Noise and Vibration of Small Air-Moving Devices, Part 1: Airborne noise Emission
- ANSI S12.10-2002/ISO 7779:1999 (incl AMD1) Acoustics - Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment

3.2 Vibrazioni

- ANSI/ASHRAE 87.3-2001 Methods of Testing Propeller Fan Vibration---Diagnostic Test Methods
- ANSI/ASHRAE 87.1-1992 Method of Testing Fan Vibration--Blade Vibrations and Critical Speeds
- ANSI S3.29-1983 (R1996) Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings
- ANSI S2.48-1993 (R1997) Servo-Hydraulic Test Equipment for Generating Vibration - Methods of Describing Characteristics
- ANSI S2.47-1990 (R1997) Vibration of Buildings - Guidelines for the Measurement of Vibrations and Evaluation of Their Effects on Buildings
- ANSI S2.41-1985 (R1997) Mechanical Vibration of Large Rotating Machines with Speed Range from 10 to 200 rev/s - Measurement and Evaluation of Mechanical Vibration Severity in situ
- ANSI S2.40-1984 (R1997) Mechanical Vibration of Rotating and Reciprocating Machinery - Requirements for Instruments for Measuring Vibration Severity
- ANSI S2.4-1976 (R2002) Method for Specifying the Characteristics of Auxiliary Analog Equipment for Shock and Vibration Measurements
- ANSI S2.29-2003 Guide for the Measurement and Evaluation of Vibration of Machine Shafts on Shipboard Machinery
- ANSI S2.28-2003 Guide for the Measurement and Evaluation of Vibration of Shipboard Machinery
- ANSI S2.25-2004 Guide for the Measurement, Reporting, and Evaluation of Hull and Superstructure Vibration in Ships
- ANSI S2.19-1999 Mechanical Vibration - Balance Quality Requirements of Rigid Rotors - Part 1: Determination of Permissible Residual Unbalance
- ANSI S2.17-1980 (R1997) Machinery Vibration Measurement
- ANSI S2.16-1997 Vibration Noise Measurements and Acceptance Criteria of Shipboard Equipment
- ANSI S2.1-2000/ISO 2041:1990 Vibration and Shock - Vocabulary
- ANSI S12.11-2003/Part 2 Acoustics - Measurement of noise and vibration of small air-moving devices - Part 2: Structure-borne vibration
- ANSI S12.11-2003/Part 1 ISO 10302:1996 (MOD) Acoustics - Measurement of Noise and Vibration of Small Air-Moving Devices, Part 1: Airborne noise Emission

A4. NORMATIVA TECNICA EUROPEA E NAZIONALE

NORMATIVA NAZIONALE

1. NORME UNI

1.1 Misurazioni acustiche e determinazione del rumore in generale

SS UNI U20.00.050.0:1997 - 31/03/1997 - Acustica. Schermi acustici. Determinazione delle caratteristiche acustiche in campo libero. Progetto in standstill. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI 7545/22 (1993) - “Segni grafici per segnali di pericolo - Rumore”.

UNI 8199 (1998) - “ Acustica. Collaudo acustico degli impianti di climatizzazione e ventilazione – Linee guida contrattuali e modalità di misurazione.

UNI 9432:2002 - 01/10/2002 – Acustica. Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro. (Codice ICS: 13.140).

UNI 9434:1989 - 31/05/1989 - Misura della perdita di inserzione sonora di un silenziatore Metodo di controllo. (Codice ICS: 17.140.01 91.120.20).

UNI 9435:1989 - 31/05/1989 - Sistemi schermanti. Misura della attenuazione acustica degli schermi sottili in campo libero simulato. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI 10343:1994 - 28/02/1994 - Acustica. Valutazione delle prestazioni acustiche di cabinati e cabine mediante l'indice unico di valutazione. (Codice ICS: 17.140.01 13.140).

UNI 10844:1999 - 30/11/1999 - Acustica - Determinazione della capacità di fonoassorbimento degli ambienti chiusi (Codice ICS: 17.140.01 91.120.20).

UNI 10855:1999 - 31/12/1999 - Acustica - Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti (Codice ICS: 17.140.01 17.140.20).

UNI EN 1746:2000 - 30/09/2000 - Sicurezza del macchinario - Guida per la redazione delle clausole sul rumore nelle norme di sicurezza (Codice ICS: 13.110).

UNI EN 21683:1995 - 31/12/1995 - Acustica. Grandezze di riferimento preferite per i livelli acustici.. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI EN 25136:1995 - 30/06/1995 - Acustica. Determinazione della potenza sonora immessa in condotto da ventilatori. Metodo con ventilatore inserito in condotto. (Codice ICS: 17.140.20 91.120.20).

UNI EN 27574-1:1991 - 31/01/1991 - Acustica. Metodi statistici per la determinazione ed il controllo dei valori dichiarati di emissione acustica delle macchine e delle apparecchiature. Generalità e definizioni. (Codice ICS: 17.140.20).

UNI EN 29053:1994 - 28/02/1994 - Acustica. Materiali per applicazioni acustiche. Determinazione della resistenza al flusso d'aria. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI EN 29295:1992 - 01/07/1992 - Acustica. Misurazione del rumore ad alta frequenza emesso dalle apparecchiature informatiche e per ufficio. (Codice ICS: 17.140.20 35.260).

UNI EN ISO 354:2003 - Misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante.

UNI EN ISO 3382:2001 - 30/11/2001 - Acustica - Misurazione del tempo di riverberazione di ambienti con riferimento ad altri parametri acustici (Codice ICS: 17.140.01 91.120.20).

UNI EN ISO 3740: 2002 – Acustica – Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore – Linee guida per l’uso delle norme di base.

UNI EN ISO 3741:2001 – Acustica – Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora – Metodi di laboratorio in camere riverberanti.

UNI EN ISO 3743-1:1997 – Acustica – Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore. Metodi tecnici progettuali in campo riverberante per piccole sorgenti trasportabili – Metodo di comparazione per camere di prova a pareti rigide.

UNI EN ISO 3743-2:1997 – Acustica – Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora. Metodi tecnici progettuali in campo riverberante per piccole sorgenti trasportabili – Metodo in camere riverberanti speciali.

UNI EN ISO 3744:1997 - 31/12/1997 - Acustica. Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora. Metodo tecnico progettuale in un campo essenzialmente libero su un piano riflettente. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI EN ISO 3745:2004 Acustica – Determinazione dei livelli di potenza Sonora di sorgenti di rumore mediante pressione Sonora – Metodi di laboratorio in camere anecoica e semi-anecoica.

UNI EN ISO 3746:1997 - 31/12/1997 - Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora - Metodo di controllo con una superficie avvolgente su un piano riflettente. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI EN ISO 3747:2002 – Acustica – Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora. Metodo di confronto per l’utilizzo in situ.

UNI EN ISO 4869-2:1998 - 31/12/1998 - Acustica - Protettori auricolari - Stima dei livelli di pressione sonora ponderati A quando i protettori auricolari sono indossati (Codice ICS: 13.340.20).

UNI EN ISO 4869-4:2002 - 01/02/2002 - Acustica - Protettori auricolari - Misurazione dei livelli effettivi di pressione sonora all'interno delle cuffie destinate alla riproduzione del suono (Codice ICS: 13.340.20).

UNI EN ISO 7235:1997 - 31/07/1997 - Acustica. Metodi di misurazione per silenziatori inseriti nei canali. Attenuazione sonora, rumore endogeno e perdite di carico. (Codice ICS: 17.140.20 91.120.20).

UNI EN ISO 9614-1:1997 - 30/11/1997 - Acustica. Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico. Misurazione per punti discreti. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI EN ISO 9614-2:1998 - 30/06/1998 - Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico - Misurazione per scansione. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI EN ISO 10846-1:2001 - 30/06/2001 - Acustica e vibrazioni - Misurazione in laboratorio delle proprietà vibro- acustiche degli elementi resilienti - Principi e linee guida. (Codice ICS: 17.140.01).

UNI ISO 2249:1977 - 30/06/1977 - Acustica. Descrizione e misura delle proprietà fisiche dei bang sonici. (Codice ICS: 17.140.30).

1.2 Rumore emesso da macchine e apparecchiature

UNI 8959:1998 – Misura del rumore aereo emesso da impianti a turbina a gas. Prescrizioni e metodo di rilevamento.

UNI 9572:1990 - 31/07/1990 - Guida per la valutazione dell' impatto acustico ambientale per impianti con turbine a gas. (Codice ICS: 17.140.20 27.040).

UNI 10905:2000 - Acustica - Procedura per prove di rumorosità delle macchine per la lavorazione del marmo e del granito.

UNI EN 25136:1995 - Acustica. Determinazione della potenza sonora immessa in condotto da ventilatori. Metodo con ventilatore inserito in condotto.

UNI EN 27182:1991 - Acustica. Rilevamento all'orecchio dell'operatore del rumore emesso dalle motoseghe a catena portatili.

UNI EN 27574-1:1991 - Acustica. Metodi statistici per la determinazione ed il controllo dei valori dichiarati di emissione acustica delle macchine e delle apparecchiature. Generalità e definizioni.

UNI EN 27574-2:1991 - Acustica. Metodi statistici per la determinazione ed il controllo dei valori dichiarati di emissione acustica delle macchine e delle apparecchiature. Metodi per valori dichiarati di macchine individuali.

UNI EN 27574-3:1991 - Acustica. Metodi statistici per la determinazione ed il controllo dei valori dichiarati di emissione acustica delle macchine e delle apparecchiature. Metodo semplificato (transitorio) per valori dichiarati di lotti di macchine.

UNI EN 27574-4:1991 - Acustica. Metodi statistici per la determinazione ed il controllo dei valori dichiarati di emissione acustica delle macchine e delle apparecchiature. Metodi per valori dichiarati di lotti di macchine.

UNI EN 27917:1992 - Acustica. Rilevamento all' orecchio dell' operatore del rumore emesso dai decespugliatori.

UNI EN 29052-1:1993 - Acustica. Determinazione della rigidità dinamica. Materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti negli edifici residenziali.

UNI EN 29053:1994 - Acustica. Materiali per applicazioni acustiche. Determinazione della resistenza al flusso d'aria.

UNI EN 29295:1992 - Acustica. Misurazione del rumore ad alta frequenza emesso dalle apparecchiature informatiche e per ufficio.

UNI EN ISO 1680:2001 - 30/04/2001 - Acustica - Procedura per prove di misurazione del rumore aereo emesso dalle macchine elettriche rotanti (Codice ICS: 17.140.20 29.160.01).

UNI EN ISO 4871:1998 - 31/10/1998 - Acustica - Dichiarazione e verifica dei valori di emissione sonora di macchine ed apparecchiature (Codice ICS: 17.140.20).

UNI EN ISO 5135:2003 – Acustica - Rilevamento della rumorosità aerea delle macchine movimento terra. Posto di guida. Condizioni di prova statica.

UNI EN ISO 7779:2001 - 31/10/2001 - Acustica - Misurazione del rumore aereo emesso dalle apparecchiature informatiche e di telecomunicazione (Codice ICS: 17.140.20 35.020).

UNI EN ISO 9902-1:2003 - Macchinario tessile - Procedura per prove di rumorosità - Requisiti comuni.

UNI EN ISO 9902-2:2003 - Macchinario tessile - Procedura per prove di rumorosità - Macchinario di preparazione alla filatura e di filatura.

UNI EN ISO 9902-3:2003 - Macchinario tessile - Procedura per prove di rumorosità - Macchinario per la produzione di contessuti.

UNI EN ISO 9902-4:2003 - Macchinario tessile - Procedura per prove di rumorosità - Macchinario di lavorazione del filato e di produzione di corde e cordami.

UNI EN ISO 9902-5:2003 - Macchinario tessile - Procedura per prove di rumorosità - Macchinario di preparazione alla tessitura e alla maglieria.

UNI EN ISO 9902-6:2003 - Macchinario tessile - Procedura per prove di rumorosità - Macchinario per la fabbricazione di tessuti.

UNI EN ISO 9902-7:2003 - Macchinario tessile - Procedura per prove di rumorosità - Macchinario per la tintura e il finissaggio.

UNI EN ISO 11200:1997 - 31/10/1997 - 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. (Codice ICS: 17.140.20).

UNI EN ISO 11201:1997 - 31/10/1997 - Acustica. Rumore emesso dalle macchine e dalle apparecchiature - Misurazione dei livelli di pressione sonora al posto di lavoro e in altre specifiche posizioni. Metodo tecnico progettuale in campo sonoro praticamente libero su un piano riflettente. (Codice ICS: 17.140.20).

UNI EN ISO 11202:1997 - 31/10/1997 - Acustica. Rumore emesso dalle macchine e dalle apparecchiature - Misurazione dei livelli di pressione sonora al posto di lavoro e in altre specifiche posizioni. Metodo di controllo in sito. (Codice ICS: 17.140.20).

UNI EN ISO 11203:1997 - 31/10/1997 - Acustica. Rumore emesso dalle macchine e dalle apparecchiature. Determinazione dei livelli di pressione sonora al posto di lavoro e in altre specifiche posizioni sulla base del livello di potenza sonora. (Codice ICS: 17.140.20).

UNI EN ISO 11204:1997 - 30/11/1997 - Acustica. Rumore emesso dalle macchine e dalle apparecchiature - Misurazione dei livelli di pressione sonora al posto di lavoro e in altre specifiche posizioni. Metodo richiedente correzioni ambientali. (Codice ICS: 17.140.20).

UNI EN ISO 11205:2004 26-04-2004 -Acustica - Rumore emesso dalle macchine e dalle apparecchiature - Metodo tecnico progettuale per la determinazione dei livelli di pressione sonora in situ al posto di lavoro e in altre specifiche posizioni mediante il metodo intensimetrico.

UNI EN ISO 11688-1:2000 - 31/12/2000 - Acustica - Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore - Pianificazione (Codice ICS: 17.140.20 21.020 17.140.01).

UNI EN ISO 11689:1998 - 31/10/1998 - Acustica - Procedura per la comparazione dei dati di emissione sonora per macchine ed apparecchiature (Codice ICS: 17.140.20).

UNI EN ISO 11690-1:1998 - 30/09/1998 - Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Strategie per il controllo del rumore (Codice ICS: 13.140 17.140.20).

UNI EN ISO 11690-2:1999 - 31/03/1999 - Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario - Provvedimenti per il controllo del rumore (Codice ICS: 13.140 17.140.20).

UNI EN ISO 11690-3:2000 - 30/11/2000 - 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 (Codice ICS: 13.140 17.140.20).

UNI EN ISO 12001:1998 - 30/04/1998 - Acustica - Rumore emesso da macchine ed apparecchiature - Regole per la stesura e la presentazione di una procedura per prove di rumorosità (Codice ICS: 17.140.20).

UNI ISO 4412-1:1994 – Oleoidraulica – Procedimento di prova per determinare il livello di rumorosità aerea. Pompe.

UNI ISO 4412-2:1994 – Oleoidraulica – Procedimento di prova per determinare il livello di rumorosità aerea. Motori.

UNI ISO 6394:1989 – Rilevamento della rumorosità aerea delle macchine movimento terra. Posto di guida. Condizioni di prova statica.

UNI EN 27574-1:1991 - 31/01/1991 - Acustica. Metodi statistici per la determinazione ed il controllo dei valori dichiarati di emissione acustica delle macchine e delle apparecchiature. Generalità e definizioni (Codice ICS: 17.140.20).

1.3 Isolamento e controllo del rumore

UNI 10343:1994 – Acustica. Valutazione delle prestazioni acustiche di cabinati e cabine mediante l'indice unico di valutazione.

UNI 10163:1993 - Acustica. Cabina per personale in ambiente di lavoro. Misurazioni della perdita per trasmissione sonora. Metodo di controllo.

UNI 10844:1999 - Acustica - Determinazione della capacità di fonoassorbimento degli ambienti chiusi.

UNI 10846-1: 2001 – Acustica e vibrazioni. – Misurazioni in laboratorio delle proprietà vibro-acustiche degli elementi resilienti – Principi e linee guida.

UNI 10846-2: 2001 – Acustica e vibrazioni. – Misurazioni in laboratorio delle proprietà vibro-acustiche degli elementi resilienti – Rigidezza dinamica al moto traslatorio di supporti elastici – Metodo diretto.

UNI EN 12354 – 1: 2002 - Acustica in edilizia – Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti.

UNI EN 12354 – 2: 2002 - Acustica in edilizia – Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico al calpestio tra ambienti.

UNI EN 12354 – 3: 2002 - Acustica in edilizia – Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea.

UNI EN 12354-4:2003 - Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Trasmissione del rumore interno all'esterno.

UNI EN 12354-6:2004 - Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – Assorbimento acustico in ambienti chiusi.

UNI EN 20140-10:1993 - 31/07/1993 - Acustica. Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misura in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di piccoli elementi di edificio. (Codice ICS: 91.120.20)

UNI EN 20140-2:1994 - 31/03/1994 - Acustica. Misura dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio. Determinazione, verifica e applicazione della precisione dei dati. (Codice ICS: 17.140.01 91.120.20)

UNI EN 20140-9:1998 - 31/01/1998 - Acustica. Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e in elementi di edificio. Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea da ambiente a ambiente coperti dallo stesso controsoffitto. (Codice ICS: 91.120.20)

UNI EN 29052-1:1993 – Acustica. Determinazione della rigidità dinamica. Materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti negli edifici residenziali.

UNI EN ISO 140-1:1999 - /09/1999 - Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Requisiti per le attrezzature di laboratorio con soppressione della trasmissione laterale.

UNI EN ISO 140-3:1997 - /09/1997 - Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio.

UNI EN ISO 140-4:2000 - 31/12/2000 - Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti. (Codice ICS: 91.120.20)

UNI EN ISO 140-5:2000 - 31/10/2000 - 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. (Codice ICS: 91.060.10 91.120.20)

UNI EN ISO 140-6:2000 - /12/2000 - Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in laboratorio dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai.

UNI EN ISO 140-7:2000 - 31/12/2000 - Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai. (Codice ICS: 91.060.30 91.120.20)

UNI EN ISO 140-8:1999 - /10/1999 - Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in laboratorio della riduzione del rumore di calpestio trasmesso da rivestimenti di pavimentazione su un solaio pesante normalizzato.

UNI EN ISO 140-12:2001 - /05/2001 - Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti (Codice ICS: 91.120.20).

UNI EN ISO 266:1998 - 31/07/1998 - Acustica - Frequenze preferibili. (Codice ICS: 17.140.01)

UNI EN ISO 717-1:1997 - 31/12/1997 - Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Isolamento acustico per via aerea. (Codice ICS: 91.120.20)

UNI EN ISO 717-2:1997 - 31/12/1997 - Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Isolamento del rumore di calpestio. (Codice ICS: 91.120.20).

UNI EN ISO 10534-1:2001 - Acustica - Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza - Metodo con le onde stazionarie.

UNI EN ISO 10534-2:2001 - Acustica - Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza - Metodo della funzione di trasferimento.

UNI EN ISO 10846-4:2004 – Acustica e vibrazioni – Misurazione in laboratorio delle proprietà vibro-acustiche degli elementi resilienti – Rigidezza dinamica di elementi diversi dai supporti resilienti per il moto traslatorio.

UNI 11022:2003 - Acustica - Misurazione dell'efficacia acustica dei sistemi antirumore (insertion loss), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno.

UNI EN ISO 11546-1:1997 - 30/09/1997 - Acustica. Determinazione delle prestazioni acustiche di cappottature. Misurazioni di laboratorio (ai fini della dichiarazione). (Codice ICS: 17.140.01)

UNI EN ISO 11546-2:1997 - 30/09/1997 - Acustica. Determinazione delle prestazioni acustiche di cappottature. Misurazioni in opera (ai fini dell'accettazione e della verifica). (Codice ICS: 17.140.01)

UNI EN ISO 11654:1998 - 31/10/1998 - Acustica - Assorbitori acustici per l'edilizia - Valutazione dell'assorbimento acustico. (Codice ICS: 91.120.20 17.140.01)

UNI EN ISO 11820:1999 - Acustica - Misurazioni su silenziatori in sito.

UNI EN ISO 11821:1999 - 28/02/1999 - Acustica - Misurazione dell'attenuazione sonora in sito di uno schermo mobile. (Codice ICS: 17.140.01)

UNI EN ISO 11957:1998 - 31/10/1998 - Acustica - Determinazione della prestazione di isolamento acustico di cabine - Misurazioni in laboratorio e in sito. (Codice ICS: 17.140.01)

UNI EN ISO 14163:2001 - 30/06/2001 - Acustica - Linee guida per la riduzione del rumore con i silenziatori. (Codice ICS: 17.140.01)

UNI EN ISO 14163:2001 - Acustica - Linee guida per la riduzione del rumore con i silenziatori.

UNI EN ISO 15186-1:2003 - Acustica - Misurazione mediante intensità sonora dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazione in laboratorio.

UNI EN ISO 15667:2002 - Acustica - Linee guida per la riduzione del rumore mediante cabine e cappottature.

UNI EN 20140-2:1994 - Acustica. Misura dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio. Determinazione, verifica e applicazione della precisione dei dati.

UNI ISO 13472-1:2004 - Acustica - Misurazione in situ del coefficiente di assorbimento acustico di superfici stradali - Metodo della superficie estesa.

1.4 Altro

UNI EN 457:1993 - Sicurezza del macchinario. Segnali acustici di pericolo. Requisiti generali, progettazione e prove.

UNI EN 1746:2000 – Sicurezza del macchinario – Guida per la redazione delle clausole sul rumore nelle norme di sicurezza.

UNI EN 21683:1995 - Acustica. Grandezze di riferimento preferite per i livelli acustici.

UNI ISO 7188:1999 - 30/09/1999 - Acustica - Misurazione del rumore emesso dalle autovetture nelle condizioni rappresentative di traffico urbano (Codice ICS: 17.140.30 43.100).

UNI EN ISO 9241-6:2001 - Requisiti ergonomici per il lavoro di ufficio con videoterminali (VDT) - Guida sull'ambiente di lavoro.

UNI EN ISO 9921:2004 - Ergonomia - Valutazione della comunicazione verbale.

UNI EN ISO 11820:1999 - 31/01/1999 - Acustica - Misurazioni su silenziatori in sito (Codice ICS: 91.140.30 17.140.01).

UNI EN 24869-1: 1993 - Acustica. Protettori auricolari. Metodo soggettivo per la misura dell'attenuazione sonora.

1.5 Vibrazioni

UNI 10570:1997 - 30/06/1997 - Prodotti per l'isolamento delle vibrazioni. Determinazione delle caratteristiche meccaniche di materassini e piastre. (Codice ICS: 13.160)

UNI 9513:1989 - 31/12/1989 - Vibrazioni e urti. Vocabolario. (Codice ICS: 01.040.13 17.160)

UNI 9614:1990 - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.

UNI EN 12096:1999 - 30/04/1999 - Vibrazioni meccaniche - Dichiarazione e verifica dei valori di emissione vibratoria. (Codice ICS: 13.160 17.160)

UNI EN 1299:1998 - 31/10/1998 - Vibrazioni meccaniche ed urti - Isolamento vibrazionale dei macchinari - Informazioni per la messa in opera dell'isolamento della fonte (Codice ICS: 17.160)

UNI ISO 14964:2001 - 31/12/2001 - Vibrazioni meccaniche ed urti - Vibrazioni di strutture fisse - Requisiti specifici per la gestione della qualità nella misura e nella valutazione delle vibrazioni. (Codice ICS: 17.160 03.120.10 91.120.25)

UNI ISO 1940-1:1993 - 30/11/1993 - Vibrazioni meccaniche. Gradi di equilibratura dei rotanti rigidi. Determinazione dello squilibrio residuo ammissibile. (Codice ICS: 17.160 21.120.40)

UNI ISO 2017:1992 - 31/03/1992 - Vibrazioni ed urti. Elementi isolanti. Procedura per specificare le caratteristiche. (Codice ICS: 17.160)

UNI ISO 2953:1993 - 30/11/1993 - Macchine per l'equilibratura. Descrizione e valutazione delle prestazioni. (Codice ICS: 21.120.40 17.160)

1.6 Norme CEI EN

Norma Italiana CEI EN 60651:2002 – “*Misuratori di livello sonoro (fonometri)*”. (Classificazione CEI 29-1 - CT 29/87 - Fascicolo 6352- Edizione: Terza).

Norma CEI EN 61252:1996 “*Elettroacustica - Specifiche dei misuratori individuali di esposizione sonora*”. (Classificazione CEI: 29-25. Conforme allo standard IEC 1252:1993-06).

Norma Italiana CEI EN 61252/A1:2001 – “*Elettroacustica -Specifiche dei misuratori individuali del livello di esposizione sonora*” (Classificazione CEI 29-25;V1 - CT 29/87 - - Fascicolo 6076).

Norma CEI EN 61260:1997 “*Filtri di bande di ottava e di frazioni di ottava*”. (Classificazione CEI: 29-32. Conforme allo standard IEC 1260:1995-08 che ha sostituito lo standard IEC 225:1966);

Norma Italiana CEI EN 61260/A1:2002 – “*Elettroacustica - Filtri di banda di ottava e di frazione di ottava*” (Classificazione CEI 29-32; V1 - CT 29/87 - Fascicolo 6541).

Norma CEI EN 60804:1999 “*Fonometri integratori mediatori*”. (Classificazione CEI: 29-10. Conforme allo standard IEC 804:1985; IEC 804/A1:1989); Annulata in data 1-09-2001 da CEI EN 60804:2001 (CEI 29-10); Ed. 2 (fasc. 6074).

Norma Italiana CEI EN 60804:2001– “*Fonometri integratori mediatori*”. (Classificazione CEI 29-10 - CT 29/87 - Fascicolo 6074 - Edizione: Seconda). Sostituita totalmente in data 1-05-2004 da CEI EN 61672-1:2003 (CEI 29-46 - fasc. 7125) e CEI EN 61672-2:2004-03 (CEI 29-47 - fasc. 7262).

Norma CEI EN 60942:1999 “*Elettroacustica - Calibratori acustici*”. (Classificazione CEI: 29-14. Conforme allo standard IEC 60942:1997-11).

Norma Italiana CEI EN 61672-1:2003 – “*Elettroacustica - Misuratori del livello sonoro. Parte 1: Specifiche*”. (Classif. CEI 29-46 - CT 29/87 - Anno 2003 - Fascicolo 7125 Edizione: Prima). Sostituisce parzialmente: CEI EN 60651:2002; (CEI 29-1) - fasc. 6532; CEI EN 60804:2001; (CEI 29-10) - fasc. 6074.

Norma Italiana CEI EN 61672-2:2004 – “*Elettroacustica - Misuratori di livello sonoro. Parte 2: Prove di valutazione del modello*”. (Classificazione CEI 29-47 - CT 29/87 - Anno 2004 - Fascicolo 7262 Edizione:prima). Sostituisce parzialmente: CEI EN 60651:2002; CEI EN 60804:2001; da utilizzare congiuntamente a: CEI EN 61672-1:2003.

NORMATIVA EUROPEA

2. NORME EN

2.1 Misure acustiche e riduzione del rumore in generale

EN ISO 3740:2000 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Guidelines for the use of basic standards (ISO 3740:2000).

EN ISO 3741:1999 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for reverberation rooms (ISO 3741:1999).

EN ISO 3743-1:1995 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields - Part 1: Comparison method for hard-walled test rooms (ISO 3743-1:1994).

EN ISO 3744:1995 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane (ISO 3744:1994).

EN ISO 3747:2000 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Comparison method for use in situ (ISO 3747:2000).

EN ISO 9614-3:2002 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity - Part 3: Precision method for measurement by scanning (ISO 9614-3:2002).

2.2 Rumore emesso dalle macchine ed apparecchiature

EN 1265:1999 Noise test code for foundry machines and equipment.

EN 1547:2001 Industrial thermoprocessing equipment - Noise test code for industrial thermoprocessing equipment including its ancillary handling equipment.

EN 12545:2000 Footwear, leather and imitation leather goods manufacturing machines - Noise test code - Common requirements.

EN 13023:2003 Noise measurement methods for printing, paper converting, paper making machines and auxiliary equipment - Accuracy grades 2 and 3.

EN 13487:2003 Heat exchangers - Forced convection air cooled refrigerant condensers and dry coolers - Sound measurement.

EN 25136:1993 Acoustics - Determination of sound power radiated into a duct by fans - In-duct method (ISO 5136:1990 and Technical Corrigendum 1:1993).

EN 27574-2:1988 Acoustics - Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment - Part 2: Methods for stated values for individual machines (ISO 7574-2:1985).

EN 27574-3:1988 Acoustics - Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment - Part 3: Simple (transition) method for stated values for batches of machines (ISO 7574-3:1985).

EN 27574-4:1988 Acoustics - Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment - Part 4: Methods for stated values for batches of machines (ISO 7574-4:1985).

EN 28960:1993 Refrigerators, frozen-food storage cabinets and food freezers for household and similar use - Measurement of emission of airborne acoustical noise (ISO 8960:1991).

EN 29295:1991 Acoustics - Measurement of high-frequency noise emitted by computer and business equipment (ISO 9295:1988).

EN ISO 2151:2004 Acoustics - Noise test code for compressors and vacuum pumps Engineering method (grade 2) (ISO 2151:2004).

EN ISO 5135:1998 Acoustics - Determination of sound power levels of noise from air-terminal devices, air-terminal units, dampers and valves by measurement in a reverberation room (ISO 5135:1997).

EN ISO 5136:2003 Acoustics - Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices - In-duct method (ISO 5136:2003).

EN ISO 9902-1:2001 Textile machinery - Noise test code - Part 1: Common requirements (ISO 9902-1:2001).

EN ISO 9902-2:2001 Textile machinery - Noise test code - Part 2: Spinning preparatory and spinning machinery (ISO 9902-2:2001).

EN ISO 9902-3:2001 Textile machinery - Noise test code - Part 3: Nonwoven machinery (ISO 9902-3:2001).

EN ISO 9902-4:2001 Textile machinery - Noise test code - Part 4: Yarn processing, cordage and rope manufacturing machinery (ISO 9902-4:2001).

EN ISO 9902-5:2001 Textile machinery - Noise test code - Part 5: Weaving and knitting preparatory machinery (ISO 9902-5:2001).

EN ISO 9902-6:2001 Textile machinery - Noise test code - Part 6: Fabric manufacturing machinery (ISO 9902-6:2001).

EN ISO 9902-7:2001 Textile machinery - Noise test code - Part 7: Dyeing and finishing machinery (ISO 9902-7:2001).

EN ISO 11688-2:2000 Acoustics - Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment - Part 2: Introduction to the physics of low-noise design (ISO/TR 11688-2:1998).

EN ISO 15744:2002 Hand-held non-electric power tools - Noise measurement code - Engineering method (grade 2) (ISO 15744:2002).

2.3 Rumore emesso da mezzi di trasporto

CEN/TS 1793-4:2003 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 4: Intrinsic characteristics - In situ values of sound diffraction.

CEN/TS 1793-5:2003 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 5: Intrinsic characteristics - In situ values of sound reflection and airborne sound insulation.

EN 1793-1:1997 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption.

EN 1793-2:1997 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation.

EN 1793-3:1997 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 3: Normalized traffic noise spectrum.

EN 12053:2001 Safety of industrial trucks - Test methods for measuring noise emissions.

EN 12736:2001 Electrically propelled road vehicles - Airborne acoustical noise of vehicle during charging with on-board chargers - Determination of sound power level.

EN ISO 11819-1:2001 Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-By method (ISO 11819-1:1997).

EN ISO 13473-1:2004 Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 1: Determination of Mean Profile Depth (ISO 13473-1:1997).

EN ISO 14509:2000 Small craft - Measurement of airborne sound emitted by powered recreational craft (ISO 14509:2000).

EN ISO 2922:2000 Acoustics - Measurement of airborne sound emitted by vessels on inland waterways and harbours (ISO 2922:2000).

2.4 Isolamento e controllo del rumore

EN 12354-4:2000 Building Acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 4: Transmission of indoor sound to the outside.

EN 12354-6:2003 Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 6: Sound absorption in enclosed spaces.

EN 12758:2002 Glass in building - Glazing and airborne sound insulation - Product descriptions and determination of properties.

EN 29052-1:1992 Acoustics - Determination of dynamic stiffness - Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.

EN ISO 354:2003 Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room (ISO 354:2003).

EN ISO 3382:2000 Acoustics - Measurements of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters (ISO 3382:1997).

EN ISO 10534-1:2001 Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes - Part 1: Method using standing wave ratio (ISO 10534-1:1996).

EN ISO 10534-2:2001 Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes - Part 2: Transfer-function method (ISO 10534-2:1998).

EN ISO 10846-3:2002 Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 3: Indirect method for determination of the dynamic stiffness of resilient supports for translatory motion (ISO 10846-3:2002).

EN ISO 15186-1:2003 Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity - Part 1: Laboratory measurements (ISO 15186-1:2000).

2.5 Altro

EN ISO 15667:2000 Acoustics - Guidelines for noise control by enclosures and cabins (ISO 15667:2000).

EN ISO 14257:2001 Acoustics - Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance (ISO 14257:2001).

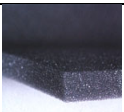

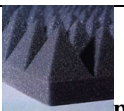


CR 1030-1:1995 Hand-arm vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 1: Engineering methods by design of machinery.

B1 – MATERIALI E TECNOLOGIE PER IL FONOASSORBIMENTO


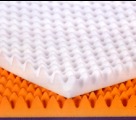
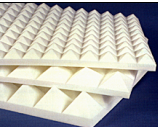
Di seguito in **Tabella B1.1** sono riportati i principali tipi di materiali fonoassorbenti reperibili sul mercato italiano con le loro peculiari proprietà fisiche, l'impiego tipico ed i **coefficiente di assorbimento α** nelle frequenze a filtri d'ottava da 125 a 4000 Hz.

In **Tabella B1.2** invece sono riportati i **coefficienti di assorbimento α** , nelle frequenze a filtri d'ottava da 125 a 4000 Hz, risultanti dalle principali e più disparate applicazioni del materiale fonoassorbente.


Tabella B1.1: Materiali fonoassorbenti reperibili sul mercato

| MATERIALI CELLULARI | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|------|------|------|------|--------------|--------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---|
| Tipi e Spessori | | Proprietà Acustiche | | | | | | | Test | Proprietà Fisiche | | Impieghi | | |
| | | Coefficiente di Assorbimento Acustico α | | | | | | | | Densità Kg/m ³ | Reazione al fuoco | Campi di Applicazione | Modalità di applicazione | Note |
| | | Frequenze (Hz) | | | | | | | | | | | | |
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | | | | | | |
| Poliuretanic | | mm | | | | | | | | | | | | |
|  | lisci (rotoli/lastre) | 20 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,50 | 0,70 | 1,00 | DIN5221 2 | 30/60 | CL2/CL1 | Industria Edilizia Interni | Collanti Autoadesivi Fissaggi | |
| | | 30 | 0,15 | 0,30 | 0,50 | 0,80 | 0,95 | 1,00 | | | | | | |
|  | bugnati (rotoli/lastre) | 30 | 0,10 | 0,15 | 0,48 | 0,80 | 0,85 | 0,85 | DIN52212 | 30/60 | CL2/CL1 | Industria Edilizia Interni | Collanti Autoadesivi Fissaggi | |
| | | 50 | 0,15 | 0,30 | 0,55 | 0,85 | 0,95 | 0,90 | | | | | | |
| | | 100 | 0,10 | 0,50 | 0,90 | 1,05 | 1,00 | 1,05 | | | | | | |
|  | piramidali (rotoli/lastre) | 70 | 0,10 | 0,30 | 0,60 | 1,05 | 1,10 | 1,00 | DIN52212 | 30/60 | CL2/CL1 | Industria Edilizia Interni | Collanti, Autoadesivi Fissaggi | |
| | | 100 | 0,10 | 0,55 | 0,90 | 1,10 | 1,00 | 1,10 | | | | | | |
|  | baffles lisci o bugnati Spessore = 45 mm | 500* | 0,20 | 0,40 | 0,75 | 1,15 | 1,15 | 1,20 | DIN52212 | 35 | CL2 | Industria | Sospensioni | *Interasse. Distanza tra i pannelli = mm100. Dimensioni = mm 1000x500. |
| | | 600* | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,85 | 0,90 | 1,00 | | | | | | |
| | | 850* | 0,15 | 0,20 | 0,40 | 0,65 | 0,75 | 0,80 | | | | | | |
| Elastomeri | | mm | Riciclabile-Traspirabile-No fibrogeno-No gocciolamenti da fuoco | | | | | | | | | | | |
|  | liscio (lastre) 20 | 0,20 | 0,30 | 0,75 | 0,70 | 0,70 | 0,75 | DIN5 2212 | 120 | CL1 | Industria Edilizia Interni | Collanti In appoggio | | |


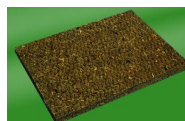

segue Tabella B1.1

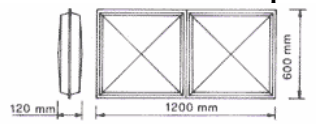
| Melaminici | | mm | Atossici-No fibrogeni-No gocciolamenti da fuoco | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----------|--|------|------|------|------|----------|-----|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--|
|  lisci (lastre) | 20 | 0,10 | 0,25 | 0,55 | 0,75 | 0,80 | 0,90 | DIN52212 | 15 | CL1 | Industria Edilizia Interni | Collanti, Autoadesivi | |
| | 30 | 0,12 | 0,30 | 0,65 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | | | | | | |
|  bugnati (lastre) | 30 | 0,10 | 0,15 | 0,48 | 0,80 | 0,85 | 0,85 | DIN52212 | 15 | CL1 | Industria Edilizia | Collanti | |
| | 50 | 0,15 | 0,30 | 0,55 | 0,85 | 0,95 | 0,90 | | | | | | |
|  piramidali (lastre) 70 | 100 | | | | | | | 15 | CL1 | Industria Edilizia Interni | Collanti | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

segue MATERIALI CELLULARI


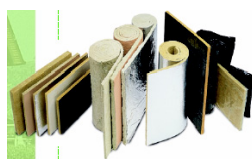

| Tipi e Spessori | | Proprietà Acustiche | | | | | | Proprietà Fisiche | | | Impieghi | | | |
|---|------|--|------------|--|-------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| | | Coefficiente di Assorbimento Acustico α | | | | | | Test | Densità Kg/m³ | Reazione al fuoco | Campi di Applicazione | Modalità di applicazione | Note | |
| | | Frequenze (Hz) | | | | | | | | | | | | |
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | | | | | | |
| segue Melaminici | | mm | | Atossici-No fibrogeni-No gocciolamenti da fuoco | | | | | | | | | | |
|  baffles lisci o bugnati Spessore = 45 mm | 500* | 0,25 | 0,45 | 0,75 | 1,20 | 1,25 | 1,25 | DIN52212 | 15 | CL1 | Industria | Sospensioni | *Interasse. Distanza tra i pannelli = mm100. Dimensioni = mm 1200x600. | |
| | 600* | 0,20 | 0,40 | 0,70 | 1,00 | 1,05 | 1,10 | | | | | | | |
| | 850* | 0,15 | 0,30 | 0,50 | 0,70 | 0,85 | 0,85 | | | | | | | |

segue Tabella B1.1

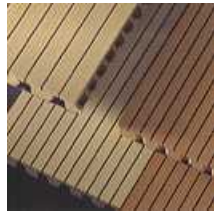
| FIBROSI | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|--|------|------|------|------|------|---|-------|------|----------------------------------|---|---|
| <i>Poliestere</i> | mm | Atossico-No fibrogeno-Inalterabile | | | | | | | | | | | |
|  lisci (rotoli/lastre) | 15 | 0,10 | 0,25 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | ISO 354 | 15 | CL1 | Industria Edilizia Interni | Posa libera In appoggio Collanti | |
| | 20 | 0,15 | 0,30 | 0,50 | 0,65 | 0,75 | 0,75 | | 30 | | | | |
| | 40 | 0,20 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | | 55 | | | | |
| A base tessile | mm | Buona resistenza meccanica e a vibrazioni e umidità. | | | | | | | | | | | |
|  lisci (materassini) | 10 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,15 | 0,30 | 0,45 | Tubo di Kundt | 40÷60 | n.d. | Industria Edilizia | Collanti Fissaggio In appoggio | *Protezione con membrana in P.V.C. tesa e perforata in % della superficie. |
| | 20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,80 | 0,95 | | | | | | |
| | 10 - *1,6% | 0,01 | 0,10 | 0,40 | 0,70 | 0,80 | 0,65 | | | | | | |
| | 10 - *4% | 0,01 | 0,15 | 0,40 | 0,80 | 0,75 | 0,40 | | | | | | |
| | 20 - *1,6% | 0,05 | 0,20 | 0,60 | 0,85 | 0,75 | 0,55 | | | | | | |
| 20 - *4% | 0,10 | 0,20 | 0,65 | 0,90 | 0,55 | 0,35 | | | | | | | |
|  elementi modulari. Baffles se assiemati e sospesi | 75*d=0 | 0,10 | 0,30 | 0,60 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | In camera riverberante con 7,2 m ² di materiale in proiezione. | n.d. | CL1 | Industria Edilizia | Intelaiature di profilati o legno. Fissaggio | *Distanziamenti da parete. **Distanziamento + strato assorbente s=10mm |
| | 75*d=100 | 0,15 | 0,50 | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,70 | | | | | | |
| | 75**d=100 | 0,25 | 0,80 | 1,05 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | | | | | | |
| | n.d.* | 0,25 | 0,45 | 0,70 | 0,75 | 0,85 | 1,05 | | | | | Baffles sospesi | *Interasse. Distanza tra i pannelli = mm (n.d.). Dimensioni = mm 1200x600x150. |



segue Tabella B1.1

| segue MATERIALI FIBROSI | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|--|------|------|------|------|------|--------|------------------------------|---------------------------------|---|--|--|
| Tipi e Spessori | | Proprietà Acustiche | | | | | | Test | Proprietà Fisiche | | Impieghi | | |
| | | Coefficiente di Assorbimento Acustico α | | | | | | | Densità Kg/m ³ | Reazione al fuoco | Campi di Applicazione | Modalità di applicazione | Note |
| | | Frequenze (Hz) | | | | | | | | | | | |
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | | | | | |
| Lana di vetro | | Inodoro–Inalterabile–Inerte | | | | | | | | | | | |
|  | mm | | | | | | | n.d. | 22÷40 | CL M1 | Industria Edilizia | Fissaggio In aderenza In appoggio | *velo di vetro superficiale **film P.V.C. faccia vista ***carta di alluminio perforata faccia vista |
| | *20 | 0,50 | 0,75 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | | | | | | |
| | *40 | 0,65 | 0,80 | 0,95 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | | | | | |
| | **20 | 0,45 | 0,50 | 0,75 | 0,65 | 0,70 | 0,40 | | | | | | |
| | **40 | 0,55 | 0,90 | 0,75 | 0,75 | 0,60 | 0,40 | | | | | | |
| | ***25 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,95 | 0,95 | 0,90 | | | | | | |
| ***50 | 0,70 | 0,90 | 0,90 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | | | | | | | |
| Lana di roccia | | Biosolubile–Inerte–Atossico–No cancerogeno | | | | | | | | | | | |
|  | mm | | | | | | | 50÷100 | CL0 | Industria Edilizia Navale | Fissaggio In aderenza In appoggio | *pannello semirigido tessuto protettivo e velo di vetro antispolvero ** pannello rigido come sopra ***rotolo accoppiato a foglio alluminio retinato | |
| | 0,14 | 0,67 | 0,86 | 0,97 | 0,86 | 0,81 | n.d. | | | | | | |
| | 50** | 0,18 | 0,84 | 0,86 | 0,89 | 0,82 | 0,84 | | | | | | |
| liscia (pannelli rotoli) 50* | 50*** | 0,13 | 0,66 | 0,89 | 0,94 | 0,83 | 0,81 | | | | | | |
| Cellulosa spray | | Riciclabile–Inerte–Atossico–No cancerogeno | | | | | | | | | | | |
|  | mm | | | | | | | n.d. | n.d. | CL1 | Industria Edilizia Interni | Applicazione a spruzzo | *su rete o strutture metalliche |
| | 25 | 0,08 | 0,29 | 0,75 | 0,98 | 0,93 | 0,95 | | | | | | |
| | 50 | 0,26 | 0,68 | 1,05 | 1,10 | 1,03 | 0,98 | | | | | | |
| trattamento di pareti, soffitti e strutture | 40* | 0,36 | 0,89 | 1,26 | 1,07 | 1,01 | 1,00 | | | | | | |

segue Tabella B1.1

| MATERIALI MISTI | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|
| Tipi e Spessori | | Proprietà Acustiche | | | | | | Test | Proprietà Fisiche | | Impieghi | | |
| | | Coefficiente di Assorbimento Acustico α | | | | | | | Densità Kg/m ³ | Reazione al fuoco | Campi di Applicazione | Modalità di applicazione | Note |
| | | Frequenze (Hz) | | | | | | | | | | | |
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | | | | | |
| Polvere di legno pressata (MDF) Legante: collante Rivestimento: melaminico | mm | | | | | | | | | | | | |
|  lisci (lamelle perforate) | 16-*d=10 **Ø=2/6% | 0,14 | 0,64 | 1,06 | 1,01 | 0,70 | 0,59 | n.d. | 760 | CL2 | Edilizia Interni | Fissaggio. Montaggio a incastro | Strato fonoassorbente accoppiato sul retro: tessuto SP60N o SP63A *Distanziamento + strato lana roccia s=30mm. **diametro addensamento perforazione |
| | 16-*d=170 **Ø=2/6% | 0,33 | 0,77 | 0,90 | 0,88 | 0,74 | 0,59 | | | | | | |
| | 16-*d=10 **Ø=3/12% | 0,16 | 0,51 | 1,14 | 1,11 | 0,77 | 0,67 | | | | | | |
| | 16-*d=200 **Ø=3/12% | 0,34 | 0,83 | 0,90 | 0,99 | 0,72 | 0,59 | | | | | | |
| | 16-*d=0 **Ø=4/7,5% | 0,17 | 0,48 | 1,03 | 0,88 | 0,47 | 0,41 | | | | | | |
| | 16-*d=170 **Ø=4/7,5% | 0,65 | 0,94 | 0,94 | 0,73 | 0,51 | 0,43 | | | | | | |

segue Tabella B1.1


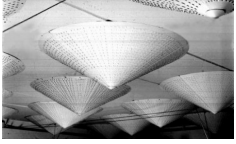
| ALTRI MATERIALI | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|------|------|------|------|------|------|---|-------------------|------|----------------------------------|---|--|
| Argilla espansa Legante: calcestruzzo | mm | | | | | | | | | | | | |
|  | 120-200* | 0,15 | 0,55 | 0,90 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | ISO 354 | 1000 ÷ 1400 | CL 0 | Industria Edilizia Interni | Ancoraggio In aderenza Autoportanti | Inodoro–Inalterabile–Inerte Faccia vista personalizzabile *Blocchi 200x500 **Piastre 500x500 |
| | 150** | 0,10 | 0,45 | 0,90 | 0,75 | 0,60 | 0,55 | | | | | | |
| blocchi o piastre porosi | | | | | | | | | | | | | |
| Alluminio con forature semi-ellittiche e film assorbente posteriore | mm | | | | | | | | | | | | |
|  | Ø = 830 h = 230 | 0,15 | 0,27 | 0,47 | 0,47 | 0,40 | 0,32 | In sala di V=495 m ³ con 120 coni | n.d. | CL 0 | Edilizia Interni | Fissaggio | Buona intelligibilità Ergonomicità. Asettico con <i>FILMCOVER</i> |
| coni acustici | | | | | | | | | | | | | |

Tabella B1.2: Principali applicazioni dei materiali fonoassorbenti

| MATERIALI | Coefficienti di assorbimento acustico α | | | | | |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Frequenze (Hz) | | | | | |
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Pareti | | | | | | |
| Con applicata lana di vetro o di roccia, secondo lo spessore e il peso proprio (min/max) | 0,10/0,30 | 0,40/0,60 | 0,60/0,90 | 0,75/0,90 | 0,80/0,90 | 0,80/0,90 |
| Con applicato feltro soffice, spessore da 1,2 a 5 cm (min/max) | 0,02/0,25 | 0,04/0,35 | 0,10/0,60 | 0,20/0,85 | 0,55/0,90 | 0,90/0,90 |
| Con applicato poliuretano espanso, densità 30 Kg/m ³ | Spessore 13 mm | === | 0,11 | 0,40 | 0,90 | 0,82 |
| | Spessore 60 mm | === | 0,30 | 0,62 | 0,90 | 0,98 |
| Con applicato sughero | === | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,13 | 0,10 |
| In muratura di mattoni o calcestruzzo grezzo, non intonacati | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,08 |
| In muratura o calcestruzzo, intonacati | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| In muratura o calcestruzzo, con intonaco, spessore 2,5 cm, su cannette | 0,15 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| In blocchi di calcestruzzo ruvidi e non verniciati | 0,35 | 0,45 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,30 |
| In blocchi di calcestruzzo verniciati | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| In cartongesso, spessore 12mm su montanti | 0,3 | 0,15 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| In cartongesso, due strati spessi 16mm su montanti | 0,2 | 0,12 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Con intonaco acustico spruzzato, spessore 10 mm | 0,05 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,50 |
| Con intonaco acustico poroso, applicato e non verniciato, spessore 15 mm (min/max) | 0,02/0,10 | 0,05/0,10 | 0,05/0,30 | 0,10/0,20 | 0,20/0,30 | 0,10/0,20 |
| Con rivestimento di marmo lucidato o piastrelle smaltate | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Con rivestimento con lastra di vetro, aderente a parete (min/max) | 0,03/0,2 | 0,03/0,1 | 0,02/0,05 | 0,02/0,03 | 0,02/0,03 | 0,02/0,03 |
| Con rivestimento di legno a pannelli di 6mm, su montanti | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,08 | 0,07 | 0,07 |
| Con rivestimento di legno a pannelli perforati, (fori ca 10% area pannello), con 5 cm di fibra di vetro nell'intercapedine | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| Con rivestimento di legno compensato, spessore 7 mm, con materiale poroso posteriore | 0,5 | 0,25 | 0,15 | 0,05 | 0,05 | 0,10 |
| Con rivestimento di legno, spessore 16 mm, con materiale poroso posteriore | 0,35 | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,10 |
| Con rivestimenti di legno, spessore 16 mm, senza materiale poroso posteriore | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,10 |
| Con tendaggi leggeri (350g/m ²) tesi sulla parete | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,35 |
| Con tendaggi di medio peso (500g/m ²) drappeggiati a metà superficie | 0,20 | 0,30 | 0,50 | 0,75 | 0,70 | 0,60 |
| Con tendaggi pesanti (>600g/m ²) drappeggiati a metà superficie | 0,25 | 0,40 | 0,55 | 0,80 | 0,80 | 0,65 |
| Tendaggi di velluto sottile poco drappeggiati | 0,08 | 0,30 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,20 |
| Tendaggi di velluto pesante fortemente drappeggiati | 0,50 | 0,50 | 0,70 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| Finestra vetrata chiusa (min/max) | 0,10/0,35 | 0,04/0,25 | 0,03/0,18 | 0,02/0,12 | 0,02/0,06 | 0,02/0,04 |
| Vetrata con lastra di medio spessore (finestra acustica) | 0,15 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| Bocche di ventilazione, e simili | 0,15 | 0,20 | 0,30 | 0,35 | 0,30 | 0,20 |

segue Tabella B1.2

| MATERIALI | Coefficienti di assorbimento acustico α | | | | | | |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | Frequenze (Hz) | | | | | | |
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | |
| Pavimenti | | | | | | | |
| Di marmo, piastrelle smaltate, calcestruzzo liscio o alla veneziana. | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | |
| Di parquet in legno, plastificato o lucidato (su solaio rigido) | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | |
| Di legno, su listelli (min/max) | 0,16/0,20 | 0,10/0,15 | 0,10/0,12 | 0,05/0,10 | 0,05/0,10 | 0,05/0,10 | |
| Di linoleum (min/max) | 0,02/== | 0,02/0,10 | 0,03/0,10 | 0,03/0,09 | 0,04/0,10 | 0,04/0,12 | |
| Di gomma | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | |
| Di moquette per interni ed esterni | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | |
| Di moquette pesante su calcestruzzo | 0,10 | 0,10 | 0,25 | 0,40 | 0,60 | 0,65 | |
| Di moquette pesante su imbottitura | 0,15 | 0,25 | 0,60 | 0,65 | 0,65 | 0,60 | |
| Tappeto spessore sottile | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | |
| Tappeto spessore medio | 0,05 | 0,08 | 0,20 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | |
| Tappeto pesante | 0,10 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | |
| Soffitti | | | | | | | |
| Sospesi di cartongesso liscio in funzione dello spessore e della distanza dal solaio (min/max) | 0,10/0,30 | 0,08/0,20 | 0,05/0,10 | 0,05/0,07 | 0,04/0,07 | 0,04/0,07 | |
| Trattati con intonaco, spessore 25 mm, su cannette | 0,15 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | |
| Trattati con schiuma a spruzzo, spessore 12 mm, su superficie dura | 0,08 | 0,15 | 0,45 | 0,85 | 0,95 | 0,95 | |
| Trattati con schiuma a spruzzo, spessore 25 mm, su superficie dura | 0,12 | 0,35 | 0,85 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | |
| Con piastrelle minerali fissate in aderenza | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | |
| Pannelli a parete o a soffitto | | | | | | | |
| In fibra di vetro, spessore 25 mm con rivestimento in tessuto a maglia larga | 0,25 | 0,55 | 0,75 | 0,95 | 0,95 | 0,90 | |
| Porosi in fibra di vetro o minerale, bachelizzata, in funzione dello spessore e del montaggio su listelli (min/max) | 0,40/0,60 | 0,40/0,85 | 0,60/0,90 | 0,75/0,99 | 0,80/0,99 | 0,80/0,95 | |
| Porosi in fibra di legno, fissati direttamente sulla superficie | 0,15 | 0,25 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,40 | |
| Porosi in fibra di legno, su listelli | 0,30 | 0,50 | 0,65 | 0,70 | 0,70 | 0,60 | |
| Di legno o legno compensato, con intercapedine fra pannello e superficie, in funzione dello spessore del pannello e dell'intercapedine (min/max) | 0,20/0,40 | 0,10/0,25 | 0,05/0,15 | 0,03/0,10 | 0,03/0,10 | 0,03/0,05 | |
| In lana di legno mineralizzata, applicati a contatto con la superficie | Spessore 25 mm | === | 0,10 | 0,30 | 0,70 | 0,50 | 0,50 |
| | Spessore 35 mm | === | 0,15 | 0,25 | 0,50 | 0,90 | 0,65 |
| | Spessore 50 mm | === | 0,25 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,90 |
| Rigidi in gesso rivestito, spessore 13 mm, 18% area perforata, montati, dalla superficie, a: | 58 mm | === | 0,40 | 0,63 | 0,82 | 0,64 | 0,43 |
| | 200 mm | === | 0,75 | 0,78 | 0,64 | 0,60 | 0,58 |
| Di lamierino in alluminio in strisce sagomate, forato per il 15% dell'area, con lana minerale posteriore | 0,50 | 0,75 | 0,75 | 0,85 | 0,75 | 0,70 | |
| Di metallo perforato con materiale poroso posteriore | 0,30 | 0,60 | 0,85 | 0,85 | 0,80 | 0,70 | |
| Appesi verticalmente (baffles), in fibra di vetro o minerale, con superficie (una sola faccia) uguale a quella del soffitto | 0,20 | 0,30 | 0,65 | 0,99 | 0,99 | 0,95 | |

segue Tabella B1.2

| VARIE I | | Coefficienti di assorbimento acustico α | | | | | |
|---|----------------------------------|--|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Frequenze (Hz) | | | | | |
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Persona seduta o in piedi | | 0,15 | 0,30 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,50 |
| Orchestra con strumenti su di un podio; per ogni persona | | 0,40 | 0,80 | 1,0 | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| Sedili non occupati | di legno o di metallo | 0,15 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 0,30 |
| | imbottiti e ricoperti di velluto | 0,25 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,70 | 0,60 |
| | imbottiti e ricoperti in pelle | 0,35 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,50 |
| Sedili occupati | di legno o di metallo | 0,30 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 0,85 | 0,85 |
| Pubblico seduto su sedili imbottiti e ricoperti in pelle | | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 0,95 | 0,95 | 0,90 |
| Arredamenti imbottiti (per ogni m ² di pavimento o parete coperto) | | 0,60 | 0,75 | 0,85 | 0,90 | 0,80 | 0,80 |
| VARIE II | | Assorbimento α in dB/100 m | | | | | |
| | | Frequenze (Hz) | | | | | |
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Aria: 15 °C, 75% U.R. | | 0,03 | 0,07 | 0,16 | 0,38 | 0,85 | 2,0 |
| Nebbia: 30 m visibilità | | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| Erba: 10÷30 cm altezza | | 1,0 | 1,4 | 2,0 | 2,8 | 4,0 | 5,6 |
| Campi di grano, cespugli fitti, foresta poco fitta | | 3,5 | 5,0 | 7,0 | 10,0 | 14,0 | 20,0 |
| Foresta fitta con sottobosco | | 7,0 | 10,0 | 14,0 | 20,0 | 28,0 | 40,0 |
| Superficie d'acqua (piscina) | | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

B2 - MATERIALI E TECNOLOGIE PER IL FONOSOLAMENTO

PARTE I

MISURA E VALUTAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO

Nelle **Tabelle B2.1, B2.2 e B2.3** che seguono sono riportati i risultati delle misurazioni di certificazione del potere fonoisolante di pareti e solai in elementi di laterizio normale ed alleggerito, eseguite nei Laboratori delle Università di Parma e di Padova, nonché nei Laboratori dell'Istituto Giordano. Inoltre, per gentile concessione dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, è riportato un estratto della banca dati del potere fonoisolante.

Tabella B.2.1. Pareti monostrato in elementi di laterizio

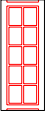
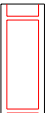

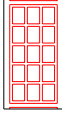
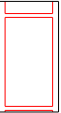
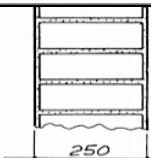
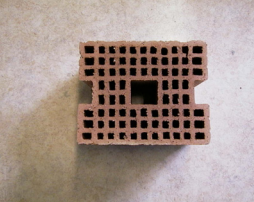
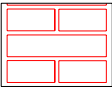
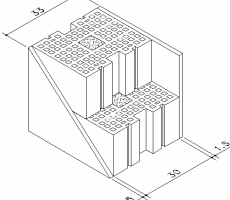
| Schema di montaggio | Descrizione | Spessore totale (m) | Massa superficiale (kg/m ²) | R _w (dB) |
|---|---|---------------------|---|---------------------|
|  | Parete in mattoni forati da 8 cm (8 x 25 x 25), a fori orizzontali, foratura 60 %, intonacata con malta M3 con 1,5 di spessore su ambo i lati. | 0.110 | 135 | 42 |
|  | Parete in blocchi di laterizio alleggerito in pasta (alveolato) spessi 8 cm (8 x 45 x 22,5, foratura = 45 %), a fori verticali, intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati. | 0.110 | 110 | 38 |
|  | Parete costituita da blocchi semipieni di laterizio alleggerito in pasta (12x25x19 cm), con foratura inferiore al 45 %, disposti con fori verticali, intonacata su un solo lato con 1,5 cm di malta cementizia. | 0.135 | 155 | 43 |
|  | Parete di elementi forati in laterizio, spessi 12 cm (12 x 25 x 25), foratura = 60 %, a fori orizzontali, intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati. | 0.150 | 150 | 42 |
|  | Parete in blocchi di laterizio alleggerito in pasta (alveolato) spessi 12 cm (12 x 45 x 22,5, foratura = 45 %), a fori verticali, intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati | 0.150 | 165 | 41 |
|  | Parete in mattoni pieni di laterizio spessi 23 cm (23 x 11 x 6) intonacata su ambo i lati con 1 cm di malta di calce e cemento | 0.250 | 400 | 53 |
|  | Parete realizzata con blocchi semipieni in laterizio alleggerito (porizzato) per murature armate, posati con asse dei fori verticale (25x18x30 cm), con fori grandi riempiti di calcestruzzo, intonacata su ambo le facce con 1,5 cm di intonaco. | 0.280 | 340 | 53 |
|  | Parete a due teste di mattoni semipieni di 25 cm di spessore (12 x 25 x 5,5, foratura = 32 %), intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati. | 0.280 | 440 | 51 |
|  | Parete realizzata con blocchi ad "H", alleggeriti in pasta, con fori riempiti di malta (30x25x17 cm); intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm). | 0.330 | 390 | 56 |

Tabella B.2.2. Pareti multistrato in elementi di laterizio

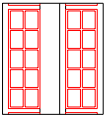
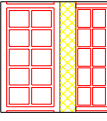
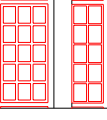
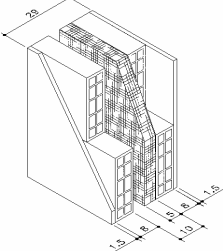
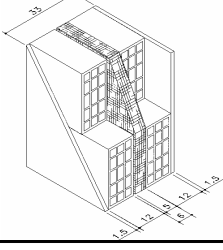
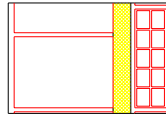
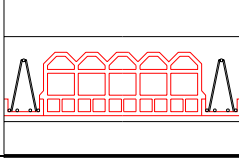
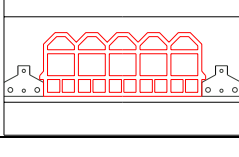
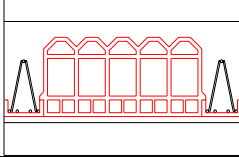
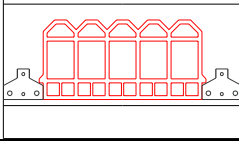
| Schema di montaggio | Descrizione | Spessore (m) | Massa superficiale (kg/m ²) | R _w (dB) |
|---|--|--------------|---|---------------------|
|  | Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine d'aria (5 cm); forati da 8 cm (8 x 25 x 25, foratura 60%) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm). | 0.255 | 200 | 46 |
|  | Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine (lana di vetro 4 cm, 100 kg/m ³); forati da 12 cm (12x25x25, foratura 60%) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm). | 0.270 | 235 | 51 |
|  | Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine d'aria (4 cm); forati da 12 cm (12x25x25, foratura 60%) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm). | 0.285 | 240 | 47 |
|  | Parete realizzata con tavolato in tramezze normali a 10 fori (8x25x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno; intercapedine di 10 cm con lana di roccia da 5 cm (50 kg/m ³) appoggiata al tavolato; tavolato in tramezze normali a 10 fori (8x25x25 cm) ed intonaco sul lato esterno. | 0.290 | 190 | 50 |
|  | Parete realizzata con tavolato in tramezze normali a 15 fori (12x25x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno; intercapedine di 6 cm con lana di roccia da 5 cm (densità 50 kg/m ³); tavolato in tramezze normali a 15 fori (12x25x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno. | 0.330 | 250 | 49 |
|  | Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine (lana di vetro 4 cm 100 kg/m ³); forati normali (25x18x13, f = 55%) a fori verticali, intonacati su ambo i lati (1,5 cm). | 0.400 | 360 | 52 |

Tabella B.2.3. Solai in laterocemento

Risultati di misurazioni effettuate su solai privi di rivestimento di pavimentazione e massetto ripartitore.

| Schema di montaggio | Descrizione | Spessore (m) | Massa superficiale (kg/m ²) | R _w (dB) |
|---|--|--------------|---|---------------------|
|  | Solaio con travetti a traliccio (interasse = 50 cm) e pignatte tipo A da 16 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.215 | 270 | 49 |
|  | Solaio con travetti precompressi (interasse = 50 cm) e pignatte tipo A da 16 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.215 | 270 | 48 |
| - | Solaio a pannelli prefabbricati (interasse = 80 cm), con pignatte tipo B da 16,5 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.220 | 320 | 48 |
| - | Solaio a lastre precomprese spesse 4 cm (interasse = 120 cm), con pignatte tipo B da 12 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.240 | 420 | 51 |
|  | Solaio con travetti a traliccio (interasse = 50 cm) e pignatte tipo A da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.255 | 340 | 50 |
|  | Solaio con travetti precompressi (interasse = 50 cm) e pignatte tipo B da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.255 | 360 | 50 |
| - | Solaio a pannelli prefabbricati (interasse = 80 cm), con pignatte tipo B da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.255 | 370 | 52 |
| - | Solaio con pignatte in laterizio alveolato tipo A da 20 cm e travetti a traliccio con fondello in laterizio alveolato (interasse = 60 cm) con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.255 | 360 | 51 |
| - | Solaio a pannelli prefabbricati (interasse = 80 cm), con pignatte tipo B da 16,5 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.285 | 460 | 53 |

PARTE II

BANCA DATI POTERE FONOIOLANTE DELL'IEN "G. FERRARIS"

Come ampiamente e dettagliatamente descritto in diverse parti di questo Manuale, il ricorso a strutture fonoisolanti per ridurre la propagazione nell'ambiente circostante del rumore emesso da una sorgente, o per attenuare la trasmissione per via aerea di rumori da un locale all'altro, è un tipo d'intervento assai diffuso e praticato nel campo della bonifica acustica. Ma come sono realizzate tali strutture? quali sono i materiali che le compongono? e come è possibile valutare e, soprattutto, prevedere l'efficacia acustica, ovvero il potere fonoisolante, di ognuna di esse?

Mentre nella Scheda n°3 della seconda parte di questo Manuale sono esposti i principi teorici che stanno alla base dell'impiego e della scelta di tali strutture, nel Capitolo 6 della prima parte e nel Capitolo B2 di questa terza parte sono riportati diversi esempi pratici attraverso i quali è possibile abbozzare una prima risposta a tali quesiti. Di fronte però ad una tipologia di strutture estremamente variegata, costituita da parecchie centinaia di prodotti presenti sul mercato, a cui occorre aggiungere una quantità altrettanto ampia di strutture progettate e realizzate per singole e specifiche esigenze, è evidente che il numero di esempi riportati può apparire del tutto insufficiente a chi intenda approfondire, o debba risolvere, specifici problemi in questo campo. Data l'ovvia impossibilità di soddisfare tale esigenza in questa sede, può essere forse utile segnalare l'esistenza di una banca dati, già da diverso tempo disponibile in commercio su CD ROM, realizzata proprio per favorire tutte le attività di progettazione relative a questo specifico intervento di riduzione del rumore, comprese quelle interessate all'uso di modelli previsionali riguardanti le prestazioni acustiche di edifici civili ed industriali.

Tale banca dati nasce dalla raccolta e dalla sistematizzazione di oltre 1500 misure di potere fonoisolante eseguite, dal 1953 ad oggi nel Laboratorio di Acustica dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale G. Ferraris di Torino, su altrettante, differenti strutture divisorie. Nel corso di questi decenni il Laboratorio IEN è stato, ed è tuttora, un centro di riferimento nazionale per quanto riguarda la certificazione delle caratteristiche acustiche di materiali e componenti impiegati nell'edilizia. Ad esso confluiscono i prodotti di industrie situate in ogni parte del Paese, per cui può essere considerato, sempre sotto il profilo acustico, un osservatorio privilegiato dell'evoluzione di questa realtà industriale e, soprattutto, delle sue specificità produttive.

La banca dati in questione è quindi una realizzazione praticamente unica nel panorama nazionale per l'ampiezza delle tipologie costruttive esposte e per la comparabilità dei risultati di misura riportati. Per quanto riguarda il primo aspetto, benché i confini siano in questo campo molto labili, le strutture fonoisolanti in essa contenute possono essere suddivise in tre categorie principali, comprendenti campioni, di tipo tradizionale e prefabbricati, impiegati rispettivamente nell'edilizia residenziale, al di fuori quindi del tipo d'applicazione considerato in questo Manuale, nell'edilizia del terziario (pareti prefabbricate, pareti mobili, pareti attrezzate, ecc., per uffici, scuole e strutture sanitarie), ed infine in campo industriale (strutture multistrato per barriere, coperture integrali e parziali, cabine per operatori). Per quanto concerne invece il secondo aspetto, nell'esecuzione delle misure di potere fonoisolante, ma in generale di tutte le misure nel campo dell'acustica edilizia, il Laboratorio IEN ha, costantemente e rigorosamente, fatto riferimento alla normativa internazionale ISO sia per quanto concerne gli ambienti di prova che le procedure di misura. Pur essendo distribuiti su un periodo di tempo assai lungo, i risultati di misura sono quindi tutti confrontabili tra loro entro gli ambiti di variazione determinati dall'evoluzione della normativa ISO.

Le informazioni che da questa banca dati si possono ricavare relativamente ad ogni struttura fonoisolante considerata sono molteplici. In primo luogo riguardano i risultati di misura del potere fonoisolante, espressi sia in base alla frequenza (tabella+grafico) che sotto forma di indice di valutazione, calcolato sia in conformità alla normativa ISO in vigore all'atto della misura, sia in

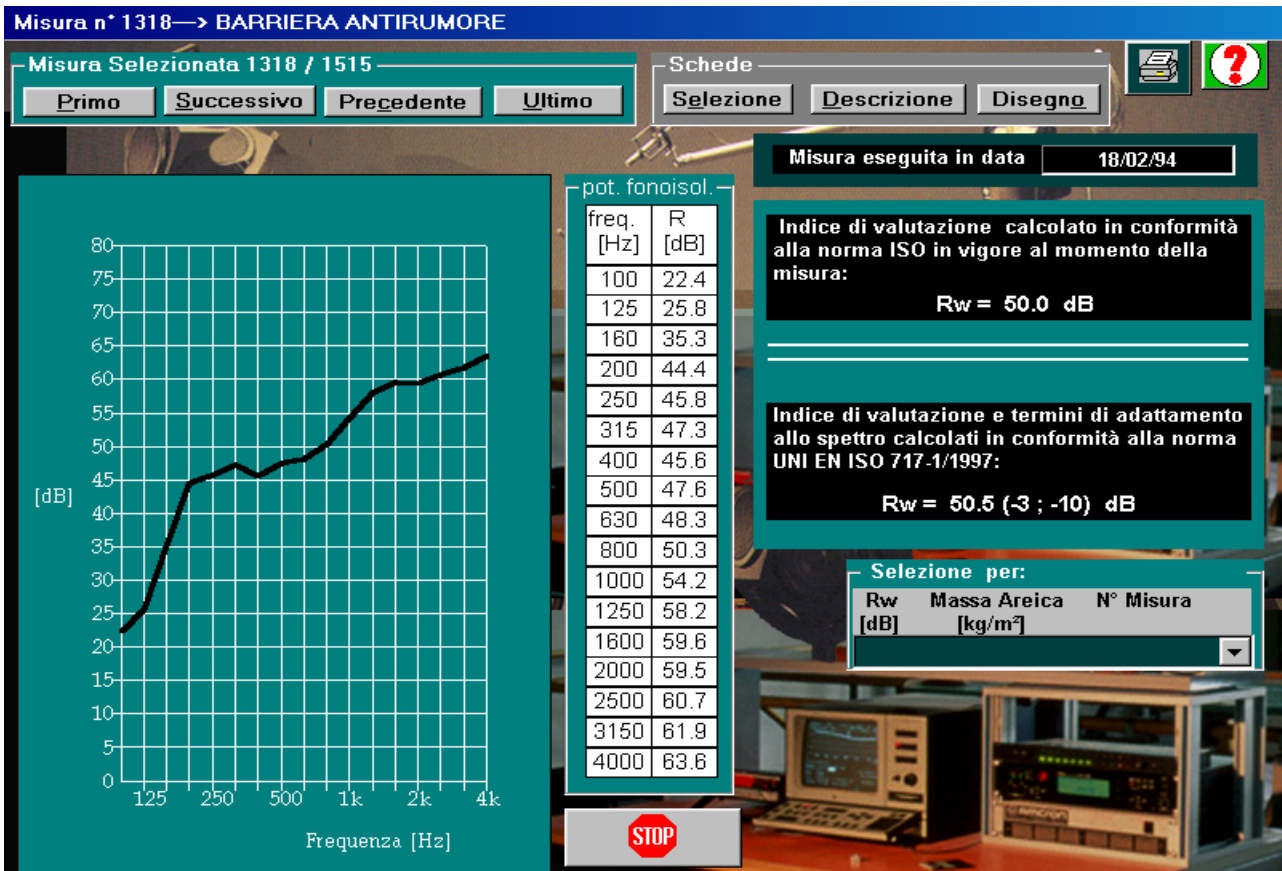
conformità alla norma attualmente in vigore, ovvero la UNI EN ISO 717-1:1997. In secondo luogo, di ogni campione in prova considerato sono riportate, sotto forma di descrizione e di disegno, gran parte delle caratteristiche strutturali: composizione, materiali impiegati, dimensioni, peso/i per unità di superficie, modo di giunzione dei moduli, ecc.

Tramite, infine, il programma di gestione della banca dati è possibile effettuare ricerche interattive nell'archivio dati sulla base di tre parametri di riferimento: indice di valutazione, tipologia, massa areica. E' anche possibile eseguire una ricerca "Full-Text", ovvero rintracciare una struttura tramite una parola contenuta nella scheda di descrizione del campione.

Nelle pagine che seguono sono riportati in "print-screen" alcuni esempi del tipo di rappresentazione e di informazioni fornite dalla banca sui campioni di strutture fonoisolanti in essa contenuti. Per ogni campione sono previste tre schede dove sono riportati: nella prima una descrizione della struttura, nella seconda i risultati di misura e nella terza un disegno in tre viste.

Per informazioni sull'acquisto della banca dati rivolgersi al COREP – Politecnico di Torino, tel. 011-5645103, fax 011-5645199, e-mail giusys@athena.polito.it

SCHERMATURA AD ELEVATO POTERE FONOISOLANTE



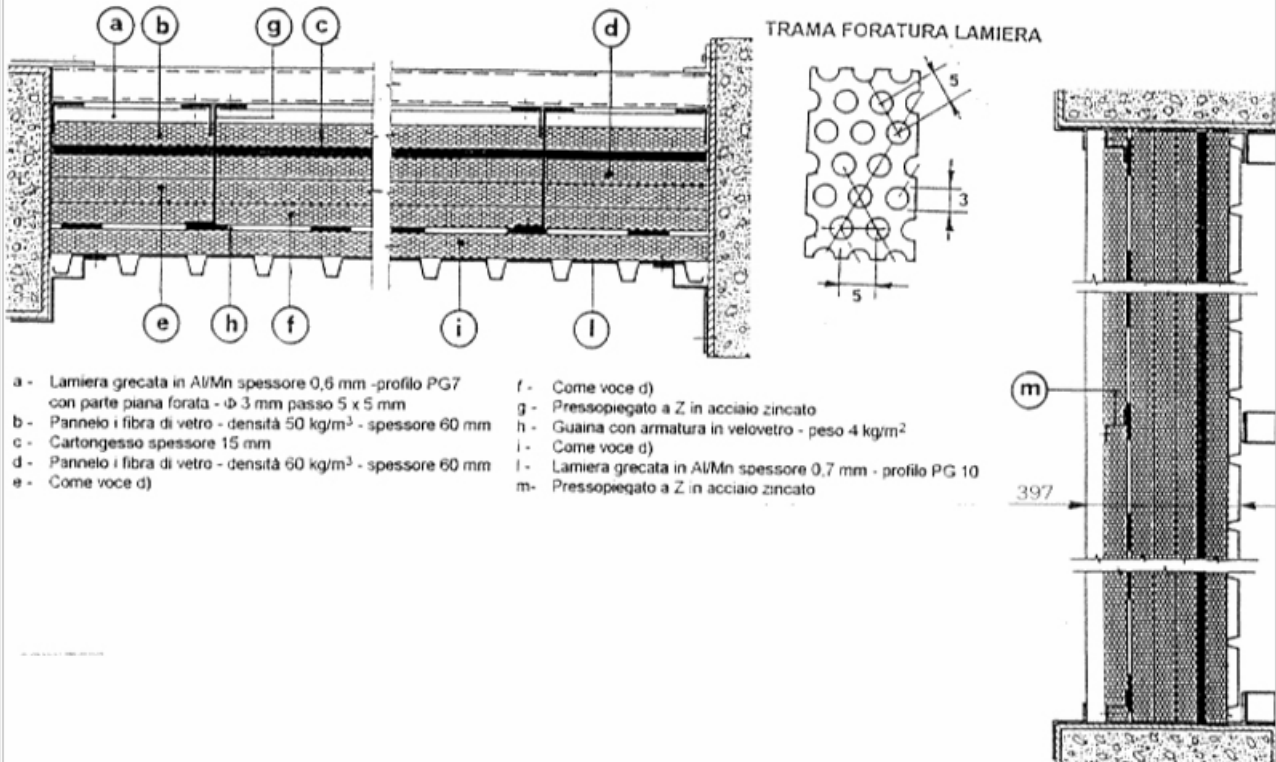
Misura n° 1318 → BARRIERA ANTIRUMORE

Schede

Selezione

Descrizione

Risultati



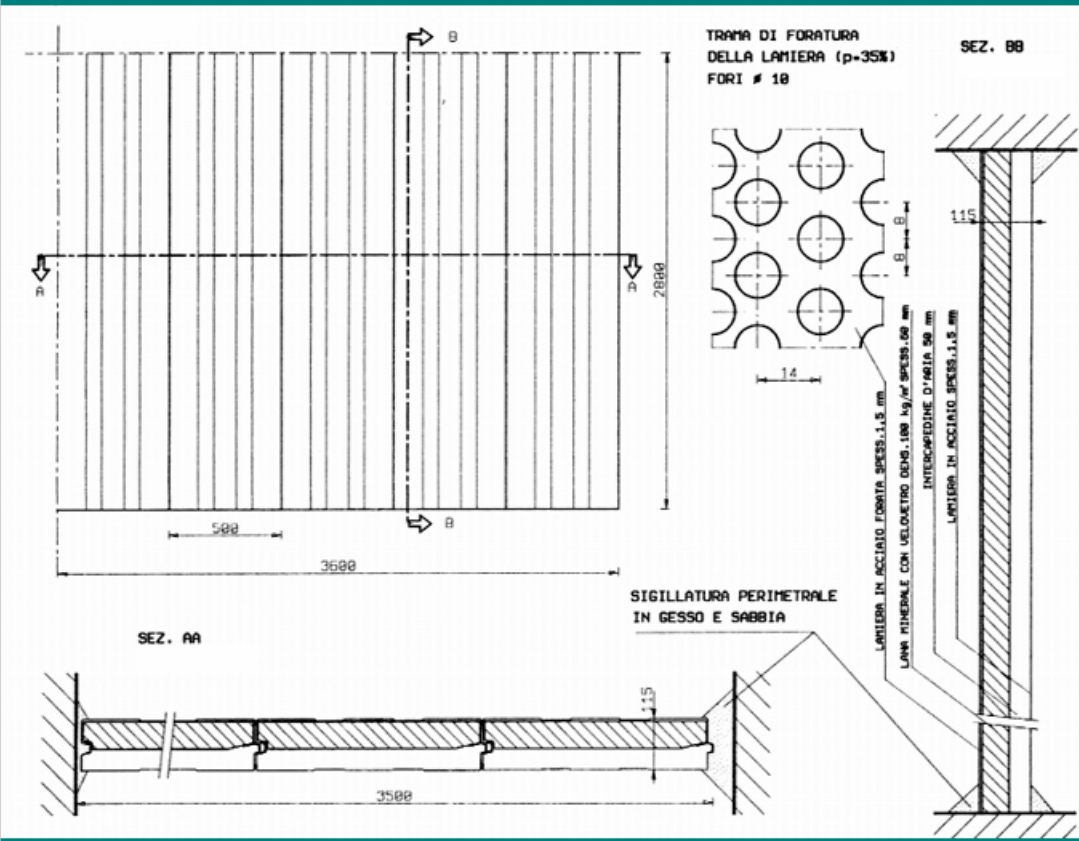
Misura n° 1301 → BARRIERA ANTIRUMORE

Schede

Selezione

Descrizione

Risultati



SCHERMATURA A BASSO POTERE FONOISOLANTE

Misura n° 1135

Misura Selezionata 1135 / 1515

Schede: Selezione Risultati Disegno

Strati

| BARRIERA ANTIRUMORE | Spess. [mm] | Massa Areica [kg/m²] | Massa Volumica [kg/m³] |
|--------------------------------|-------------|----------------------|------------------------|
| 1°-lamiera in alluminio forata | 1 | | |
| 2°-lana di vetro | 20 | | 50 |
| 3°-cartonfeltro bitumato | | | |
| 4°-lana di vetro | 40 | | 100 |
| 5°-lana di vetro | 20 | | 50 |
| 6°-lamiera in alluminio forata | 1 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Sigillatura - Note
 gesso e sabbia

| | |
|--------------|--------------|
| N° strati | = 6 |
| Spessore | = 120 mm |
| Massa Areica | = 16.5 kg/m² |
| Superficie | = 7.2 m² |

Rw = 25.1 (-2 ; -6) dB

Misura n° 1135 → BARRIERA ANTIRUMORE

Misura Selezionata 1135 / 1515

Schede: Selezione Descrizione Disegno

Misura eseguita in data 06/02/91

| freq. [Hz] | R [dB] |
|------------|--------|
| 100 | 11.8 |
| 125 | 12.1 |
| 160 | 8.8 |
| 200 | 7.8 |
| 250 | 13.7 |
| 315 | 17.4 |
| 400 | 21.6 |
| 500 | 19.2 |
| 630 | 21.2 |
| 800 | 26.7 |
| 1000 | 30.1 |
| 1250 | 32.0 |
| 1600 | 35.1 |
| 2000 | 39.0 |
| 2500 | 41.8 |
| 3150 | 45.6 |
| 4000 | 48.4 |

Indice di valutazione calcolato in conformità alla norma ISO in vigore al momento della misura:
Rw = 25.0 dB

Indice di valutazione e termini di adattamento allo spettro calcolati in conformità alla norma UNI EN ISO 717-1/1997:
Rw = 25.1 (-2 ; -6) dB

Selezione per:
 Rw [dB] Massa Areica [kg/m²] N° Misura

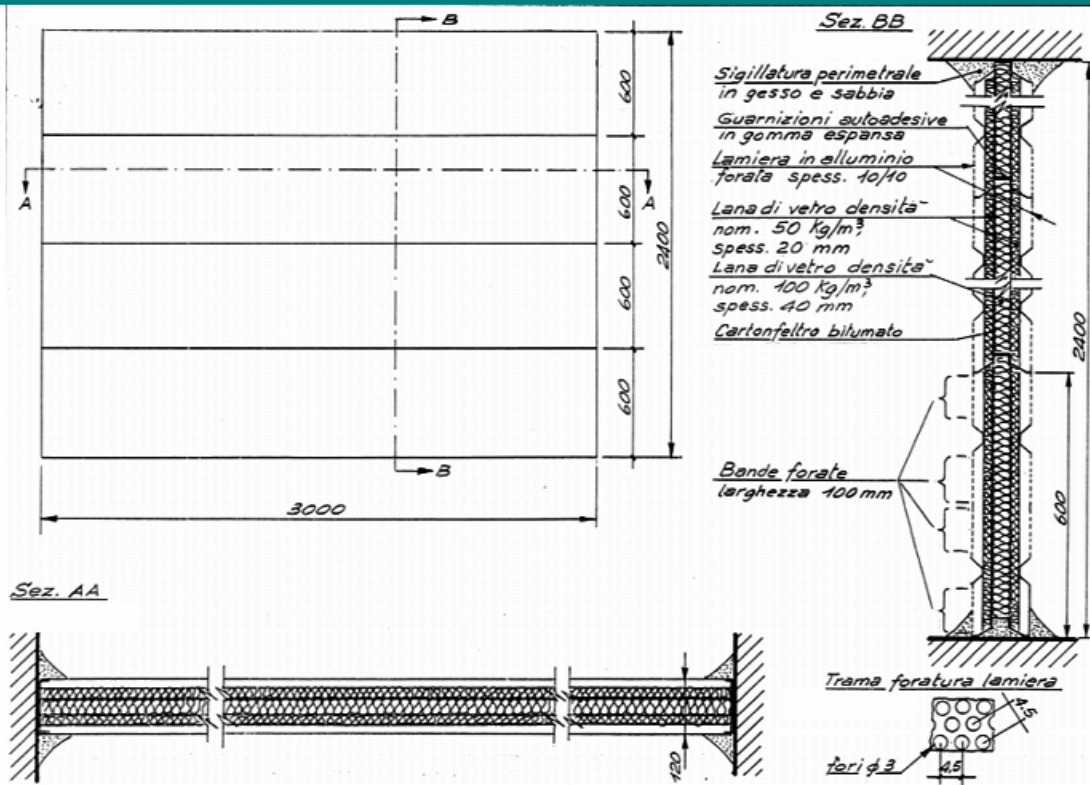
Misura n° 1135 → BARRIERA ANTIRUMORE

Schede

Selezione

Descrizione

Risultati



PARETE PREFABBRICATA AD ELEVATO POTERE FONOISOLANTE

Misura n° 1183

Misura Selezionata 1183 / 1515

Schede

Primo Successivo Precedente Ultimo Selezione Risultati Disegno

Strati

| PARETE LEGGERA: lastra di gesso rivestito | | | |
|--|--------|----------------------|----------------------|
| | Spess. | Massa Areica | Massa Volumica |
| | [mm] | [kg/m ²] | [kg/m ³] |
| 1°-pannello in cartongesso | 12.5 | | |
| 2°-pannello in cartongesso | 12.5 | | |
| 3°-aria | 40 | | |
| 4°-lana di vetro | 60 | | 40 |
| 5°-pannello in cartongesso | 12.5 | | |
| 6°-pannello in cartongesso | 12.5 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Sigillatura - Note
 perimetrale in pasta acrilica

N° strati = 6
 Spessore = 150 mm
 Massa Areica = 48.9 kg/m²
 Superficie = 10 m²

Rw = 54.8 (-2 ; -7) dB

Misura n° 1183 → PARETE LEGGERA: lastra di gesso rivestito

Misura Selezionata 1183 / 1515

Schede

Primo Successivo Precedente Ultimo Selezione Descrizione Disegno

Misura eseguita in data 24/03/92

| freq. [Hz] | R [dB] |
|------------|--------|
| 100 | 30.3 |
| 125 | 35.6 |
| 160 | 39.5 |
| 200 | 40.8 |
| 250 | 47.6 |
| 315 | 49.2 |
| 400 | 50.1 |
| 500 | 54.1 |
| 630 | 57.3 |
| 800 | 59.2 |
| 1000 | 61.0 |
| 1250 | 63.8 |
| 1600 | 63.8 |
| 2000 | 62.0 |
| 2500 | 52.6 |
| 3150 | 54.5 |
| 4000 | 59.7 |

Indice di valutazione calcolato in conformità alla norma ISO in vigore al momento della misura:
Rw = 54.0 dB

Indice di valutazione e termini di adattamento allo spettro calcolati in conformità alla norma UNI EN ISO 717-1/1997:
Rw = 54.8 (-2 ; -7) dB

Selezione per:
 Rw [dB] Massa Areica [kg/m²] N° Misura

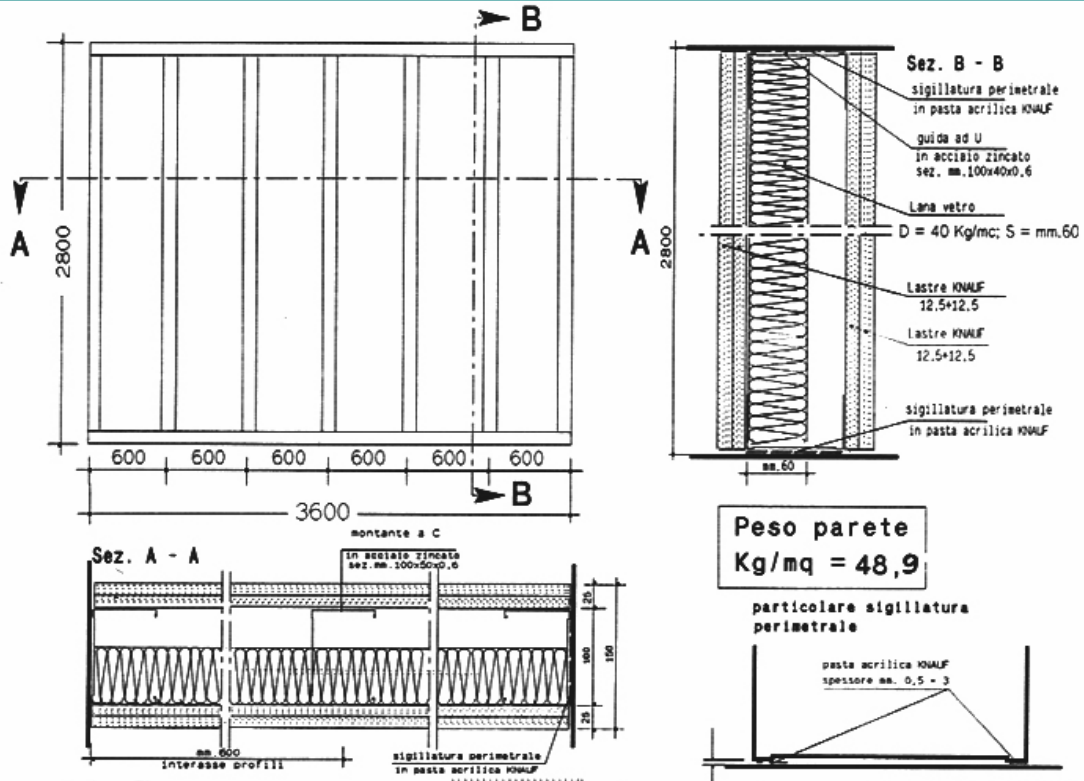
Misura n° 1183 → PARETE LEGGERA: lastra di gesso rivestito

Schede

Selezione

Descrizione

Risultati



PARETE PREFABBRICATA A MEDIO POTERE FONOISOLANTE

Misura n° 1147

Misura Selezionata 1147 / 1515

Primo Successivo Precedente Ultimo

Schede Selezione Risultati Disegno

Strati

| PARETE LEGGERA: parete mobile (separante) | | | |
|--|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | Spess. [mm] | Massa Areica [kg/m ²] | Massa Volumica [kg/m ³] |
| 1°-truciolare nobilitato | 20 | | |
| 2°-lana minerale | 60 | | 50 |
| 3°-truciolare nobilitato | 20 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Sigillatura - Note
guarnizione in pvc

| | |
|--------------|--------------------------|
| N° strati | = 3 |
| Spessore | = 100 mm |
| Massa Areica | = 33.1 kg/m ² |
| Superficie | = 10 m ² |

Rw = 40.3 (-2 ; -6) dB

Misura n° 1147 → PARETE LEGGERA: parete mobile (separante)

Misura Selezionata 1147 / 1515

Primo Successivo Precedente Ultimo

Schede Selezione Descrizione Disegno

Misura eseguita in data 12/04/91

| freq. [Hz] | R [dB] |
|------------|--------|
| 100 | 19.4 |
| 125 | 20.8 |
| 160 | 23.7 |
| 200 | 26.8 |
| 250 | 34.2 |
| 315 | 37.8 |
| 400 | 43.0 |
| 500 | 45.8 |
| 630 | 48.4 |
| 800 | 48.4 |
| 1000 | 44.9 |
| 1250 | 41.7 |
| 1600 | 38.4 |
| 2000 | 38.4 |
| 2500 | 41.1 |
| 3150 | 42.0 |
| 4000 | 42.5 |

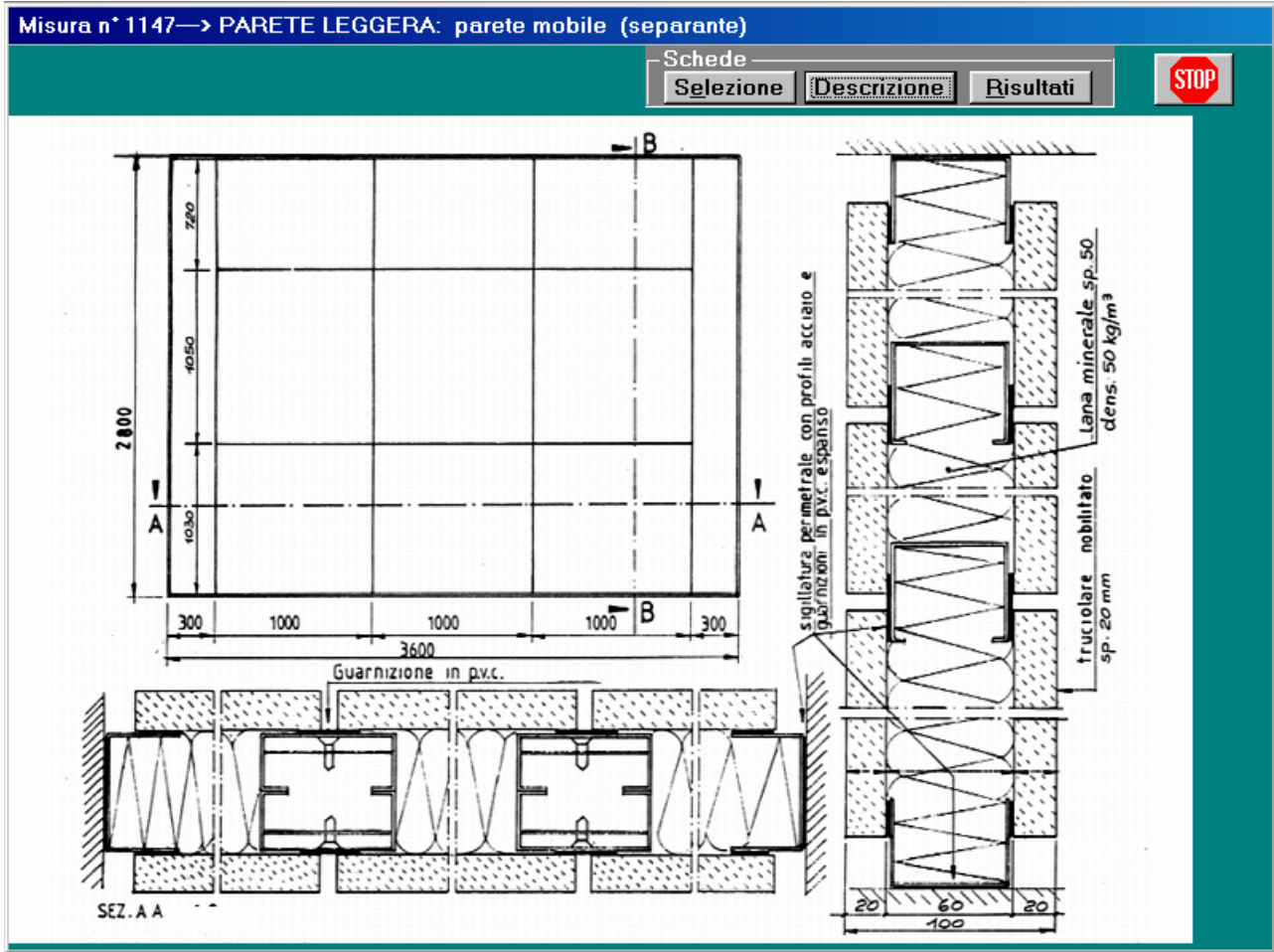
Indice di valutazione calcolato in conformità alla norma ISO in vigore al momento della misura:
Rw = 40.0 dB

Indice di valutazione e termini di adattamento allo spettro calcolati in conformità alla norma UNI EN ISO 717-1/1997:
Rw = 40.3 (-2 ; -6) dB

Selezione per:

| Rw [dB] | Massa Areica [kg/m ²] | N° Misura |
|---------|-----------------------------------|-----------|
| | | |

STOP



B3. MATERIALI SMORZANTI E ANTIVIBRANTI

Di seguito in **Tabella B3.1 e B3.2** sono riportati i principali tipi di materiali smorzanti reperibili sul mercato con le loro peculiari proprietà fisiche e non e con il loro impiego tipico. In particolare nella tabella B.3.1 sono riportati alcuni tipi di antirombo, mentre nella tabella B.3.2 sono descritti i tipi di pads.

Nelle **Tabelle B3.3, B3.4, B3.5, B3.6, B3.7** sono riportati, invece, alcuni materiali antivibranti reperibili sul mercato per l'isolamento delle vibrazioni, con le relative caratteristiche e tipologie d'impiego. In particolare nella tabella B3.3 sono descritti vari tipi di "Isolatori elastomerici", nella tabella B3.4 sono descritti vari tipi di "Supporti per macchinari", nella tabella B3.5 sono descritti vari tipi di "Isolatori a molla", nella tabella B3.6 sono descritti vari tipi di "Isolatori ad aria – pneumatici", e nella tabella B3.7 è presente un esempio di Basamento galleggiante.

Tabella B.3.1 Materiali smorzanti - Antirombo

| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | | Rif. Norma |
|--|--|--|--|--|--|---|------------|
| | | Generali | Proprietà fisiche/chimiche | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | Precauzioni di sicurezza | |
| <p>Antirombo Serie 8220.0003</p> <p>Colorificio Sammarinese s.a. via del Camerario 7 47891 Falciano R.S.M. tel. 0549/905515 fax 0549/908453 www.colsam.com</p> | <p>Prodotto denso in pasta, di colore bruno-nero e a base di idrocarburi.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - buona aderenza su metallo; - buona resistenza alla corrosione ed all'acqua; - rapidità di essiccazione; - possibilità di applicazione in spessori elevati; - non cola se applicato in verticale. | <p>Viscosità Brookfield: Cps. 7000 +/- 500 Peso specifico: 1,60 +/- 0,05 kg/lt Residuo secco: 82% +/- 2% Spessore ottimale: 1 mm. Resa teorica: 1, 2 mq/lt (allo spessore sopraindicato) Aspetto del film: gloss 5 (opaco) Essiccazione fuori polvere: ore 1 e 15' a 18°C. Essiccazione al tatto: ore 6 - 8 a 18°C. Essiccazione in profondità ore 16-24 a 18°C.</p> | <p>Rivestimento a spessore di parti della carrozzeria d'auto soggette a vibrazioni. Usato anche per cabine d'ascensore ed in genere per il rivestimento di manufatti ove è richiesta l'insonorizzazione.</p> | <p>A spatola: tal quale o diluendo leggermente con il 2-3% di diluente per smalti e vernici. A spruzzo: Diluendo col 5-10% massimo di diluente. Aerografo: Si impiega una apposita pistola per Antirombo. La pressione deve essere di 3-4 Atm.</p> | <p>Richiede una scheda di sicurezza predisposta ai sensi dei decreti lgs. n. 52 del 03/02/1997 e n. 285 del 16/07/1998 e loro successive modifiche e richiede etichettatura (D.L. N°52 del 03-02-97 e successive modifiche ed integrazioni). È infiammabile (punto di infiammabilità uguale o superiore a 21°C e minore o uguale a 55°C). Nocivo per inalazione e ingestione.</p> | ND |
| <p>Antirombo B 110</p> <p>Ind. Chimica Reggiana spa Via Gasparini, 7 42100 REGGIO EMILIA - Italia Tel. +39 0522-51780 Fax +39 0522-514384 www.icrsprint-it/it/prodotti/tecniche_icr/ITB110.pdf</p> | <p>Insonorizzante e protettivo a base di gomme e bitumi. Aspetto e colore: Pasta tixotropica di colore nero.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - buona aderenza; - buona resistenza alla corrosione; - rapidità di essiccazione; - è flessibile; - resistenza agli sbalzi termici. <p>Odore: Tipico di solvente.</p> | <p>Punto di ebollizione: 95 - 111°C. Punto di infiammabilità: 4°C. Pressione di vapore: > 6 mbar. Densità relativa: 1,5 Idrosolubilità: Insolubile. Densità dei vapori: > 1.</p> | <p>Per sottoscocche, portiere e tutti i lamierati soggetti a vibrazione.</p> | <p>Si applica a pennello o diluito, a spruzzo con le apposite pistole.</p> | <p>Richiede una scheda di sicurezza predisposta ai sensi dei decreti lgs. n. 52 del 03/02/1997 e n. 285 del 16/07/1998 e loro successive modifiche e richiede etichettatura (D.L. N°52 del 03-02-97 e successive modifiche ed integrazioni). Infiammabile facilmente se sottoposto ad una fonte di accensione, anche a temperature inferiori a 21°C. Nocivo se inalato, ingerito o portato a contatto con la pelle.</p> | ND |

Tabella B.3.1 Materiali smorzanti - Antirombo (segue)

| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | | Rif. Norma |
|---|--|---|--|---|--|---|-----------------|
| | | Generali | Proprietà fisiche/chimiche | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | Problemi di sicurezza | |
| <p>Antirombo Terotex Record 2000 Henkel Loctite Adesivi Srl Via Talete, 56 20047 Brugherio MI Tel: +39 039 21 25.1 Fax +39 039 88 46 72 www.loctite.com</p> | <p>Protettivo sottoscocca elastico a base di gomma e resina.</p> | <p>Colore nero</p> | <p>ND</p> | <p>Protegge la carrozzeria da pietrisco, abrasioni e corrosione. Spruzzato all'interno dei parafranghi ha anche una funzione antirombo.</p> | <p>Spruzzare il prodotto con pistole applicate direttamente alla latta su superfici pulite e asciutte. Il prodotto è sovraverniciabile dopo completa essiccazione.</p> | <p>Richiede una scheda di sicurezza contenente le informazioni sulla salute e sicurezza, predisposta ai sensi dei decreti legislativi n. 52 del 03/02/1997 e n. 285 del 16/07/1998 e loro successive modifiche. Richiede etichettatura (D.L. N°52 del 03-02-97 e successive modifiche ed integrazioni).</p> | <p>ND</p> |
| <p>Antirombo BV000170 Baldini Vernici S.p.A. Via IV Novembre Porcari (Lucca) 55016 telefono: +39 (0)583-2901 (r.a) fax: +39 (0)583-211060 email: info@baldinivernici.it www.baldinivernici.it</p> | <p>Massa plastica bituminosa insonorizzante a struttura fibrosa. Classificazione (UNI 8681) B4. A.O.A.2.RA Pittura per strato di finitura in soluzione, monocomponente, ad essiccamento fisico, opaca, bituminosa.</p> | <p>Elastica ad essiccamento fisico, opaca</p> | <p>Massa volumetrica: 1,100 - 1,200 g/ml (UNI 8910) Viscosità Brookfield: Cps (ASTM D 2196) 25000 - 70000 Resa teorica per mano: 2 - 4 mq \ Lt (ISO 7254) Spessore secco consigliato: 100 - 400 micron per mano (ASTM D 1186) Punto di Infiammabilità: > °C 36 (UNI 8909)</p> | <p>Nei sottoscocca insonorizza la superficie e preserva dall'azione abrasiva del pietrisco e dall'erosione dei sali.</p> | <p>Applicazione a rullo % in volume pronto all'uso. Applicazione a pennello % in volume, diluire max 5 %. Applicazione a spruzzo ed aria % in volume, diluire max 10-20 %.</p> | <p>Richiede etichettatura (D.L. N°52 del 03-02-97 e successive modifiche ed integrazioni). Richiede una scheda di sicurezza contenente le informazioni sulla salute e sicurezza, predisposta ai sensi dei decreti legislativi n. 52 del 03/02/1997 e n. 285 del 16/07/1998 e loro successive modifiche.</p> | <p>UNI 8681</p> |

Tabella B.3.2 Materiali smorzanti - Pads

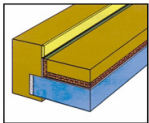
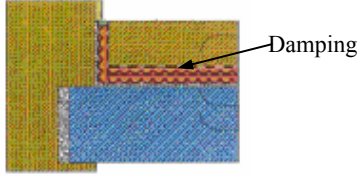
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Rif. Norma |
|---|---|--|--|---|---|------------------|
| | | Generali | Proprietà fisiche/chimiche | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Damping a fogli 6010 BA Dodge-Regupol 715 Fountain Ave. Lancaster, PA 17601 Telephone: 717.295.3400 Toll Free: 800.322.1923 Fax: 717.295.3414 www.regupol.com</p> | <p>Rotoli o fogli di granuli di gomma riciclata e poliuretano.</p>  | <p>- grande elasticità; - a prova di muffa; - capacità di carico elevata.</p> | <p>Peso: circa 7,5 kgs/m²; Colore antracite; Carico max 5 N/cm² (5,000 kp/m², 10 psi); Spessore: 17 mm per lato; Temperatura: range da -40°C fino a 110°C (a breve termine).</p> | <p>Basi per elevatori, motori, generatori di corrente e condizionatori, pavimenti industriali. Altre applicazioni: pads, giunti d'espansione in edifici.</p> | <p>Esempio di applicazione:</p>  | <p>DIN 4109</p> |
| <p>Pads Isolgran No Vibro HD e LD Isolpiù-No Vibro LD Nuova Meridiana S.p.A - Pistoia www.nuovameridiana.it/prodotti_anti_vibranti.htm</p> | <p>Materassini ecologici antivibranti costituiti da mescole di gomme naturali e sintetiche anche provenienti dal recupero dei pneumatici fuori uso, legati da poliuretani polimerizzati in massa.</p> | <p>Le caratteristiche elastomeriche permettono l'abbattimento di frequenze vibrazionali > di 20 Hz.</p> | <p>Peso specifico: 0,40, 0,70 e 0,85 (+/- 3%) Kg/dm³. Spessore: 15-30-45 mm. Rigidezza elastica quasi statica (KS) 0,167, 0,0517 e 0,0171 N/mm³. Rigidezza dinamica (KD) (0-12 Hz): 0,39, 0,112 e 0,0375 N/mm³ Rapporto KS/KD: 0,541, 0,4488 e 2,19. Smorzamento isteretico quasi statico: 0,027, 0,156 e 0,043 N/mm³. Massima deformazione statica consigliata: 22 %. Massima tensione statica consigliata: 100 N/cm².</p> | <p>I materassini vengono prodotti con l'uso di avanzate tecniche di pressatura e forniti in rotoli di altezza mt.1 e di lunghezza variabile in funzione delle specifiche applicazioni che sono:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) l'abbattimento delle vibrazioni causate da macchinari industriali quali: <ul style="list-style-type: none"> • presse • magli • compressori • motori elettrici, a scoppio, ecc. 2) l'abbattimento (materassino con peso specifico 0,70 kg/dmc) delle vibrazioni prodotte dal passaggio dei rotabili su: <ul style="list-style-type: none"> • tramvie • metropolitane • ferrovie | <p>La messa in opera e' molto semplice. Ad esempio: si posa il prodotto sulla platea di fondazione in calcestruzzo semplicemente accostando i lembi dei rotolo senza sovrapposizione alcuna. Una volta coperta l'intera superficie si provvederà al getto di completamento in calcestruzzo e alla successiva posa dell'armamento ferroviario (materassino con peso specifico 0,70 kg/dm³).</p> | <p>UNI 10570</p> |

Tabella B.3.2 Materiali smorzanti – Pads (segue)

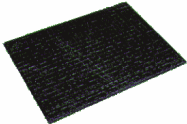


| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Rif. Norma |
|---|--|--|--|--|--|------------|
| | | Generali | Proprietà fisiche/chimiche | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Pad Idikelf –M</p>  <p>Alfakel – Tecnologie per in sonorizzazioni. www.alfakel.it</p> | Prodotto laminato a caldo a base bituminosa caricato con materiali ad alta densità. | Si presenta sotto forma di lastre piane che possono essere tagliate, mediante fustellatura, in pezzi di formato variabile. Colore nero; Spessore: 1,5÷4 mm | Peso specifico: 1,7÷1,9 kg/dm ³ Temperature limiti: -10÷ +90°C Conducibilità termica: 0,45 kcal/mh °C; Resistenza all’acqua: buona; Resistenza a benzina e olio: insufficiente con superfici non protette; Resistenza agli acidi diluiti: media; Termofusibile. | Riducendo le vibrazioni di flessione delle lamiere ed il rumore irradiato, può essere applicato su elementi di motori, macchine industriali, mobili in acciaio, corpi ventilatori, elementi di compressori, frigoriferi, lavatrici, aspiratori, lavastoviglie. | Essendo termoplastico si applica generalmente a caldo (temperature richieste 120÷160 °C). Si può anche applicare a freddo mediante adesivo a base acqua. A caldo si utilizza il materiale standard direttamente sulle superfici trattate prima del ciclo di riscaldamento. | DIN 53440 |
| <p>Pads Np e NG-Kinetics Noise Control</p>  <p>www.kineticsnoise.com</p> | Alta qualità di elastomeri a singola o a doppia nervatura usati a singolo strato o a multi strato. | Possibilità di taglio e foratura per adattamento alle diverse condizioni d’impiego. Diverse possibili dimensioni. | Massimo carico: da 60 a 120 PSI; Freccia (deflessione) stimata: 0,04, 0,09, 0,13 e 0,19 pollici (1, 2.29, 3.3, 4.82 mm). | Possono essere usati per isolare rumore, urti vibrazioni ad alta frequenza generati da attrezzature meccaniche, industriali (di processo) collocate su pendii o in aree non critiche. | ND | ND |
| <p>Pad – Isoloss</p>  <p>www.pigomma.it</p> | Antivibrante viscoelastico costituito da poliuretano espanso a cellule semi-aperte. | Disponibile in rotoli. | Peso specifico: 240, 320 e 400 kg/m ³ . Buona resistenza agli agenti chimici ed all’azione dei raggi UV. Elasticità. | Attenuazione delle vibrazioni e assorbimento degli urti, adatto per carichi leggeri. | ND | ND |

Tabella B.3.2 Materiali smorzanti – Damping – Pads (segue)


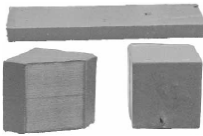
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Rif. Norma |
|--|--|---|---|---|---|------------|
| | | Generali | Proprietà fisiche/chimiche | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Pads Adesivi Rivertek PKV-33</p>  <p>Pigomma S.p.a Biassono (MI) Tel. 039 2753626 - Fax 039 2753616 www.pigomma.it</p> | <p>Antivibrante visco-elastico. Resina termoplastica caricata con componenti visco-elastici.</p> | <p>Colore: nero. Spessore 1 mm. Comportamento alla fiamma: Classe M1 tipo B; Classe M2 tipo A.</p> | <p>Peso: 1,75 kg/m². Durezza shore: D 47. Resistenza alla rottura: 4-7,4 Mpa. Allungamento alla rottura: 17%. Resistenza allo strappo: 78 N. Conducibilità termica (tra 20 e 25 °C): 38,8 W/cm °C.</p> | <p>Riduzione delle vibrazioni di pareti in metallo o di materiale plastico di spessore sottile eliminando così il rumore prodotto dalle vibrazioni e dalle risonanze. Fissaggio immediato delle macchine industriali su pavimentazione con assorbimento delle vibrazioni.</p> | <p>Per il fissaggio di macchine su pavimentazione: 1) tagliare il pad con un coltello bagnato lasciando un margine di 20-30 mm per lato; 2) immergere in acqua per ¾ min e procedere al distacco della pellicola; 3) bagnare con benzina o con solventi (secondo il tipo) e lasciare evaporare; 4) eliminare ogni traccia di grasso dal pavimento e se necessario raschiarlo con spazzola metallica; 5) posizionare il pad sul pavimento e calare sopra la macchina assicurandosi che il pad sporga di 30-40 mm per lato.</p> | ND |
| <p>Pads Kip in fibre di vetro</p>  <p>Kinetics Noise Control www.kineticsnoise.com</p> | <p>Sono costituiti da fibre di vetro inerte, inorganiche, precomprese, rivestite con una barriera flessibile elastomerica.</p> | <p>“Offrono” una frequenza naturale costante per un grande range di carico. Capacità di carico da 20 a 16000 lbs con spessori di 1, 2, 3 e 4 pollici.</p> | <p>Possibili frecce (flessione): da 0,18 a 1,08 pollici (da 4.57 a 27.43 mm).</p> | <p>Adatti per ridurre le vibrazioni prodotte da pompe, frigoriferi, torri di raffreddamento. Utili anche per ridurre la trasmissione di urti prodotti da presse e altri macchinari che producono impatti.</p> | ND | ND |

Tabella B.3.3 Materiali antivibranti – Isolatori elastomerici


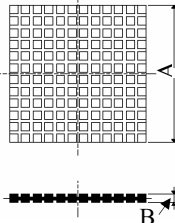

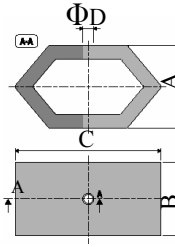

| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|---|---|--|---|--|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>BPD</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>Piastre antivibranti che supportano un elevato carico con un ingombro in altezza ridotto.</p> | <p>La facile deformabilità consentita dalle scanalature garantisce un ottimo assorbimento delle vibrazioni e dei rumori.</p> | <p>Possibilità di carico per ogni piastra: da 1000 a 3000 daN (mescola ad alta sensibilità), e da 3000 a 10000 daN (mescola normale). Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale)</p> | <p>Presse, macchine utensili, gruppi di condizionamento, macchine tessili.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Semplice appoggio tra anti-vibrante e macchina. • Semplice appoggio a pavimento. <p>Dimensioni: A = 210 mm; B = 7 o 14 mm.</p> |  |
| <p>EXAGON</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>Ammortizzatore con componente in gomma: elastomero.</p> | <p>Progettato per complessi leggeri, soggetti a vibrazioni di basse frequenze o frequenze acustiche, oppure per apparecchiature che debbano utilizzare attacchi che consentano notevoli escursioni elastiche.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Cedimento elevato sotto carico. • Basso valore della frequenza propria. <p>Carico da 0,5 a 25 daN (mescola alta sensibilità) da 1 a 40 daN (mescola normale). Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale)</p> | <p>Strumentazioni, apparecchi delicati.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Appoggio oppure fissaggio tra antivibrante e macchina. • Appoggio oppure fissaggio al pavimento. <p>Dimensioni: ΦD da 10 a 12 mm; A da 120 a 160 mm; B da 60 a 90 mm; D = 80 mm.</p> |  |
| <p>Kinetics RQ e RD</p>  <p>Kinetics Noise Control www.kineticsnoise.com</p> | <p>Isolatori in neoprene Ogni isolatore incorpora in basso due fori per bulloni su una piastra d'acciaio e in alto un disco di acciaio di carico per l'attacco al supporto dell'attrezzatura.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - codice a colori per l'identificazione. - nervature anti-sdrucciolevoli sul fondo della superficie di carico. | <p>Gli isolatori sono progettati fino a 0.15 pollici (3.8 millimetri) di deviazione statica; diverse possibili dimensioni; capacità di carico da 25 a 1815 kg; resistente alla corrosione.</p> | <p>Sono usati per ridurre la trasmissione delle vibrazioni generate da piccole pompe, insiemi di sfiasi, unità ad aria a bassa pressione, o da qualsiasi apparecchiatura meccanica situata su una lastra o su un pilastro strutturale quando si ha la necessità di minimizzare il costo d'intervento.</p> | <p>Gli ammortizzatori di vibrazioni in neoprene sono bullonati, con la piastra d'acciaio superiore di trasferimento del carico, all'apparecchiatura sostenuta e, con i bulloni previsti nei fori della piastra inferiore, sono ancorati alla struttura portante.</p> | <p>ND</p> |

Tabella B.3.3 Materiali antivibranti – Isolatori elastomerici (segue)


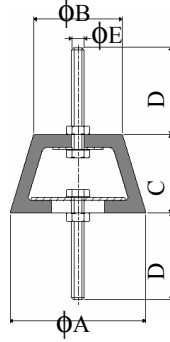

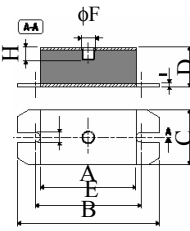

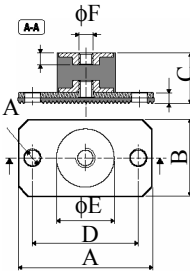
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|---|---|---|---|--|---|--|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Conic</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>L'antivibrante consiste in un corpo cavo di gomma di forma tronco-conica, munito di due perni di attacco.</p> <p>Componenti in gomma: elastomeri.</p> <p>Componenti in metallo: acciaio con trattamento galvanico.</p> | <p>Reagisce con progressivi smorzamenti sia a compressione e sia taglio e con basso valore della frequenza propria.</p> <p>La camera pneumatica all'interno consente grande elasticità senza incorrere in oscillazioni eccessive.</p> | <p>Carico da 10 a 40 daN (mescola alta sensibilità) da 20 a 60 daN (mescola normale).</p> <p>Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Strumentazione, motori, pompe, ventilatori, compressori, condizionatori.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Fissaggio tra antivibrante e macchina. Fissaggio al piano di appoggio. <p>Dimensioni: ϕA da 16 a 60 mm; ϕB da 16 a 60 mm; ϕE da 16 a 60 mm; C da 16 a 60 mm; D da 16 a 60 mm.</p> |  |
| <p>Flexobloc</p>  <p>VIBROSTOP SRL - www.vibrostop.it</p> | <p>L'antivibrante è costituito da un blocco parallelepipedo in gomma aderente al metallo, con asole aperte per maggior facilità di montaggio.</p> | <p>Componente in gomma: elastomeri.</p> <p>Componenti in metallo: acciaio con trattamento galvanico.</p> <p>Sopporta carichi elevati.</p> | <p>Carico da 50 a 5000 daN (mescola alta sensibilità), da 100 a 7000 daN (mescola normale), da 150 a 9000 daN (mescola alta resistenza).</p> <p>Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale) 75° Sh (alta resistenza).</p> | <p>Compressori, motori, pompe, condizionatori, ventilatori, quadri elettrici, macchine utensili.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Fissaggio tra macchinario e antivibrante. Fissaggio a pavimento. <p>Dimensioni: A da 86 a 250 mm; B da 138 a 350 mm; C da 37 a 200 mm; D da 40 a 80 mm; E da 110 a 300 mm; ϕF da 10 a 24 mm.</p> |  |
| <p>GSA</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>L'antivibrante offre una base d'appoggio forata, rivestita in gomma isolante antiscivolo, che ne permette l'installazione anche senza fissaggio a pavimento.</p> | <p>Componente in gomma: elastomeri.</p> <p>Componenti in metallo: acciaio con trattamento galvanico.</p> | <p>Carico da 10 a 600 daN (mescola alta sensibilità) da 20 a 1200 daN (mescola normale).</p> <p>Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Compressori, motori, pompe, condizionatori, ventilatori, quadri elettrici, macchine utensili.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Fissaggio tra macchina e antivibrante. Semplice appoggio con piastra antiscivolo, oppure fissaggio a pavimento. <p>Dimensioni: A da 50 a 200 mm; B da 25 a 100 mm; C da 26 a 58 mm, D da 38 a 160 mm; ϕE da 20 a 100 mm;</p> |  <p>ϕF da 6 a 16 mm.</p> |

Tabella B.3.3 Materiali antivibranti – Isolatori elastomerici (segue)

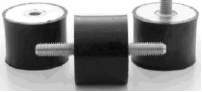
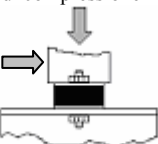
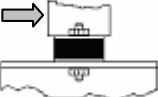
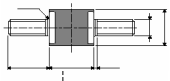
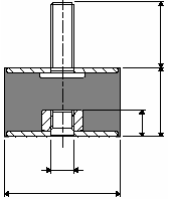
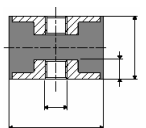

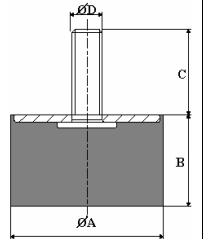

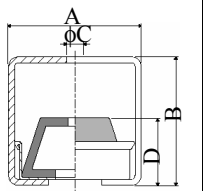
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|---|---|--|--|---|--|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Metalflex</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>Antivibrante con ampia gamma di misure disponibili. E' adatto alle applicazioni dove si richiedono ingombri ridotti e capacità di lavorare al taglio, a compressione ed a torsione.</p> | <p>In esecuzione speciale è fornito con due sedi filettate, o con perno e sede filettata.</p> <p>Componente in gomma: elastomeri. Componenti in metallo: acciaio con trattamento galvanico. Dimensioni contenute.</p> | <p>Resiste alla compressione e al taglio.</p> <p>Carico di compressione</p>  <p>Carico di taglio</p>  <p>Carico da 2 a 600 daN (solo mescola normale). Durezza: 60° Sh (solo mescola normale).</p> | <p>Dischi rigidi, Compressori, Motori, Pompe, Condizionatori, Ventilatori, Elettrodomestici - Quadri elettrici.</p> | <p>Con doppio perno filettato;</p>  <p>Con un perno ed una sede filettata;</p>  <p>Con due sedi filettate.</p>  | |
| <p>PFA</p>  <p>VIBROSTOP SRL - www.vibrostop.it</p> | <p>Antivibrante impiegato per varie applicazioni, garantendo con piccoli ingombri un buon isolamento ed un buon ancoraggio al piano di appoggio anche con carichi elevati.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Componente in gomma: elastomero • Componente in metallo: acciaio con trattamento galvanico. | <p>Carico da 10 a 1000 daN (solo mescola normale). Durezza: 60° Sh (solo mescola normale).</p> | <p>Elettrodomestici, paracolpi.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Fissaggio al macchinario. • Semplice appoggio a pavimento. <p>Dimensioni: φA da 15 a 100 mm; B da 15 e 30 mm; C da 510 e 48 mm; φD da 4 a 16 mm.</p> |  |
| <p>Silentfix</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>Progettato per isolare vibrazioni generate da carichi sospesi, e per proteggere gli stessi da disturbi esterni.</p> <p>E' considerato un antivibrante di sicurezza in quanto la distruzione dei corpi elastici non comporta il distacco delle parti antagoniste.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Sospensione elastica di impianti sospesi. • Un solo punto di fissaggio a soffitto. • Componente in gomma: elastomero. • Componente in metallo: acciaio con trattamento galvanico. | <p>Carico da 5 a 20 daN (mescola alta sensibilità) da 10 a 40 daN (mescola normale). Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Tubazioni, controsoffittature, diffusori acustici.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Fissaggio a soffitto dell'antivibrante. • Fissaggio al tirante inferiore dell'elemento da sospendere. <p>Dimensioni: A 47 e 67 mm; B 45 e 65 mm; φC 5 e 8 mm; D 25 e 36 mm.</p> |  |

Tabella B.3.3 Materiali antivibranti – Isolatori elastomerici (segue)


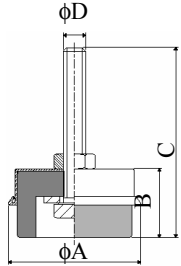

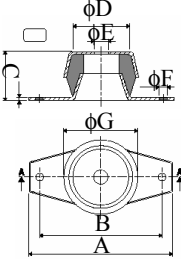

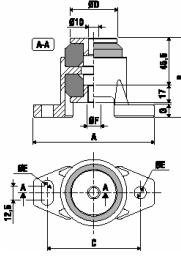
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|---|--|---|--|--|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>TSGE</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>La miglior soluzione per isolare macchinari che non devono esser fissati al pavimento, e non rischiano di rovesciarsi a causa del favorevole posizionamento del baricentro.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Componente in gomma: elastomero. • Componenti in metallo: acciaio con trattamento galvanico. | <p>Carico da 25 a 200 daN (mescola alta sensibilità) da 50 a 400 daN (mescola normale).</p> <p>Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Macchine utensili, gruppi di condizionamento, motori, pompe, ventilatori, quadri elettrici.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Fissaggio tra antivibrante e macchina. • Semplice appoggio al pavimento. <p>Dimensioni: φA da 58 a 120 mm; B da 30 a 50 mm; C da 65 a 110 mm; φD 10 e 12 mm.</p> |  |
| <p>VP</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>E' costituito da un anello in gomma aderente alla struttura in acciaio. La sezione trapezoidale della parte in gomma consente buone deflessioni in tutte le direzioni. Il ridotto ingombro in altezza ne rende facile l'installazione.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Componente in gomma: elastomero. • Componenti in metallo: acciaio con trattamento galvanico. | <p>Carico da 50 a 600 daN (mescola alta sensibilità) da 5100 a 1200 daN (mescola normale).</p> <p>Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Motori, pompe, condizionatori d'aria, ventilatori, gruppi elettrogeni.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Fissaggio tra macchina e antivibrante. • Fissaggio a pavimento. <p>Dimensioni: A da 90 a 230 mm; B da 70 a 200 mm; C da 25 a 60 mm; φD da 40 a 135 mm; φE da 8 a 30 mm; φF da 6 a 16 mm; φG da 50 a 160 mm.</p> |  |
| <p>TS mare</p>  <p>VIBROSTOP SRL - www.vibrostop.it</p> | <p>La sua costruzione impedisce il distacco delle parti in metallo in caso di distruzione dei corpi elastici, e considerata la facilità con cui sopporta forti sovraccarichi.</p> | <p>Funzionamento multidirezionale. Grande capacità di resistenza agli urti. Le caratteristiche elastiche del sistema possono facilmente essere variate serrando il perno centrale.</p> | <p>Lavora in modo ottimale a compressione, trazione e taglio. Carico da 25 a 100 daN (mescola alta sensibilità) da 50 a 200 daN (mescola normale).</p> <p>Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale)</p> | <p>In tutte le applicazioni che richiedono un elevato livello di sicurezza. Motori, Pompe, Ventilatori, Centrifughe, Condizionatori.</p> | <p>Può essere montato appoggiato, sospeso ed anche inclinato.</p> |  |

Tabella B.3.3 Materiali antivibranti – Isolatori elastomerici (segue)


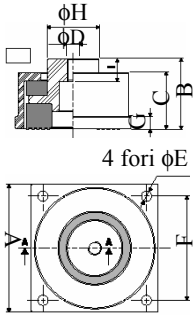

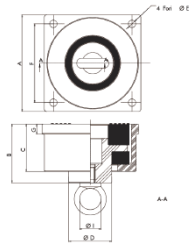
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|--|---|---|--|--|--|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p style="text-align: center;">AA</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>Una delle principali caratteristiche è il suo funzionamento multidirezionale. Componenti in gomma: elastomero. Componenti in metallo: lega di alluminio.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Elastomero protetto: durata nel tempo. • Elevato grado di sicurezza: l'eventuale distruzione degli elastomeri non comporta il distacco delle apparecchiature (es. incendio). • Grande capacità di resistere agli urti: sopporta sovraccarichi istantanei di elevata entità. | <p>Ottimo comportamento nel caso di sollecitazioni assiali (trazione e compressione) e tangenziali. Carico da 10 a 4000 daN (mescola alta sensibilità), da 20 a 6000 daN (mescola normale), da 30 a 9000 daN (mescola alta resistenza). Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale) 75° Sh (alta resistenza).</p> | <p>Motori, pompe, condizionatori d'aria, ventilatori, gruppi elettrogeni, centrifughe, apparati su mezzi di trasporto.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Fissaggio tra macchinario e antivibrante. • Fissaggio al piano di appoggio. <p>Dimensioni: A da 46 a 315 mm; B da 25 a 155 mm; C da 20 a 130 mm; φD da 20 a 130 mm; φE da 3 a 27 mm; F da 34 a 255 mm; φH da 6 a 42 mm.</p> |  |
| <p style="text-align: center;">AAT</p>  <p>VIBROSTOP SRL - - www.vibrostop.it</p> | <p>Antivibrante consigliato per l'isolamento di tubi e canalizzazioni dalle pareti e dai soffitti. Componenti in gomma: elastomero Componenti in metallo: lega di alluminio.</p> | <p>Sopporta carichi sospesi elevati in condizioni di massima sicurezza.</p> <p>Lunga durata degli elastomeri, protetti all'interno del contenitore.</p> | <p>Carico da 25 a 750 daN (mescola alta sensibilità), da 50 a 1500 daN (mescola normale), da 100 a 2000 daN (mescola alta resistenza). Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale) 75° Sh (alta resistenza).</p> | <p>Carichi sospesi, tubazioni, controsoffittature, diffusori acustici.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Fissaggio a soffitto dell'antivibrante. • Fissaggio al tirante inferiore dell'elemento da sospendere. |  |

Tabella B.3.3 Materiali antivibranti – Isolatori elastomerici (segue)


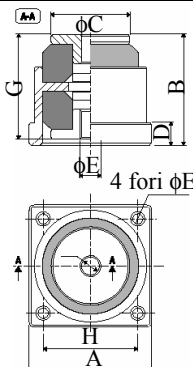
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|---|---|---|---|--|--|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>ACR</p>  <p>VIBROSTOP SRL - www.vibrostop.it</p> | <p>Particolarmente indicato quando le vibrazioni sono accompagnate da sollecitazioni transitorie rilevanti e l'installazione richiede elevate caratteristiche di sicurezza.</p> | <p>Offre numerose possibilità di regolazione della rigidità del sistema.</p> <p>Componenti in gomma: elastomero.</p> <p>Componenti in metallo: lega di alluminio.</p> <p>• Grande capacità di resistenza agli urti.</p> | <p>• Funzionamento multidirezionale.</p> <p>Carico da 50 a 200 daN (mescola alta sensibilità) da 100 a 400 daN (mescola normale).</p> <p>Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Motori, pompe, condizionatori d'aria, ventilatori, centrifughe.</p> | <p>• Fissaggio tra macchinario e antivibrante.</p> <p>• Fissaggio al piano di appoggio.</p> <p>Dimensioni: A = 70 e 110 mm; B = 64 e 95 mm; φC = 45 e 65 mm; D = 13 a 13,5 mm; φE = 8 e 10 mm; G = 60 e 90 mm; H = 56 e 89 mm.</p> |  |

Tabella B.3.4 Materiali antivibranti – Isolatori come Supporti per macchinari


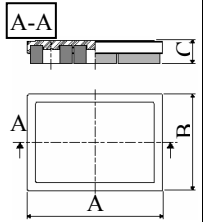


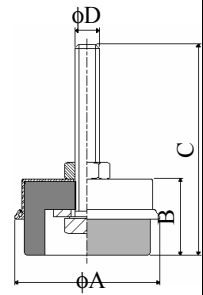

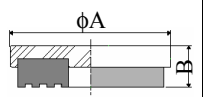

| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|--|---|---|--|---|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p style="text-align: center;">G</p>  <p>VIBROSTOP SRL www.vibrostop.it</p> | <p>Progettato per isolare pesanti macchinari con baricentro basso e conseguentemente tale da escludere rischi di instabilità del complesso. Una variante è dotata di piastra antiscivolo per evitare il contatto metallico tra macchina ed antivibrante.</p> | <p>Componenti in gomma: elastomeri. Componenti in metallo: lega d'alluminio, acciaio.</p> <p>Altezza ridotta.</p> | <p>Carico da 250 a 5000 daN (mescola alta sensibilità) da 500 a 10000 daN (mescola normale). Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Presse, magli, cesoie, macchine utensili, torri evaporative, gruppi di condizionamento.</p> | <p>• Appoggio oppure fissaggio tra macchina e antivibrante. • Semplice appoggio a pavimento.</p> <p>Dimensioni: A da 175 a 410 mm; B da 85 a 355 mm; C = 40 e 80 mm.</p> |   |
| <p style="text-align: center;">TSGE</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>Soluzione per isolare macchinari che non devono essere fissati al pavimento, e non rischiano di rovesciarsi a causa del favorevole posizionamento del baricentro.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Componente in gomma: elastomero. • Componenti in metallo: acciaio con trattamento galvanico. • Facile installazione. | <p>Carico da 25 a 200 daN (mescola alta sensibilità) da 50 a 400 daN (mescola normale). Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Macchine utensili, gruppi di condizionamento, motori, pompe, ventilatori, quadri elettrici.</p> | <p>• Fissaggio tra antivibrante e macchina. • Semplice appoggio al pavimento.</p> <p>Dimensioni: ΦA da 58 a 120 mm; B da 30 a 50 mm; C da 65 a 110 mm; ΦD 10 e 12 mm.</p> |  |
| <p style="text-align: center;">TSPP</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>Progettato per isolare pavimenti da macchinari vibranti. L'assenza di risonanza armonica del pavimento rende il funzionamento più silenzioso.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Componente in gomma: elastomero. • Componenti in metallo: lega di alluminio. <p>C'è una versione dotata di una sede emisferica centrale per l'appoggio di un eventuale perno di regolazione.</p> | <p>Carico da 25 a 200 daN (mescola alta sensibilità) da 50 a 400 daN (mescola normale). Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Presse, magli, cesoie, macchine utensili, torri evaporative, gruppi di condizionamento, pianoforti.</p> | <p>Appoggio oppure fissaggio tra macchina e antivibrante. Semplice appoggio a pavimento.</p> <p>Dimensioni: ΦA da 70 a 200 mm; B 27 e 37 mm.</p> |   |

Tabella B.3.4 Materiali antivibranti – Isolatori come Supporti per macchinari (segue)

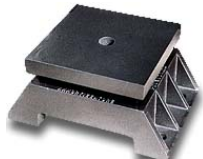
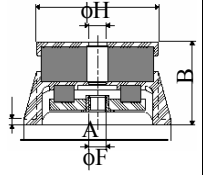
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|---|--|---|------------------------------------|---|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>TSZ</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p> | <p>Progettato per l'isolamento di grandi macchinari con baricentro posizionato in alto rispetto al piano, e dei quali si tema il rovesciamento.</p> | <p>La sua costruzione impedisce il distacco delle parti metalliche anche se i corpi elastici dovessero andare distrutti.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Componenti in gomma: elastomero. • Componenti in metallo: lega di alluminio. | <p>Grande capacità di resistere agli urti: sono possibili sovraccarichi istantanei di eccezionale entità.</p> <p>Carico da 400 a 1000 daN (mescola alta sensibilità) da 800 a 2000 daN (mescola normale).</p> <p>Durezza: 45° Sh (alta sensibilità) 60° Sh (normale).</p> | <p>Presses, magli, bilancieri.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Fissaggio tra antivibrante e macchina. • Fissaggio al piano di appoggio. <p>Dimensioni: ϕF da 12 a 42 mm; A da 250 a 430 mm; B da 80 a 200 mm; ϕH da 12 a 45 mm.</p> |  |

Tabella B.3.5 Materiali antivibranti – Isolatori a molla




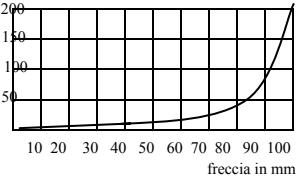
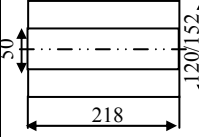
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|--|---|---|--|---|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
|  <p>Ad anello Gomma industriale Snc www.gommaindustriale.it</p> | Antivibranti in gomma naturale. | Supporta sollecitazioni a compressione. | Durezza da 45 a 65 Sh; Carico statico da 200 a 6000 daN; Freccia da 2 a 8,5 mm. | Trovano impiego come respingenti ferroviari e per carrelli per miniera, o come ganci di trazione. | Creati n modo da essere montati in serie mediante rondelle metalliche, garantendo in questo modo il centraggio assiale tra loro. | ND |
|  <p>Ad anello 2 Gomma industriale Snc www.gommaindustriale.it</p> | Antivibranti in gomma naturale vulcanizzata in due rondelle metalliche. | Supporta sollecitazioni a compressione. | Con durezza 60 Sh supporta un carico statico di 800 daN e una freccia di 1,5 mm. | Utilizzato come respingente con sollecitazioni nei due sensi all'asse ed è impiegato su carrelli per miniera e per veicoli ferroviari in genere. | Montaggio in serie, la parte maschio dell'anello metallico si accoppia con la parte femmina in gomma e bordo metallico, così da ottenere freccia e carico desiderato. | ND |
|  <p>Multi anello Gomma industriale Snc www.gommaindustriale.it</p> | È formata da 8 anelli di gomma naturale vulcanizzati tra loro mediante l'interposizione di rondelle di acciaio formando così un unico anti-vibrante. | Questo antivibrante ha tutti gli anelli in asse tra loro. | Durezza 70 Sh. Carichi statici (kN)  | Utilizzato come respingente e gancio di trazione nel settore ferroviario. | ND | Dimensioni: 50 x 120/152 x 218 mm.  |

Tabella B.3.5 Materiali antivibranti – Isolatori a molla (segue)

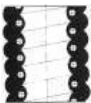
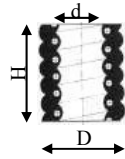
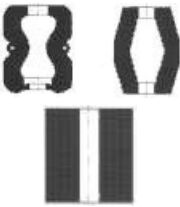

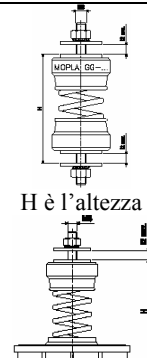
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Molla elia</p>  <p>Gomma industriale Snc www.gommaindustriale.it</p> | <p>Molla elicoidale in gomma con inserto in acciaio armonico.</p> | <p>L'inserto in acciaio permette alle molle di avere prestazioni superiori in termini di portata ed assenza di rumore quando sottoposte a vibrazioni.</p> | <p>Carico 400 e 6000 daN. Freccia (cedimento): 30, 106, e 107 mm.</p> | <p>Utilizzate dove si richiedono elevata flessibilità e basse frequenze.</p> | <p>Diverse possibilità di fissaggio. Dimensioni: d = 30 e 142 mm; D = 60 e 310 mm; H = 100, 326 e 366 mm.</p> |  |
| <p>Molle cilindriche, a clessidra, paracolpi</p>  <p>www.gommaindustriale.it</p> | <p>Supporti antivibranti in gomma ideati alla grande deformabilità con un ottimo ritorno elastico. Le molle a bussola sono in sola gomma e so-no di facile applica-zione su tutte le macchine vibranti.</p> | <p>Il tipo a clessidra ha, nella parte centrale, un cerchio metallico che aiuta a contenere l'espansione diametrale della molla quando è sottoposta ad un carico.</p> | <p>Sopportano bene carichi a compressione e taglio. Carichi da 200 a 4000 daN. Freccia (cedimento): da 24 a 98 mm.</p> | <p>Impiegate come sospensioni per veicoli stradali, autogrù e veicoli ferroviari, o come tamponi fine-corsa di carrelli o gru a scorrimento su ponte. Quelle a clessidra vengono utilizzate su macchine stradali, mentre le paracolpi servono come paraurti su impianti di trasporto e di sollevamento, autocarri, autobus e finecorsa carri ponte.</p> | ND | ND |
| <p>Molle d'acciaio mono molla</p>  <p>www.vibrostop.it</p> | <p>Molla: acciaio C72 con vernice spossidica. Cappucci: elastomero con inserto metallico. Base (solo in alcuni modelli): elastomero con inserto metallico o di lexan.</p> | <p>Consentono un forte cedimento con un piccolo ingombro dimensionale ⇒ ottimo isolamento alle basse frequenze.</p> | <p>Resistenza agli oli, alla corrosione, alle alte temperature. Freccia cedimento da 6,5 (modelli con base) o 14,5 a 27 mm. Capacità di carico: da 12 a 170 kg (secondo i modelli). Frequenza naturale: 3, 3,5, 4 e 6 (m. con base) Hz.</p> | <p>Ideali per isolare macchine che funzionano ad un numero di giri poco elevato, quindi adatti agli impianti di condizionamento, compressori, refrigeratori ventilatori, pompe, trasformatori, gruppi elettrogeni.</p> | <p>Installazione fissa con fissaggio tra macchina e piano di appoggio. Altezze disponibili: da 55 a 113 mm (modelli con base), da 75 a 105 mm gli altri modelli.</p> |  <p>H è l'altezza</p> |

Tabella B.3.5 Materiali antivibranti – Isolatori a molla (segue)




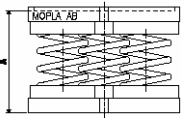
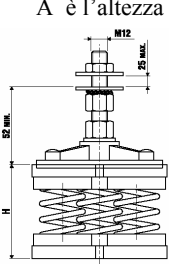



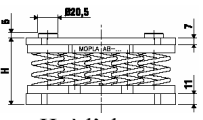

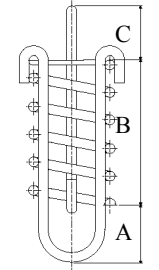
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note | | | | | | |
|---|---|---|--|--|---|---|---|---|----|----|----|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | | | | | | | |
| <p>Molle d'acciaio a 5 molle</p>  <p>VIBROSTOP SRL www.vibrostop.it</p> | <p>Molla: acciaio C72 con vernice spossidica.</p> <p>Base: elastomero con inserto metallico o di lexan.</p> | <p>Consentono un forte cedimento con un piccolo ingombro dimensionale ⇒ ottimo isolamento alle basse frequenze.</p> | <p>Resistenza agli oli, alla corrosione, alle alte temperature.</p> <p>Freccia cedimento da 6,5 a 27 mm;</p> <p>Capacità di carico: da 12 a 920 kg (secondo i modelli);</p> <p>Frequenza naturale: 3, 3,5, 4 e 6 Hz.</p> | <p>Ideali per isolare macchine che funzionano ad un numero di giri poco elevato, quindi adatti agli impianti di condizionamento, compressori, refrigeratori ventilatori, pompe, trasformatori, gruppi elettrogeni.</p> | <p>Installazione fissa con fissaggio tra macchina e piano di appoggio.</p> <p>Possibilità di inserire un pad elastomero con prigioniero.</p> <p>Possibilità di inserire una base elastomerica con inserto metallico.</p> <p>Altezze disponibili: da 52 a 100 mm</p>   |  <p>A è l'altezza</p>  <p>H è l'altezza</p> | | | | | | |
| <p>Molle d'acciaio a 8 molle</p>  <p>VIBROSTOP SRL www.vibrostop.it</p> | <p>Molla: acciaio C72 con vernice spossidica.</p> <p>Base: elastomero con inserto metallico o di lexan.</p> | <p>Consentono un forte cedimento con un piccolo ingombro dimensionale ⇒ ottimo isolamento alle basse frequenze.</p> <p>Altezze disponibili: da 55 a 103 mm.</p> | <p>Resistenza agli oli, alla corrosione, alle alte temperature.</p> <p>Freccia cedimento da 6,5 a 27 mm.</p> <p>Capacità di carico: da 400 a 1460 kg.</p> <p>Frequenza naturale: 3, 4 e 6 Hz.</p> | <p>Ideali per isolare macchine che funzionano ad un numero di giri poco elevato, quindi adatti agli impianti di condizionamento, compressori, refrigeratori ventilatori, pompe, trasformatori, gruppi elettrogeni.</p> | <p>Installazione fissa con fissaggio tra macchina e piano di appoggio.</p> <p>Possibilità di inserire sulla base del materiale lexan o anticorodal.</p>   |  <p>H è l'altezza</p> | | | | | | |
| <p>Molle d'acciaio</p>  <p>www.vibrostop.it</p> | <p>Supporto a molla progettato per impianti sospesi.</p> <p>Molla: acciaio C72;</p> <p>Gancio: acciaio Inox</p> | <p>Consentono un forte cedimento con un piccolo ingombro dimensionale ⇒ ottimo isolamento alle basse frequenze.</p> | <p>Resistenza agli oli, alla corrosione, alle alte temperature.</p> <p>Freccia cedimento: 10-25 mm;</p> <p>Capacità di carico: da 20 a 170 kg</p> <p>Frequenza naturale: 3,5-5 Hz</p> | <p>Sospensione di impianti ed apparecchiature (canali, condizionatori, tubazioni).</p> | <p>Fissaggio tra tubazione e soffitto.</p> <p>Dimensioni:</p> <table border="1" data-bbox="1534 1157 1780 1220"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>90</td> <td>20</td> </tr> </table> | A | B | C | 20 | 90 | 20 |  |
| A | B | C | | | | | | | | | | |
| 20 | 90 | 20 | | | | | | | | | | |

Tabella B.3.5 Materiali antivibranti – Isolatori a molla (segue)



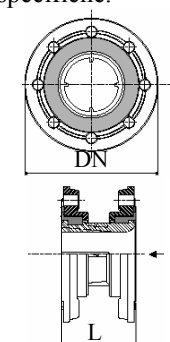
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|---|--|--|--|---|--|--|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Giunti antivibranti</p>  <p>VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it</p>  | <p>Raccordo profilato a Boccaglio-Venturi, con alettature longitudinali per raddrizzare le turbolenze dei filetti fluidi e ridurre le perdite di carico.</p> | <p>Elementi elastici: elastomeri. Flangie: lega leggera. in alluminio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compensazione delle dilatazioni termiche. • Attenuazione colpo d'ariete. • Flessibilità dipendente dal modulo elastico di taglio. • Deformabilità elastica assiale. | <p>Le parti metalliche tollerano acqua con pH inferiore a 6; le flangiature sono, secondo la UNI 2278, per PN 16; i corpi elastici sono in mescola elastomerica per acqua compresa tra -10° e 95°C e pressioni fino a 10 bar. Carico da 15 a 375 kg (secondo i modelli).</p> | <p>Isolamento delle tubazioni dalle vibrazioni, montaggio come tirante. Per le sue caratteristiche idrauliche, il senso del flusso (indicato da una freccia) va dal boccaglio (entrata) al lato venturi (uscita). La cedevolezza elastica principale è assiale e la spinta idrostatica ne provoca l'allungamento e ne accentua la tenuta.</p> | <p>Si raccomanda di montare i giunti con asse verticale in modo da accentuare la tenuta e da favorire un miglior smorzamento delle vibrazioni. I giunti possono sostenere carichi appesi (ad esempio pompe). E' preferibile prevedere una lunghezza maggiore per il montaggio del giunto, in modo da consentire un più agevole montaggio e un precarico tale da consentire una maggiore tenuta dovuta ad un certo tiro elastico.</p> <p>DN da 32 a 200 mm; Lunghezza L da 72 a 160 mm.</p> | <p>E' consigliabile usare degli appendini, in modo da scaricare il giunto nel caso fosse caricato di un peso > alle specifiche.</p>  |

Tabella B.3.6 Materiali antivibranti – Isolatori ad aria - pneumatici.




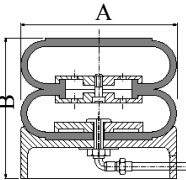
| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|---|---|---|--|--|--|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| KAM e CAM  www.kineticsnoise.com | Isolatori ad aria Standard. | Diverse possibili dimensioni; possibilità di controllo automatico del livellamento e smorzamento variabile secondo le necessità. | Carico da 225 a 10.000 kg | In attrezzature meccaniche e attrezzature per processi industriali che richiedono isolamento alle basse frequenze e per la protezione delle attrezzature sensibili al disturbo provocato dalle vibrazioni provenienti dal pavimento. | ND | ND |
| Pneumofix  VIBROSTOP SRL - Via Savona, 125 - 20144 Milano, Italy - Tel +39-02-4895.0008 Fax +39-02-4895.3807 - www.vibrostop.it | Sistema pneumatico progettato per isolare apparecchiature sensibili alle vibrazioni provenienti dall'ambiente circostante. Componente in gomma: elastomero. Componenti in metallo: lega di alluminio. | Consente un'ampia regolazione della rigidità del sistema variando la pressione dei corpi pneumatici; in questo modo è possibile modificarne la freccia di cedimento e di conseguenza la frequenza propria. Elementi elastici pneumatici. | Carico max: 100 kg; Pressione max: 1 atm per ogni elemento. Particolare del gruppo distribuzione:  | Bilance di precisione. Apparecchiature laser. | Fissato al piano di appoggio. Piano inerziale (opzionale) tra apparecchiature e corpi pneumatici. Impianto pneumatico sul piano di appoggio. |  Dimensioni: A = 165 mm; B = 155 mm. |

Tabella B.3.6 Materiali antivibranti – Isolatori ad aria - pneumatici.


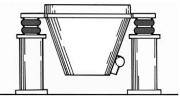



| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|---|--|--|---|--|---|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Molla ad aria standard a piastre smontabili</p>  <p>www.chiaperotti.com Via Ferrero, 100 - 10090 RIVOLI CASCINE VICA (Torino) Tel. 011 957.63.53 - Fax 011 957.56.22</p> | <p>Costituite da un soffietto in gomma telata che può avere una, due o tre anse, fissato a piastre e anelli di estremità aventi la funzione di chiudere il soffietto per permetterne la messa in pressione e il fissaggio meccanico agli organi che dovranno essere sostenuti o azionati.</p> | <p>Caratteristiche di robustezza, semplicità di montaggio, basso ingombro, funzionamento senza attriti; capacità di sviluppare forze di spinta o di contrasto facilmente regolabili. Ampia gamma di dimensioni nominali con diversi tipi di mescola per il soffietto in gomma.</p> | <p>Carico da 7 a 520 daN a 1 bar ad altezza max; da 38 a 1200 daN ad 1 bar ad altezza min. <u>Pressione max di lavoro:</u> 8 bar (valore max da non superare in alcun caso).</p> | <p>1) Come pressore o tensi-natore. 2) Come sospensione antivibrante. 3) Come ammortizzatore. Rappresenta un'ottima soluzione per l'isolamento di macchinario vibrante oppure per proteggere dalle vibrazioni esterne macchinario di misura delicato. Esempio di isolamento di macchinario:</p>  | <p>A differenza dagli elementi antivibranti in gomma piena, la molla ad aria permette di regolare la rigidità della sospensione (regolando la pressione) e la frequenza di taglio (aumentando il volume proprio della molla con volumi esterni supplementari).</p>  | <p>Sono consentiti angoli e disassamenti fra le piastre. Gli esatti valori ammessi dipendono dalla dimensione e dall'altezza di lavoro.</p>  |

Tabella B.3.7 Materiali antivibranti – Basamenti galleggianti

| TIPI | Descrizione | Caratteristiche | | Impiego | | Note |
|--|---|---|---|---|--------------------------|-----------|
| | | Generali | Proprietà | Campi di applicazione | Modalità di applicazione | |
| <p>Basamenti galleggianti</p>  <p>Kinetics Noise Control www.kineticsnoise.com</p> | <p>Il sistema isolante consiste di una barra di supporto superiore in acciaio e supporti con guide di ritorno sul quale poggia l'attrezzatura ed una barra di supporto inferiore attaccata al tetto della struttura, separata da uno stelo, tenuto fermo lateralmente da molle d'acciaio.</p> | <p>Porte d'accesso ad ogni isolatore per ispezionare il livello o per effettuare il cambio delle molle dopo il posizionamento dell'attrezzatura sul posto. Guarnizione elastomerica di materiale inerte per assicurare una chiusura ermetica all'aria e all'acqua tra i condotti e la barra isolante.</p> | <p>Isolamento alle alte frequenze. Fino a 102 mm di freccia (cedimento); Rivestimento in polvere; molle d'acciaio con il 50% di capacità di sovraccarico.</p> | <p>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).</p> | <p>ND</p> | <p>ND</p> |

B4. STRUMENTAZIONE E CODICI DI CALCOLO PREVISIONALI PER L'ACUSTICA

Nelle schede tecniche seguenti sono riportati i prodotti per l'acustica (strumentazione e codici di calcolo), che rientrano nelle finalità del presente Manuale, attualmente commercializzati in Italia dalle ditte specializzate.

Il materiale presentato è stato fornito dalle ditte stesse sotto la loro responsabilità.

BRUEL & KJAER

Bruel&Kjaer Italia S.r.l. Via Trebbia 1 – 20090 Opera (MI)

Tel. 02 5768061; Fax 02 57604524

e-mail: it.info@bjsv.com; URL: <http://www.bksv.com>

Fonometro integratore 2240

<http://www.bksv.com/2240>

Descrizione: fonometro integratore in classe 1, semplice e maneggevole, adatto alle misure in ambiente di lavoro.

Microfono: Il microfono Brüel & Kjær tipo 4188 FALCON™, fornito a corredo, è un microfono a condensatore per campo libero, prepolarizzato (0 V), da 1/2" di seconda generazione, realizzato completamente in acciaio inossidabile, con superiori caratteristiche di stabilità in presenza di umidità, nonché robustezza e resistenza agli urti (testato secondo la IEC 68-2-32).

Calibrazione: in dotazione al fonometro 2240 può essere fornito il calibratore sonoro tipo 4231 a norma IEC 942 in classe 1. Questo calibratore sonoro utilizza una tecnologia esclusiva che rende obsoleti gli altri calibratori sonori in commercio: al suo interno è presente un microfono che verifica istante per istante il livello sonoro generato nella cavità durante la calibrazione del fonometro, assicurando la stabilità e la precisione del segnale di riferimento entro ± 0.15 dB. Si rammenta che lo standard IEC 942 impone per la classe 1 una tolleranza pari a ± 0.30 dB.

Peso e alimentazione: 245 g. incluso le batterie con autonomia di 16 ore.

Conformità agli standards: il 2240 è un fonometro in classe 1 a norme EN 60651, EN 60804 ed EN 61672; ANSI S1.4-1983 Type S1; ANSI S1.43-1997 Type 1.

Dinamica: è pari ad 80 dB, con fondo scala selezionabile tra 30-110 dB e 60-140 dB. Peak: 60-143 dB.

Ponderazione temporale: 'F' Fast

Ponderazioni in frequenza : A (RMS), C (Peak)

Rumore di fondo: <22 dB

Parametri misurabili simultaneamente: L_{AF} , L_{AFmax} , L_{Aeq} , L_{Cpeak} .



Fonometro / analizzatore in tempo reale Brüel & Kjær tipo 2250

<http://www.type2250.com/>

Descrizione: analizzatore statistico e in frequenza in tempo reale, indicato per il rilevamento e la misura dell'Inquinamento Acustico in conformità al **D.M. del 16/03/98**, emanato in applicazione alla **Legge 447/95**.

Hardware: leggero ed ergonomico, pesa solo **650 g.** comprese le batterie ricaricabili. Dotato di una memoria interna di 20 Mb, slot di memorie esterna Secure Digital (SD) e Compact Flash (CF) che permettono la memorizzazione fino a 512 Mb attuali (in futuro anche **8 Gb**), uscita USB e display touch screen, tastiera retro illuminata, microfono incorporato per **commento vocale**, **annotazioni scritte**, indicatore dello **stato della misura tipo semaforo**, riconoscimento automatico presenza correzione per schermo antivento, rappresenta una piattaforma ergonomica, sicura ed immediata nell'uso per le più avanzate analisi di rumore.



Interfaccia utente: in **Italiano con help in linea contestualizzato**.

Microfono: Il microfono Brüel & Kjær tipo 4189 FALCON™, fornito a corredo, è un microfono a condensatore per campo libero, prepolarizzato (0 V), da 1/2" di seconda generazione, realizzato completamente in acciaio inossidabile, con superiori caratteristiche di stabilità in presenza di umidità, nonché robustezza e resistenza agli urti (testato secondo la IEC 68-2-32).

Calibrazione: in dotazione al fonometro / analizzatore tipo 2250 può essere fornito il calibratore sonoro tipo 4231 a norma IEC 942 in classe 1. Il 2250 permette l'esecuzione di routine di calibrazione automatica CIC (**Charge Injection Calibration™**, brevetto esclusivo Brüel & Kjær) che consente di verificare il corretto funzionamento della catena di misura, durante il monitoraggio.

Alimentazione: alimentabile sia con batterie interne agli ioni di litio con **12 h di autonomia**.

Conformità agli standards: il 2250 equipaggiato sia del modulo software BZ7222 che del modulo software di analisi sonora avanzata BZ7223 e BZ7224 è un Fonometro in classe 1 a norme EN 60651, EN 60804 ed EN 61672, un Analizzatore in frequenza real-time in ottave e in 1/3 d'ottava con filtri da 6,3 Hz a 20 KHz conformi alla classe 0 della EN 61260, come richiesto dal D.M.16/03/98, nonché un Analizzatore statistico in tempo reale.

Dinamica: è pari ad **120 dB**, con un unico fondo scala che permette di operare in tutte le situazioni ambientali. Il campo dinamico può essere esteso a 152 dB (BZ 7203) con un microfono 4191. Pertanto la gamma di misura effettiva si estende **da 20 a 152 dB**.

Rumore di fondo: <17 dB (A)

Ponderazioni temporali: al segnale in ingresso che attraversa il rilevatore di valore efficace RMS vengono applicate simultaneamente le ponderazioni temporali "Fast", "Slow" ed "Impulse", con ponderazione in frequenza A, C o Lineare. In parallelo, il rilevatore di Picco può essere impostato su ponderazione C o Lineare.

Registrazione audio: l'audio relativo agli eventi può essere registrato in due modi: utilizzando un registratore DAT o direttamente sul fonometro (in formato file wave) grazie all'ampia memoria disponibile. L'avvio e l'arresto della registrazione possono essere comandati direttamente dall'operatore od associati all'inserimento di un marcatore.

Software di gestione in tempo reale con PC: in tutte le configurazioni proposte, è incluso un software di gestione del 2250 (BZ 5503) attraverso un **collegamento con PC via USB o modem integrato** in uno slot del fonometro.

Software di analisi dati: nelle configurazioni proposte, può essere incluso il software di analisi ed elaborazione dei dati Brüel & Kjær tipo 7820 EVALUATOR™ che permette oltre al trasferimento, la visualizzazione e la gestione dei dati misurati dal 2250, di eseguire analisi avanzate sia nel tempo che in frequenza, in ambiente Windows.

▪ **Applicazioni avanzate**

1. **Acustica architettonica:** Il 2250 sarà completato nel prossimo futuro da applicazioni dedicate alle valutazioni in acustica degli edifici ed architettonica .
2. **Vibrazioni sul corpo umano:** il 2250 può essere collegato attraverso un input sulla parte posteriore dello strumento, ad un trasduttore di vibrazione per la misura (anche in frequenza) delle vibrazioni che agiscono sul sistema mano braccio tra i 6,3 Hz ed i 1500 Hz I(SO 5349). Per quanto riguarda altre applicazioni di misure di vibrazioni Il 2250 sarà completato nel prossimo futuro da ulteriori applicazioni.

Fonometro / analizzatore in tempo reale Brüel & Kjær tipo 2260 Investigator

<http://www.bksv.com/2260>

Descrizione: analizzatore statistico e in frequenza in tempo reale, indicato per il rilevamento

e la misura dell'Inquinamento Acustico in conformità al **D.M. del 16/03/98**, emanato in applicazione alla **Legge 447/95**.

Hardware: a **due canali accoppiati in fase**, dotato di una memoria interna di **32 Mb**, slot PCMCIA, uscita seriale RS232 e display grafico retro-illuminato, rappresenta la piattaforma ideale per le più avanzate analisi di rumore.

Interfaccia utente: in **Italiano con help in linea contestualizzato**.

Microfono: microfono Brüel & Kjær tipo 4189 FALCON™

Calibrazione: in dotazione al fonometro / analizzatore tipo 2260 può essere fornito il calibratore sonoro tipo 4231 a norma IEC 942 in classe 1.

Alimentazione: alimentabile sia con batterie interne che esterne o a rete, progettato per operare "da solo" sul campo (non necessita infatti di un computer per effettuare la misura e la memorizzazione dei dati), offerto in configurazione di Kit comprendente tutto quanto è necessario per eseguire misure di rumore ambientale.

Conformità agli standards: il 2260 INVESTIGATOR™ equipaggiato sia del modulo software BZ7210 che del modulo software di analisi sonora avanzata BZ7206 è un Fonometro Omologato PTB in classe 1 a norme EN 60651, EN 60804 ed EN 61672, un Analizzatore in frequenza real-time in ottave e in 1/3 d'ottava con filtri da 6,3 Hz a 20 KHz conformi alla classe 0 della EN 61260, come richiesto dal D.M.16/03/98, nonché un Analizzatore statistico in tempo reale.

Dinamica: è pari ad 80 dB (BZ 7206), con fondo scala selezionabile, a passi di 10 dB, da 70 dB a 130 dB. Il campo dinamico può essere esteso a 110 dB (BZ 7203) con unico fondoscala 20 – 130 dB. L'impiego dell'attenuatore ZF0023 (da 20 dB) incluso, permette misure fino a 150 dB. Pertanto la gamma di misura effettiva si estende **da 20 a 150 dB**.

Rumore intrinseco: <17 dB (A).

Ponderazioni temporali: al segnale in ingresso che attraversa il rilevatore di valore efficace RMS vengono applicate simultaneamente le ponderazioni temporali "Fast", "Slow" ed "Impulse", con ponderazione in frequenza A, C o Lineare. In parallelo, il rilevatore di Picco può essere impostato su ponderazione C o Lineare.

Memoria interna: il 2260 INVESTIGATOR™ non necessita di un computer portatile per effettuare e memorizzare la misura, è infatti dotato di una **memoria interna non volatile con capacità pari a 32 Mb**, integrabile dall'utente mediante l'utilizzo di schede ATA Flash SanDisk da 32 Mb sul lettore PCMCIA. Il trasferimento dati può avvenire anche usando l'interfaccia RS232 via cavo (115.200 baud/s) oppure utilizzando un modem GSM (9.600 baud/s).

Interfaccia con modelli di calcolo: se impiegato per il monitoraggio e la mappatura del rumore ambientale il 2260 offre ulteriori funzioni esclusive come la **possibilità di interfacciarsi con un GPS** per la georeferenziazione del punto di misura e **l'interfaccia diretta con software previsionali quali il tipo 7810 PREDICTOR e 7812 LIMA**, sui quali è possibile trasferire direttamente i risultati delle misure di validazione del modello.

Registrazione audio: l'audio relativo agli eventi può essere registrato in due modi: utilizzando un registratore DAT o direttamente su un PC (in formato file wave).



Software di analisi dati: nelle configurazioni proposte, può essere incluso il software di analisi ed elaborazione dei dati Brüel & Kjær tipo 7820 EVALUATOR™ che permette oltre al trasferimento, la visualizzazione e la gestione dei dati misurati dal 2260, di eseguire analisi avanzate sia nel tempo che in frequenza, in ambiente Windows.

Applicazioni avanzate

1. **Analisi FFT:** software per misure di rumore e vibrazioni con analisi FFT (429 linee)
2. **Misure di intensità sonora:** il 2260 consente la misura della potenza sonora secondo gli standard **ISO 9614-1** e **9614-2**
3. **Acustica architettonica**
4. **Vibrazioni sul corpo umano:** collegando al 2260 il nuovo condizionatore di segnale Brüel & Kjær tipo 1700 si possono eseguire misure di vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio con filtro di ponderazione in ingresso conforme alla norma **ISO 5349 (2001)** o misurare le vibrazioni trasmesse al corpo intero secondo la norma **ISO 2631(1997)**.

DELTA OHM

Delta Ohm s.r.l., via Marconi 5, 35030 Caselle di Selvazzano (PD)

tel: 049-8977150 fax: 049-635596

e-mail: deltaohm@tin.it url: www.deltaohm.com



L'HD 2010 è un fonometro integratore portatile in grado di effettuare analisi spettrali e statistiche. La dinamica di misura di 80 dB, estendibile con opzione a 110 dB, e la capacità di analizzare il livello sonoro simultaneamente con diverse ponderazioni temporali e di frequenza, consentono di velocizzare e semplificare i rilievi fonometrici.

1.2 Applicazioni

- Rumore in ambiente di lavoro.
- Valutazione dell'inquinamento acustico e del rumore ambientale in genere.
- Identificazione di rumori a carattere impulsivo.
- Valutazione delle emissioni rumorose di apparecchiature ed impianti.
- Valutazione dell'efficacia di insonorizzazioni.
- Acustica architettonica.
- Monitoraggio acustico anche con controllo remoto tramite PC.

1.3 Legislazione Italiana

- Rumore in ambiente di lavoro: D.Lgs. 277/91.
- Inquinamento acustico: Legge 447 del 26/10/95.
- Rilievo del rumore in ambiente aeroportuale: Decreto del 31/10/97.
- Rumore nei locali di intrattenimento danzante: D.P.C.M. 215 del 16/4/99.
- Emissione sonora di macchine D.Lgs. 262 del 4/9/2002.
- Valutazione dei requisiti passivi degli edifici: D.P.C.M. del 5/12/97.

1.4 Caratteristiche tecniche

Misuratore di livello sonoro integratore di classe 1 secondo IEC 61672, IEC 60651 ed IEC 60804.

Microfono a condensatore, polarizzato a 200V, da 1/2" standard, ad elevata stabilità, tipo WS2F secondo la IEC 61094-4.

Misure di livello sonoro in condizioni di campo diffuso con correttore di incidenza casuale software.

Dinamica di misura per canali a larga banda e a banda percentuale costante: 20+140dBA su 5 gamme di 80dB (20+100dBA, 30+110dBA, 40+120dBA, 50+130dBA, e 60+140dBA).

3 canali di misura RMS (A, C e Z) e 2 canali di misura del livello di picco (C e Z) simultanei.

Pesature temporali simultanee FAST, SLOW ed IMPULSE.

Calcolo della DOSE con parametri programmabili.

Tempo di integrazione programmabile da 1 secondo a 99 ore con funzione Back-Erase.

Visualizzazione in forma numerica di 3 parametri a scelta.

Banco parallelo di filtri d'ottava da 16 Hz a 16 kHz in tempo reale in classe 1 secondo IEC 61260:1995.

Ispesl
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome

Spettri mediati da 1s a 99 ore.

Analizzatore statistico del livello sonoro, ponderato A e costante FAST, campionato 8 volte al secondo in classi da 0.5 dB, con calcolo di quattro livelli percentili a scelta da L_1 ad L_{99} .

Display grafico 128x64 pixel di grandi dimensioni.

Memoria permanente da 2 MB (corrispondente a più di 500000 campioni). Memoria espandibile a 4MB su richiesta.

Calibrazioni: acustica con calibratore di livello sonoro od elettrica con generatore incorporato.

Stampa diretta dei parametri acquisiti, mediante la semplice pressione di un tasto e stampa continua (monitor).

Programmi diagnostici.

Uscita DC corrispondente al livello sonoro ponderato A con costante di tempo FAST, aggiornato 8 volte al secondo (presa jack Ø 2.5mm).

Uscita LINE non ponderata (presa Ø 3.5mm).

Porta seriale RS232C standard conforme alla EIA/TIA574. Baud Rate da 300 a 57600 baud.

Alimentazione: quattro batterie alcaline da 1.5V AA. Durata: ~10 ore in servizio continuo oppure alimentazione da rete con tensione continua da 9 a 12 Vdc/300mA (presa Ø 5.5mm).

Dimensioni e peso: 445x100x50mm completo di preamplificatore, 740g (con batterie).

1.5 Opzione 1 “Terzi d’ottava”:

Banco parallelo di filtri di terzo d’ottava da 16 Hz a 20 kHz in tempo reale in classe 1 secondo IEC 61260:1995.

1.6 Opzione 2 “Data Logger”

Memorizzazione dei 3 parametri programmabili 2 volte al secondo e del livello sonoro ponderato A con costante di tempo FAST 8 volte al secondo.

L’opzione “Data Logging” trasforma il fonometro HD 2010 in un registratore di livello sonoro in grado di memorizzare 4 parametri per oltre 11 ore.

1.7 Opzione 3 “Range esteso”

Dinamica di misura per canali a larga banda e a banda percentuale costante: 20÷140dBA su due gamme di 110dB (20÷130dBA e 30÷140dBA). L’opzione comporta la sostituzione del preamplificatore HD2010PN con il modello HD2110P che può essere collegato al corpo del fonometro attraverso un cavo prolunga di lunghezza fino a 100m.

1.8 Opzione 4 “Tempo di riverbero”

Misura del tempo di riverbero sia mediante interruzione della sorgente sonora che con la tecnica della sorgente impulsiva. La misura del tempo di riverbero è simultanea per banda larga, per banda d’ottava da 125 Hz ad 8 kHz e, con opzione, per banda di terzo d’ottava da 100 Hz a 10 kHz. Intervallo di campionamento di 1/32 s.

Calcolo automatico dei tempi di riverbero EDT, T10, T20 e T30 per tutte le bande.

1.9 Software

1. Il programma **DeltaLog5** consente di interfacciare il fonometro al proprio PC in modo semplice ed intuitivo. Le funzioni principali sono:

- Trasferimento dei dati memorizzati dal fonometro alla memoria del PC.
- Visualizzazione in forma grafica e tabellare dei dati acquisiti.
- Esportazione in Excel.
- Confronto degli spettri per bande di terzo d’ottava (col l’opzione “Terzi d’ottava” con le curve isofoniche.
- Controllo dell’acquisizione da PC.
- Gestione del setup del fonometro.
- Aggiornamento del firmware del fonometro

La stesura della documentazione relativa ai rilievi fonometrici risulta facilitata grazie alla comoda funzione che permette di copiare in altre applicazioni i grafici o le tabelle visualizzati da DeltaLog5.

2. Il programma **DeltaLog5Monitor**, oltre a tutte le funzioni fornite dal DeltaLog5 permette anche il completo controllo mediante PC del fonometro. Le funzioni aggiuntive sono:

- Possibilità di connessione via modem con il fonometro.
- Gestione della funzione di monitor.
- Gestione delle funzioni di calibrazione e diagnostiche.
- Programmazione di acquisizioni e monitoraggi automatici.
- Visualizzazione in tempo reale dei dati acquisiti, in forma grafica e tabellare.

3. Il programma DeltaLog5Riverbero consente di automatizzare le misure del tempo di riverbero.

1.10 Norme di riferimento

- IEC 60651:2001, Classe 1
- IEC 60804:2000, Classe 1
- IEC 61672-1:2002, Classe 1 Gruppo X
- IEC 61260:1995 per bande d’ottava e di terzo d’ottava, Classe 1
- ANSI S1.4-1983, Classe 1
- ANSI S1.43-1997, Classe 1
- ANSI S1.11-1986 per bande d’ottava e di terzo d’ottava (opzione), Ordine 3, Classe 1-D, Gamma Estesa.

1.11 Condizioni operative

Temperatura di magazzinaggio: -25÷70°C.

Temperatura di funzionamento: -10÷50°C.

Umidità relativa di lavoro: 25÷90%RH, in assenza di condensa.

Pressione statica d’esercizio: 65÷108kPa.

Grado di protezione: IP64.



L'HD 2110 è un fonometro integratore portatile in grado di effettuare analisi spettrali e statistiche. La dinamica di misura di 110dB e la capacità di analizzare il livello sonoro simultaneamente con diverse ponderazioni temporali e di frequenza consentono rapidità di esecuzione dei rilievi fonometrici anche nei casi più difficili.

1.13 Applicazioni

- Rumore in ambiente di lavoro.
- Valutazione dell'inquinamento acustico e del rumore ambientale in genere.
- Identificazione di rumori a carattere impulsivo e/o con componenti tonali.
- Valutazione delle emissioni rumorose di apparecchiature ed impianti.
- Valutazione dell'efficacia di insonorizzazioni.
- Acustica architettonica.
- Monitoraggio acustico anche con controllo remoto tramite PC.
- Registrazione digitale.

1.15 Caratteristiche tecniche

Misuratore di livello sonoro integratore di classe 1 secondo IEC 61672, IEC 60651 ed IEC 60804.

Microfono a condensatore, polarizzato a 200V, da 1/2" standard, ad elevata stabilità, tipo WS2F oppure WS2D secondo la IEC 61094-4.

Misure di livello sonoro in condizioni di campo diffuso con correttore di incidenza casuale software.

Dinamica di misura per canali a larga banda e a banda percentuale costante: 20+140dBA su due gamme di 110dB (20+130dBA e 30+140dBA).

3 canali di misura RMS (A, C e Z) e 2 canali di misura del livello di picco (C e Z) simultanei.

Pesature temporali simultanee FAST, SLOW ed IMPULSE.

Calcolo della DOSE con parametri programmabili.

Tempo di integrazione programmabile da 1 secondo a 99 ore con funzione Back-Erase.

Visualizzazione in forma numerica di 5 parametri a scelta.

Visualizzazione in forma grafica del profilo temporale di un parametro a scelta con tempo di campionamento da un ottavo di secondo ad un'ora

1.14 Legislazione Italiana

- Rumore in ambiente di lavoro: D.Lgs. 277/91.
- Inquinamento acustico: Legge 447 del 26/10/95, D.P.C.M. del 1/3/91 e Decreto del 16/03/98.
- Rilievo del rumore in ambiente aeroportuale: Decreto del 31/10/97.
- Rumore nei locali di intrattenimento danzante: D.P.C.M. 215 del 16/4/99.
- Emissione sonora di macchine D.Lgs. 262 del 4/9/2002.
- Valutazione dei requisiti passivi degli edifici: D.P.C.M. del 5/12/97.

Ispesl
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome

Banco parallelo di filtri d'ottava da 16 Hz a 16 kHz e di terzo d'ottava da 16 Hz a 20 kHz in tempo reale in classe 0 secondo IEC 61260:1995.
Banco parallelo di filtri di terzo d'ottava, in tempo reale, spostati verso il basso di un sesto d'ottava, da 14 Hz a 18 kHz.
Calcolo delle curve isofoniche secondo ISO 226:1987
Spettri mediati da 1s a 99 ore, ed analisi multispettro, anche MAX o MIN, con tempo di campionamento da 0.5s ad 1 ora.
Analizzatore statistico del livello sonoro, ponderato A e costante FAST, campionato 8 volte al secondo in classi da 0.5 dB, con calcolo di quattro livelli percentili a scelta da L_1 ad L_{99} .
Display grafico 128x64 pixel di grandi dimensioni.
Data logging con memoria permanente da 2 MB (corrispondente a più di 500000 campioni). Memoria espandibile a 4MB su richiesta.
Calibrazioni: acustica con calibratore di livello sonoro od elettrica con generatore incorporato.
Stampa diretta dei parametri acquisiti, mediante la semplice pressione di un tasto e stampa continua (monitor).
Programmi diagnostici.
Misura del tempo di riverbero (opzione) simultanea per banda larga, per banda d'ottava da 125 Hz ad 8 kHz e per banda di terzo d'ottava da 100 Hz a 10 kHz. Intervallo di campionamento di 1/32 s. Calcolo automatico dei tempi di riverbero EDT, T10, T20 e T30 per tutte le bande ed analisi del profilo di decadimento con la possibilità di calcolare il tempo di riverbero su un intervallo a scelta.
Ingresso/uscita digital audio (IEC 60958:1999 type II) con connettore RCA (S/PDIF).
Ingresso/Uscita LINE non ponderata (presa \varnothing 3.5mm).
Porta seriale RS232C standard conforme alla EIA/TIA574. Baud Rate da 300 a 57600 baud.
Alimentazione: quattro batterie alcaline da 1.5V AA. Durata: ~10 ore in servizio continuo oppure alimentazione da rete con tensione continua da 9 a 12 Vdc/300mA (presa \varnothing 5.5mm).
Dimensioni e peso: 445x100x50mm completo di preamplificatore, 740g (con batterie).

1.16 Software

4. Il programma **DeltaLog5** consente di interfacciare il fonometro al proprio PC in modo semplice ed intuitivo. Le funzioni principali sono:

- Trasferimento dei dati memorizzati dal fonometro alla memoria del PC.
- Visualizzazione in forma grafica e tabellare dei dati acquisiti.
- Esportazione in Excel.
- Confronto degli spettri per bande di terzo d'ottava con le curve isofoniche.
- Controllo dell'acquisizione da PC.
- Gestione del setup del fonometro.
- Aggiornamento del firmware del fonometro

La stesura della documentazione relativa ai rilievi fonometrici risulta facilitata grazie alla comoda funzione che permette di copiare in altre applicazioni i grafici o le tabelle visualizzati da DeltaLog5.

5. Il programma **DeltaLog5Monitor**, oltre a tutte le funzioni fornite dal DeltaLog5 permette anche il completo controllo mediante PC del fonometro. Le funzioni aggiuntive sono:

- Possibilità di connessione via modem con il fonometro.
- Gestione della funzione di monitor.
- Gestione delle funzioni di calibrazione e diagnostiche.
- Programmazione di acquisizioni e monitoraggi automatici.
- Visualizzazione in tempo reale dei dati acquisiti, in forma grafica e tabellare.

6. Il programma **DeltaLog5Ambiente** consente di analizzare i dati acquisiti con il fonometro facilitando la compilazione di rapporti di misura. Le funzioni principali sono:

- Ricerca automatica di componenti impulsive e tonali in conformità al Decreto del 16/03/98.
- Analisi statistica.
- Gestione di un archivio delle misure.
- Ricalcolo del livello equivalente con funzione di mascheramento.
- Visualizzazione in tempo reale dei dati acquisiti, in forma grafica e tabellare.

7. Il programma **DeltaLog5Riverbero** consente di automatizzare le misure del tempo di riverbero.

1.17 Norme di riferimento

- IEC 60651:2001, Classe 1
- IEC 60804:2000, Classe 1
- IEC 61672-1:2002, Classe 1 Gruppo X
- IEC 61260:1995 per bande d'ottava e di terzo d'ottava, Classe 0
- ANSI S1.4-1983, Classe 1
- ANSI S1.43-1997, Classe 1
- ANSI S1.11-1986 per bande d'ottava e di terzo d'ottava, Ordine 3, Classe 1-D, Gamma Estesa.

1.18 Condizioni operative

Temperatura di magazzino: -25÷70°C.
Temperatura di funzionamento: -10÷50°C.
Umidità relativa di lavoro: 25÷90%RH, in assenza di condensa.
Pressione statica d'esercizio: 65÷108kPa.
Grado di protezione: IP64.

ORIONE DI BISTULFI srl
Via Moscova, 27 - 20121 MILANO
tel: 026596553-4 fax: 026595968
Email: info@orionesrl.it www.orionesrl.it

**ANALIZZATORE DI RUMORE IN TEMPO REALE
CEL 450 E CEL 490**

NUOVO CEL 490 C1 (per misure decreto 16/03/98):

| | |
|--|---|
| unica gamma dinamica conforme a Norme | 140 dB IEC 61672: 2002 IEC 60651: (1994), IEC 60804: (2000) Filtri: IRC 61620 classe 0 |
| acquisizione contemporanea | F,S,I e Leq (dbA) a partire da 10 millisecondi analisi in 1/3 ottava: L, Lmin, Lmax, Leq, 5xLn% (sia cumulativa che singoli periodi) A,C,Z in banda larga con misura di L, Lmin, Lma: Leq, 5xLn% (sia cumulativa che singoli period misure di picco: A,C,Z selezionabile |
| temporizzazioni automatiche | durata della misura orari di inizio e fine misura |
| calibrazione | adeguamento automatico dello strumento al livello del calibratore memorizzazione livelli ultime 4 calibrazioni |



Disponibili due famiglie: CEL 450 e CEL 490; il primo dedicato alle misure di rumore sul posto di lavoro e generali, il secondo dedicato alle misure ambientali.

Tabella schematica caratteristiche

| | CEL 450 | CEL 490 |
|--|--|--|
| temporizzazione | durata misura (da 1 min a 24 ore) | durata misura (da 1 min a 24 ore) ed orari start/stop (7 progr. fino ad 1 mese in anticipo) |
| time history profilo | 4 parametri banda larga intervalli da 10 ms a 30 min | 4 parametri banda larga intervalli da 10 ms a 30 min |
| time history periodo | | per tutti i parametri selezionabili (inclusi ottave ed 1/3 ottava), con intervalli da 10 ms ad 1 ora |
| parametri misurati in banda larga | L,Leq,Lav,Lmax,Lmin,Lpk,Ltm3,Ltm5,Lepd,Lceq-Laeq,TWA,Lae | L,Leq,Lav,Lmax,Lmin,Lpk,Ltm3,Ltm5,Lepd,Lceq-Laeq,TWA,Lae,5xLn% (selezionabili da 0,1 a 99,9%) |
| parametri misurati in ottave ed 1/3 ottava | L,Leq,Lmax,Lmin, Lpk | L,Leq,Lmax,Lmin, Lpk, 5xLn% (selezionabili da 0,1 a 99,9%) |
| Banda larga | CEL 450.A | CEL 490.A |
| Banda larga +ottave | CEL 450.B | CEL 490.B |
| Banda larga +1/3 ottava | CEL 450.C | CEL 490.C |

Specifiche tecniche

Conforme a Norme

| | |
|------------------------------|---|
| ponderazioni temporali | IEC 61672: 2002 |
| ponderazioni in frequenza | ANSI S1.4: (R2997) |
| ponderazione in ampiezza (Q) | IEC 60651: (1994), IEC 60804: (2000) |
| campo misura | Filtri: IEC 61620 classe 0 |
| rumore di fondo | fast,slow, impulse |
| bande di frequenza | A, C, Z (non ponderato, lineare) |
| | 3, più a scelta: 4,5,6, nessuno |
| | 0 -140 dB RMS (143,3 dB picco) in una unica scala |
| | 17 dB(A) Classe 1, 25 dB(A) Classe2 |
| | 11 bande di ottava: da 16 Hz a 16 kHz |
| | 33 bande 1/3 ottava da 12 Hz a 20 kHz |
| memoria | 2 Mb corrispondenti a 999 misure |
| | 880000 misure in banda larga |
| | 40000 spettri in ottave |
| | 13300 spettri 1/3 ottava |
| alimentazione | 4 batterie alcaline AA |
| | durata 15 ore |
| | alim.esterna: 12V , 150 mA |
| dimensioni | 340 x 100 x 40 mm (incluso gruppo |
| | microfono/preamplif.) |
| peso | 500 g (senza batterie) |
| fissaggio a tripode | 1/4" Withworth femmina |



CASELLA
CEL

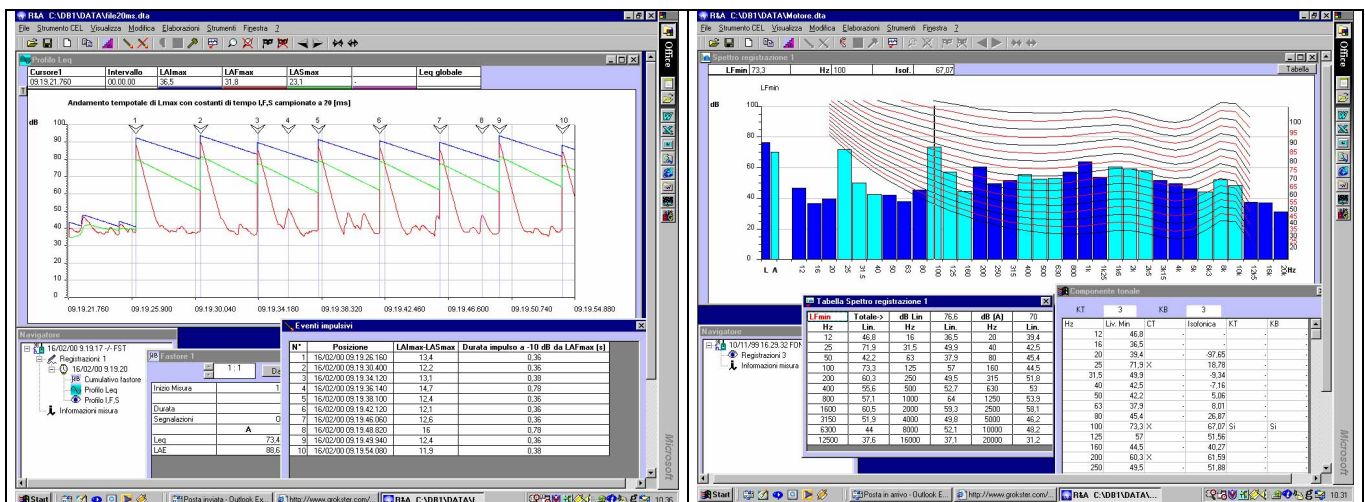
Software RUMORE & AMBIENTE, versione 2

L'analizzatore CEL 490 C1 I viene corredato dal pacchetto software **RUMORE & AMBIENTE**, software di elaborazione in Italiano fatto appositamente per la Legge 447 e decreto sulle misure 16/3/98.

Il software lavora in ambiente Windows ed è stato progettato per la massima facilità di uso, con icone che suggeriscono già la funzione del tasto, permettendo una memorizzazione senza fatica.

In particolare con **R & A** si scaricano i files dalla memoria dell'analizzatore e, a seconda del tipo di misura effettuata, si hanno principalmente le seguenti possibilità:

- presentazione dati generali di misura
- tabella risultati globali misura
- presentazione della time History in grafico ed in forma tabellare
- sulla time history possibilità di operare mascheramenti (soppressione di parti di registrazione con ricalcolo) o di apporre marcatori e note
- analisi statistica con eventuale ricalcolo Ln%
- presentazione degli spettri nelle misure in banda stretta (ottava ed 1/3 ottava) . In particolare, sullo spettro dei minimi 1/3 ottava: evidenziazione *componente tonale* con presentazione grafico isofoniche e calcolo delle stesse con ricerca automatica degli eventuali fattori correttivi KT e KB
- ricerca della *componente impulsiva*, con possibilità di conteggio numero impulsi ed evidenziazione sul grafico della durata dell'evento inferiore ad 1s
- sezione *formule di calcolo* (media energetica, somma di Leq di varia durata, potenza sonora, somma e differenza livelli e spettri, Lepd, Lepw)
- possibilità di produrre in Word e stampare un *rapporto di misura* veloce con i dati ed i grafici più significativi, nonchè di memorizzare modelli di relazioni per un utilizzo ripetuto
- possibilità di trasferire tabelle e grafici su Word o Excel



Riconoscimento componente impulsiva
 Grafico di F,S,I contemporanei
 Tabella con riconoscimento automatico impulsi

Riconoscimento automatico componente tonale
 Sovrapposizione curve isofoniche al diagramma dei minimi misurato dall'analizzatore
 Calcolo tabelle isofoniche (ISO226)
 Verifica automatica applicazione coefficienti correttivi KT e KB

CALIBRATORI ACUSTICI
CEL 110
Classe 1 e Classe 2



Precisione all'avanguardia
per le nuove Norme
IEC 60942:2003

I calibratori CEL 110 sono realizzati per soddisfare le specifiche delle nuove Norme sui Calibratori acustici IEC 60942, 3^a edizione 2003. Questa recente Norma assicura precise calibrazioni in un ampio campo di condizioni ambientali (temperatura, umidità e pressione).

Caratteristiche principali

- soddisfa **IEC 60942:2003** e ANSI S1.4-1984 (R1997)
- compensazione della pressione atmosferica** (automatica nel 110/1 e manuale nel 110/2)
- comportamento acustico altamente stabile
- doppio livello di calibrazione**: 94 dB e 114 dB a 1 kHz (per tipo 110/1)
- chiare indicazioni sul **display** sulla corretta inserzione
- spegnimento automatico per maggiore durata batteria (tipicamente 3 anni di durata)

Il CEL 110 impiega un microfono di alta qualità che, tramite un *anello di retroazione*, permette di mantenere la pressione acustica all'interno della cavità al livello richiesto.

Il CEL 110/1 *compensa automaticamente le variazioni di pressione* atmosferica nel campo da 650 a 1080 mbar. Nel CEL 110/2, pur essendo molto piccola la sensibilità alle variazioni di pressione atmosferica (tipicamente 0,0003 dB/mbar), è possibile compensare manualmente la variazione di pressione inserendo il valore attuale di pressione fornito da un manometro.

Una ulteriore qualità è la presenza del *display*, normalmente non disponibile sui calibratori acustici. Lo schermo a cristalli liquidi fornisce chiare informazioni sul livello e frequenza di calibrazione nonché durata della batteria; inoltre invia un messaggio di errore nel caso il microfono non sia stato inserito correttamente, eliminando un potenziale errore di calibrazione.

Il microprocessore che controlla il CEL 110 rileva quando il microfono viene estratto dal calibratore e *automaticamente lo spegne* dopo qualche secondo. Ciò evita l'inconveniente di dimenticare acceso il calibratore con esaurimento della batteria e permette una durata della batteria fino a 3 anni.

Specifiche tecniche

Modello

CEL 110/1 : calibratore secondo EN (IEC) 60942:2003, classe 1 e ANSI S1.4-1984 (R1997)

CEL 110/2 : calibratore secondo EN (IEC) 60942:2003, classe 2C e ANSI S1.4-1984 (R1997)

Livelli calibrazione

CEL 110/1: 114,0 dB ± 0,4 dB e 94,0 ± 0,4 dB

CEL 110/2: 114,0 dB ± 0,6 dB

Frequenza di calibrazione

1 kHz ± 2Hz

Distorsione armonica:

inferiore al 1,0%

Batteria:

1x9V (PP3, IEC6F22), raccomandato tipo Alcalino Manganese

Durata batteria:

tipicamente 3 anni

Dimensioni:

71x41x100 mm

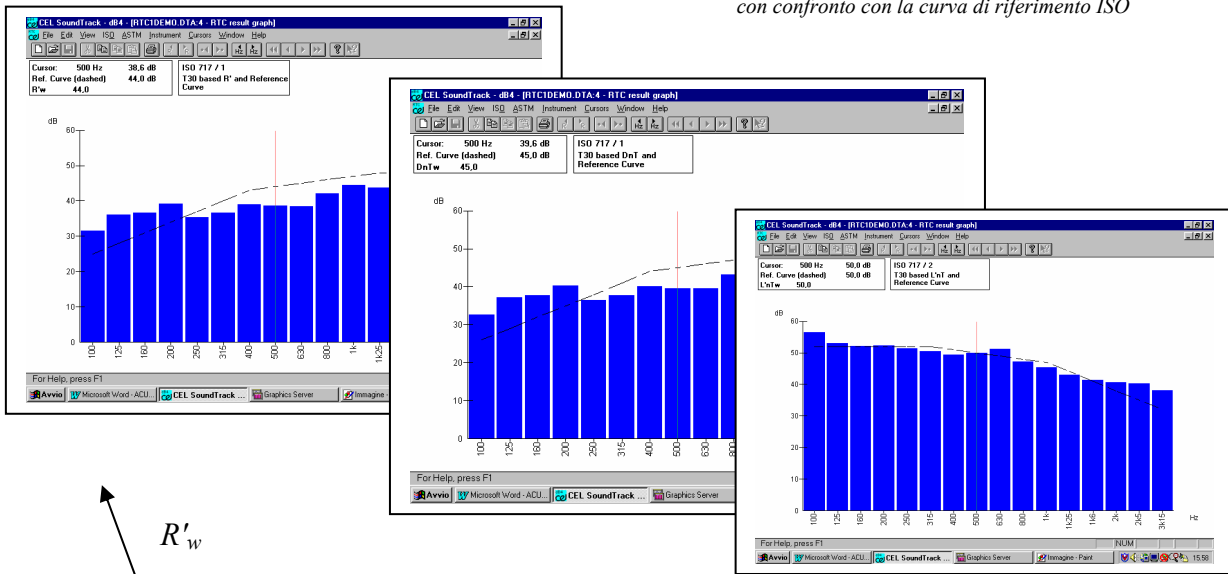
Peso:

180 g, inclusa batteria



ELABORAZIONI MISURE CON SOFTWARE DB4 PER OTTENERE GLI INDICI STANDARDIZZATI DI VALUTAZIONE DELLA ACUSTICA DEGLI EDIFICI

elaborazione automatica dello spettro dei parametri acustici con confronto con la curva di riferimento ISO



R'_w

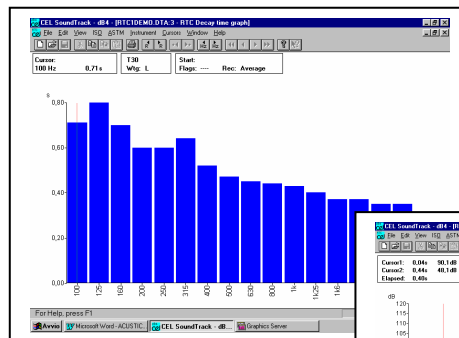
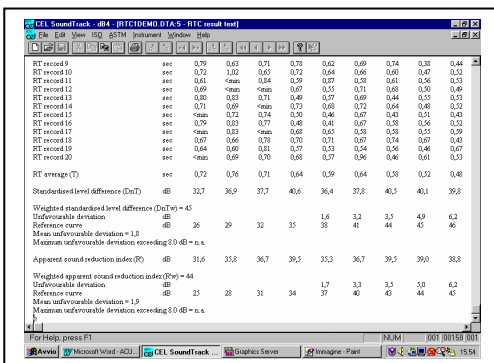
$D_{2m,nT,w}$

$L'_{n,w}$

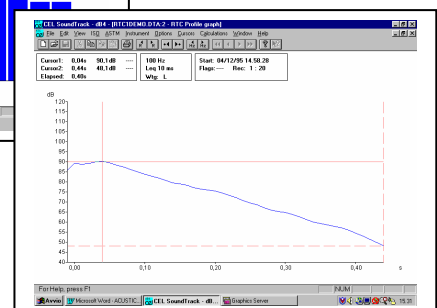
TABELLA B: REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI, DEI LORO COMPONENTI E DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI

| Categorie di cui alla Tab.A | Parametri | | | | |
|-----------------------------|-----------|---------------|------------|-------------|-----------|
| | R'_w | $D_{2m,nT,w}$ | $L'_{n,w}$ | L_{ASmax} | L_{Aeq} |
| 1.D | 55 | 45 | 58 | 35 | 25 |
| 2.A,C | 50 | 40 | 63 | 35 | 35 |
| 3.E | 50 | 48 | 58 | 35 | 25 |
| 4.B,F,G | 50 | 42 | 55 | 35 | 35 |

TABELLA B da DPCM 5/12/1997



RT60 istogramma e decadimenti singoli



Calcolo indici standardizzati tramite confronto con curva ISO

SPECTRA

Via F. Gilera, 110 – 20043 Arcore – Tel. 039 613321 – Fax 039 6133235 –

E-mail: spectra@spectra.it - Internet: <http://www.spectra.it>

SoundBook™

Fonometro Integratore ed Analizzatore Real Time a 2/4 canali per misure, analisi e monitoraggio di rumore e vibrazioni

Un nuovo concetto Hardware e Software ed una nuova filosofia di acquisizione per le misure di rumore e vibrazione.

- Sistema di analisi a 2 / 4 canali + 7 canali accessori, trigger ed rpm.
- Conforme standard IEC 651ed IEC 804 Tipo 1, IEC 61672 Classe 1.
- Filtri digitali in Real Time da 0.8 Hz fino a 20 kHz conformi IEC 1260 classe 0 .
- Ingressi Lemo (microfonici con polarizzazione 200 V), microfoni prepolarizzati, ICP e diretti.
- Linearità dinamica superiore a 80 dB in modo standard ed a 120 dB in modo 'Extended'.
- Analisi dei valori fonometrici e delle bande in frequenza eseguite da processori DSP dedicati.
- Funzionamento 'Multianalisi' con valori fonometrici, time history, oscillogrammi, analisi in frequenza in 1/3 d'ottava, analisi statistica ed analisi FFT, tutte in contemporanea ed in parallelo su ogni canale.
- Contemporanea registrazione dei file audio, continua o a livello di soglia.
- Filtri di pesatura Z, A, B e C e costanti di tempo Fast, Slow ed Impulse in parallelo. Contemporaneo rilievo del valore di picco pesato Z, A e C.
- Hard-Disk da 60 Gbyte, supporto schede PCMCIA, Compact Flash, USB Memory Stick.
- Unità di elaborazione dotata di processore Pentium M con tecnologia Mobile Centrino™.
- Controllo della calibrazione per microfoni ed accelerometri con riconoscimento automatico del livello, della frequenza e della stabilità del segnale di calibrazione; storia delle calibrazioni; gestione archivio trasduttori.
- Schermo da 10.4" TFT (1024x768) ad alto contrasto, touch-screen operativo in modalità 'Tablet PC'.
- Struttura in magnesio, resistenza agli urti ed alle vibrazioni secondo MIL-STD 810F, protezione IP54.
- Gamma operativa in temperatura : -10°C ÷ +50°C.
- Accumulatore interno al Litio con 4 ore di autonomia. Peso 3.1 kg.



L&D-824

Cinque sofisticati strumenti per misure di acustica in un unico fonometro.

Fonometro configurabile in relazione alle specifiche necessità di misura dell'operatore.

- Fonometro integratore di precisione in classe 1 IEC651 / IEC804 con linearità dinamica superiore ai 105 dB.
- Strumento totalmente riconfigurabile con una ampia serie di moduli applicativi implementabili con aggiornamento del firmware.
- Costanti di tempo Fast, Slow, Impulse, Picco e Leq contemporanee ed ognuna con le curve di ponderazione (A), (C) e (Lin) in parallelo.
- Registratore grafico di livello sonoro con possibilità di selezione di 39 diversi parametri di misura oltre alla contemporanea memorizzazione di spettri ad 1/1 e 1/3 d'ottava.
- Analizzatore statistico con curva cumulativa, distributiva e sei livelli percentili definibili tra LN0.01 e LN99.99.
- Identificatore ed acquisitore automatico di eventi sonori, completi di profilo livello-tempo. Marcatore di eventi configurabile.
- Analizzatore in frequenza Real-Time in 1/1 e 1/3 d'ottava IEC1260 con gamma da 12.5 Hz a 20 kHz e con dinamica superiore ai 100 dB ed opzione FFT con 400 linee spettrali 0.5Hz - 20kHz.
- Registrazione veloce delle analisi in frequenza-tempo, con visualizzazione del profilo storico di ogni singola banda.
- Ampio display grafico retroilluminato.
- Grande semplicità di impiego con solo 5 tasti funzione.
- Memoria di 2 Mbyte. (29.400 spettri in 1/3 d'ottava)
- Interfaccia seriale (USB compatibile) con velocità fino a 115 kbps e controllo totale da PC come fonometro virtuale; software per PC palmari in Windows CE con supporto di schede PCMCIA .
- Uscite per controllo diretto delle registrazioni su DAT, HD digitali .wav ed MP3; software per registrazione audio digitale.
- Controllo completo e bidirezionale per la trasmissione dati via Modem, radio-modem o GSM.
- Stampa diretta di completi report di misura.
- Alimentazione con 3 batterie NiMH ricaricabili e sostituibili anche con 3 normali batterie tipo stilo.



N & V Works

Noise & Vibration Works

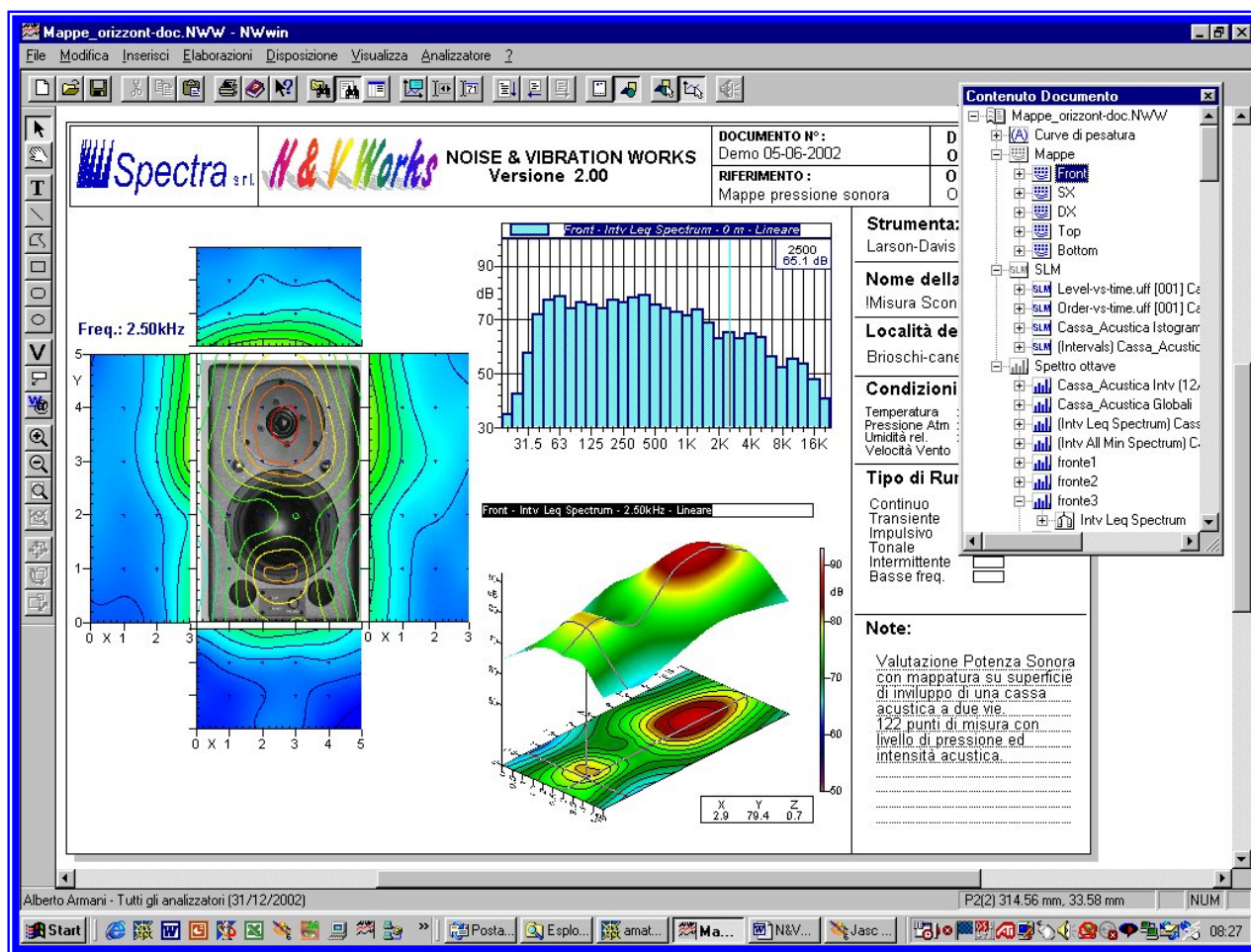
Software for Acoustic & Vibration

Measurement and Reports

Utilizzabile con :

Fonometri
Fonometri Real Time
Analizzatori Statistici
Sistemi Monitoraggio Rumore
Analizzatori di Vibrazione
Analizzatori Multicanali FFT
Analizzatori Tracking

SOFTWARE PER OGNI ESIGENZA NEL SETTORE DELLE MISURE DI RUMORE E VIBRAZIONI



- Supporto real-time dei fonometri Larson & Davis via interfaccia parallela e/o seriale Standard.
- Supporto dei sistemi multicanali FFT incluse le funzioni 'Order Tracking'.
- Importazione universale da file .TXT ed .UFF.
- 'WYSIWYG' ciò che vedo è ciò che stampo.
- Per le analisi in 1/1, 1/3, 1/12, 1/24 d'ottava.
- Per le analisi FFT ed ordini armonici.
- Per analisi su ogni tipo di misura fonometrica.
- Calcoli statistici e operazioni matematiche.
- Identificazione automatica toni puri ed impulsi.
- Funzioni di 'Edit' con mascheramenti selettivi.
- Funzioni di calcolo della Potenza Sonora.
- Grafica 3D con spettrogrammi, e waterfall.
- Mappe isolivello 2D e 3D per ogni tipo di misura.
- Rapporti misure con numero pagine illimitato.
- Gestione foto, immagini, file audio e video.
- possibilità di registrazione di 'file audio.WAV' al riconoscimento di un evento o in continuo.
- Copia su 'Clipboard' per dati e grafici.
- Funzioni 'Drag & Drop' e 'Undo'.
- Controllo strumenti via modem o cellulare GSM.
- Esportazione/Importazione da e per Excel o Word.
- Funzioni di 'Help' in Italiano ed Inglese.
- Versione 'N&VW Reader' libera.
- Operativo in Windows 95 / 98, NT, 2000, XP

01 DB ITALIA

Sede centrale di **Padova**: Via Antoniana, 278 - 35011 Campodarsego

tel. 049 92.00.966 - fax. 049 92.01.239

URL: <http://www.01db.it/>

Symphonie: il laboratorio acustico completo



Il sistema **Symphonie** offre moltissime possibilità nel campo dell'acustica e delle vibrazioni

- Trasduttori multipli: microfoni, accelerometri, sonde di intensità sonora, etc.
- Condizionamento di segnale per i trasduttori più diffusi
- Ingressi e uscite digitali, controllo remoto
- Generatore di segnali (rumore bianco e rosa, sinusoidale, loop)
- Analizzatore a due canali FFT e filtri digitali in classe 0 (IEC 1260)
- Calibrazione manuale o remota automatica
- Ingresso tachimetrico

Tra le applicazioni principali che si possono affrontare con Symphonie ed i relativi softwares:

- Misure secondo D.M. 16/03/98
- Misure di acustica architettonica
- Acquisizioni MLS e calcolo della risposta all'impulso per l'analisi dell'acustica degli ambienti
- Monitoraggio acustico e/o di vibrazioni
- Analizzatore in tempo reale in banda di ottava e 1/3 di ottava da 20 Hz (opzione 1Hz) a 20 kHz
- Analizzatore di spettro in tempo reale a banda fine
- Analisi b.p.c. selettiva fino a 1/48 di ottava
- Registratore digitale
- Spettro di intensità sonora e determinazione della potenza sonora secondo la ISO9614
- Analisi dei transienti
- Identificazione degli eventi
- Multitasking con applicazioni esterne (parametri meteo, accesso remoto e controllo via modem, etc.)
- Loudness, PNL, PLNT in tempo reale, EPNL
- Qualità del Suono

Misure di rumore ambientale: dBENV32

SYMPHONIE trasforma il vostro notebook in un intelligente sistema di monitoraggio di rumore e vibrazioni a lungo termine.

Con il software **dBENV32**, si combinano i vantaggi di un data logger, un fonometro integratore, un registratore digitale di segnali e un analizzatore in tempo reale simultaneamente.

I livelli globali possono essere acquisiti simultaneamente agli spettri in 1/3 di ottava per un periodo di tempo lungo.

Misure secondo il Decreto 16/03/98: 'Pacchetto Italia'

SYMPHONIE equipaggiato con il software appositamente sviluppato per il mercato italiano, consente di eseguire tutte le misure previste dal Decreto 16/3/98. Con il sistema è quindi immediata la ricerca delle **componenti impulsive**, la ricerca delle **componenti tonali**, la **correzione** per la presenza di queste, e così via.

Misure di acustica architettonica: dBBATI32

Con il software **dBBATI32**, Symphonie diventa un efficiente analizzatore per acustica architettonica.

Il software **dBBATI32** consente all'utilizzatore di eseguire uno studio completo di un ambiente, comprensivo dei tempi di riverberazione e delle misure spettrali.

Il calcolo dell'isolamento acustico per via aerea e dell'isolamento per impatto sono eseguiti in accordo alla ISO 717. Grazie ai moduli **ROOM CRITERIA** e **MLS**, **dBBATI32** può calcolare anche la maggior parte degli indici di ambiente (intelligibilità, etc.) utilizzando le più nuove forme di sorgenti acustiche.

Misure di rumore industriale e di vibrazioni: dBFA32

Con il software **dBFA32**, Symphonie diventa un analizzatore a banda fine e a 1/N di ottava per analisi di rumore industriale ed analisi di vibrazioni.

Il software **dBFA32** consiste di un grande numero di moduli diversi quali ad esempio l'analisi in tempo reale, la registrazione digitale, l'intensità sonora e la determinazione della potenza sonora in accordo con la ISO 9614, l'analisi dei transienti e analisi della risposta all'impulso per applicazioni di analisi modale. E inoltre possibile eseguire analisi correlate ad una sonda tachimetrica.

Diversi moduli di post process sono disponibili per eseguire analisi avanzate quali ad esempio la psicoacustica.

Symphonie risponde ai requisiti delle norme in materia di rumore industriale, in ambiente di vita e di certificazione delle macchine.

VANTAGGI DELLA SOLUZIONE Symphonie

- **Sistema a due canali**
- **Sistema in classe 1 con dBTRIG (PTB)**
- **Fonometro, Analizzatore, Registratore digitale**
- **Dinamica di 115dB**
- **Tempo reale**
- **Multi-tasking**
- **Trasduttori multipli**
- **Tutti i vantaggi di un sistema basato su PC**

Harmonie: il multicanale tascabile



Il sistema **Harmonie**, fratello maggiore di Symphonie, aggiunge alle caratteristiche di quest'ultimo:

- 20kHz simultanei su 4 canali (con anche il generatore di rumore)
- analisi in 1/3 d'ottava (1Hz-20kHz) + livelli globali + registrazione audio digitale (sempre su 4 canali)
- PC plug& play

Di dimensioni estremamente contenute (11 x 21 cm), pesa meno di 600 grammi (il peso di un fonometro).

Come le altre piattaforme 01dB, Harmonie prevede il collegamento diretto di microfoni e trasduttori ICP, ed è compatibile con tutta la gamma di software: dBENV32 per l'ambientale, dBATI32 per l'architettura e dBFA32 per l'ingegneria.

Harmonie è sicuramente la soluzione per vari problemi di acustica e vibrazioni: monitor permanente di rumore e vibrazioni, vibrazioni sul corpo umano, misure nell'industria, sui veicoli, analisi modale, ecc.

Harmonie ha la precisione in classe 1 IEC804-651 e in classe 0 IEC1260. Completamente digitale, con 2 DSP a bordo, è estremamente stabile, preciso e affidabile, sia in campo che in laboratorio.

FUNZIONI PRINCIPALI

Il sistema **Harmonie** offre possibilità molto avanzate nel campo dell'acustica e delle vibrazioni

- Trasduttori multipli: microfoni, accelerometri, sonde di intensità sonora, etc.
- Condizionamento di segnale per i trasduttori più diffusi
- Ingressi e uscite digitali, controllo remoto
- Generatore di segnali (rumore bianco e rosa, sinusoidale, loop)
- Analizzatore a quattro canali FFT e filtri digitali in classe 0 (IEC 1260)
- Calibrazione manuale o remota automatica
- Ingresso tachimetrico

Tra le applicazioni principali che si possono affrontare con Harmonie ed i relativi softwares:

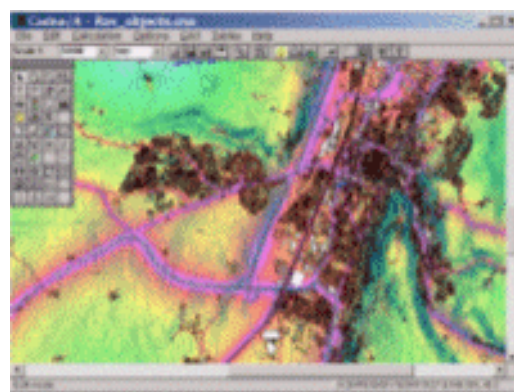
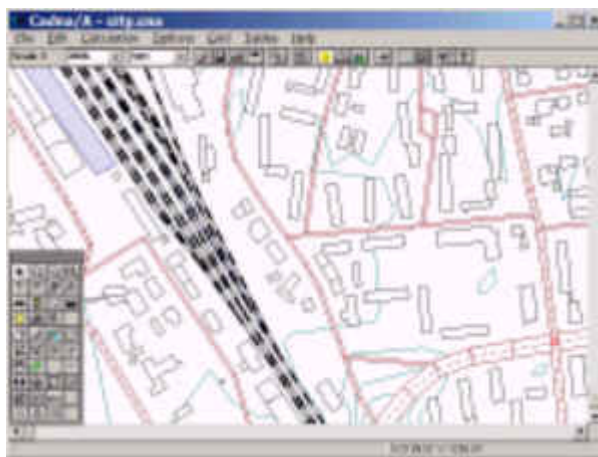
- Misure secondo D.M. 16/03/98
- Misure di acustica architettonica
- Acquisizioni MLS e calcolo della risposta all'impulso per l'analisi dell'acustica degli ambienti
- Monitoraggio acustico e/o di vibrazioni
- Analizzatore in tempo reale in banda di ottava e 1/3 di ottava da 20 Hz (opzione 1Hz) a 20 kHz
- Analizzatore di spettro in tempo reale a banda fine
- Analisi b.p.c. selettiva fino a 1/48 di ottava
- Registratore digitale
- Spettro di intensità sonora e determinazione della potenza sonora secondo la ISO9614
- Analisi dei transienti
- Identificazione degli eventi
- Multitasking con applicazioni esterne (parametri meteo, accesso remoto e controllo via modem, etc.)
- Loudness, PNL, PLNT in tempo reale, EPNL
- Qualità del Suono

VANTAGGI DELLA SOLUZIONE Harmonie

- **Sistema a quattro canali**
- **Sistema in classe 1 con dBTRIG**
- **Fonometro, Analizzatore, Registratore digitale**
- **Dinamica di 115dB**
- **Tempo reale**
- **Multi-tasking**
- **Trasduttori multipli**
- **Tutti i vantaggi di un sistema basato su PC**

Caratteristiche, aspetto e presentazione possono essere soggetti a modifiche senza preavviso

CADNA-A



LA PREDIZIONE ACUSTICA ALLA PORTATA DI CHIUNQUE

Il panorama italiano dei modelli di simulazione acustica si arricchisce di un nuovo potentissimo strumento. Dall'accordo tra 01dB Metravib Technologies, azienda leader nella produzione di strumentazione per acustica, e DataKustik, nasce CadnaA, il modello di calcolo ideale per l'Amministrazione pubblica, l'Università, la grande azienda o la società di engineering avanzato. CadnaA è un software in grado di simulare tutte le sorgenti sonore tenendo in considerazione i principali parametri che influenzano l'emissione di rumore e la propagazione in ambiente esterno. Attraverso il modulo opzionale BASTIAN per l'acustica edilizia, si passa agevolmente dal dominio delle simulazione in ambiente esterno al dominio della simulazione in ambiente interno. Il tecnico ha così a disposizione uno strumento completo e universale per il controllo, la valutazione e la definizione di soluzioni tecniche per l'abbattimento del rumore negli ambienti di vita sia esterni che interni.

La semplice interfaccia utente Windows a 32bit, la totale compatibilità con i pacchetti Gis, AutoCad, ArchView, Atlas etc. rendono CadnaA il tool perfetto da affiancare ai software di geo referenziazione in uso nelle Amministrazioni Pubbliche.

CadnaA, si integra perfettamente con il pacchetto di simulazione Mithra della 01dB ampliandone ancor più le ormai rinomate potenzialità riconosciute dai maggiori enti pubblici e aziende di trasporto e di gestione di strade e autostrade.

C. REALIZZAZIONI

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

C1. INTERVENTI SULLE SORGENTI

**Comparto produttivo:
settore cartario e altri**

**Tipo di intervento:
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

$L_{Aeq} = 99 \text{ dB(A)}$

Dopo la sostituzione

$L_{Aeq} = 86 \text{ dB(A)}$

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

$L_{Aeq} = 93,5 \text{ dB(A)}$

Dopo la sostituzione

$L_{Aeq} = 85 \text{ dB(A)}$

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 realizzato da:

Aarque Systems Ltd., Colnbrook, Berks, (GB)

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
lavorazione del legno,
metalmeccanico 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

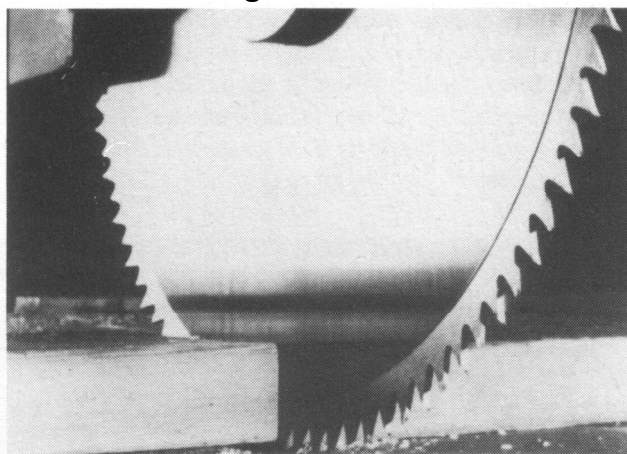
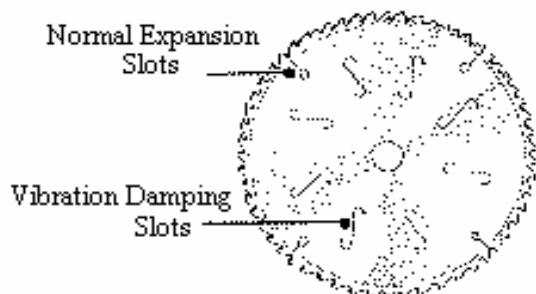


Figura Caso C

Disposizione sul disco delle fenditure antivibranti (Vibration damping slots)



**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

$$L_{Aeq} = 101 \text{ dB(A)}$$

Lama circolare con rivestimento

$$L_{Aeq} = 98 \text{ dB(A)}$$

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 realizzato da:

Caso A: Rolls Royce, Bristol

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
lavorazione del travertino

Tipo di intervento:
attenuazione del rumore emesso da
frese attestatrici

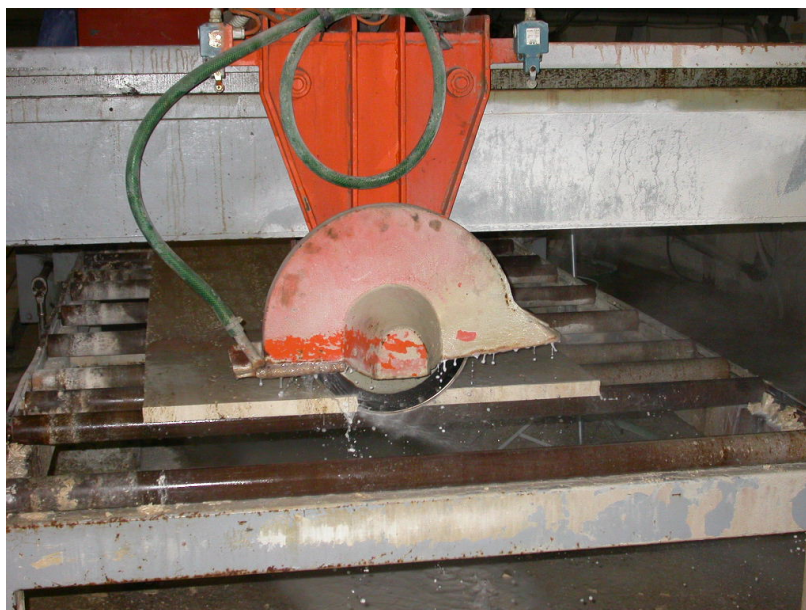
| | |
|----------------------|-------------|
| Scheda n° | C1.3 |
|----------------------|-------------|

**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.



Disco tradizionale pieno



Disco silenziato tipo sandwich



**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



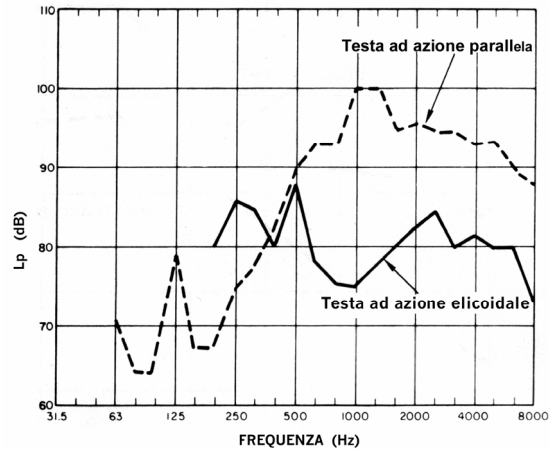
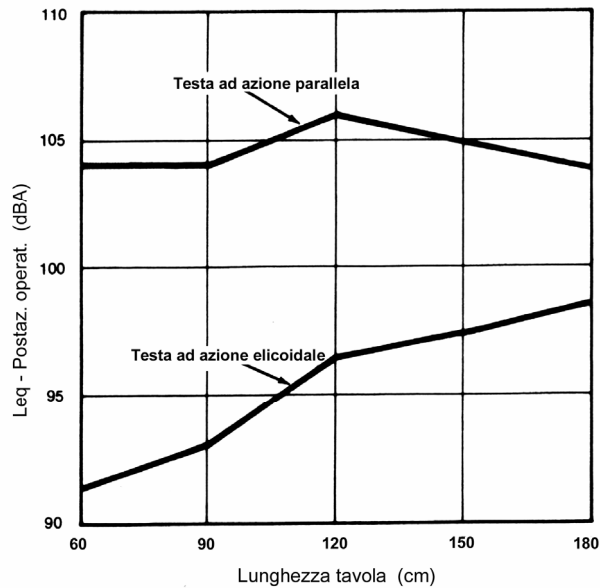
Esempio di attuale testa portautensili ad azione elicoidale



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 progettato da:**

J.S. Steward, F.D. Hart, Analysis and Control of Wood Planer Noise, Sound and Vibration, 6(3), 24, 1972

Intervento realizzato da:**Intervento di tipo:****standard []****prototipo [X]**

C2. COPERTURE TOTALI O PARZIALI

Comparto produttivo:
 produzione
 elettrodomestici

**Descrizione della
 problematica:**

Descrizione dell'intervento:

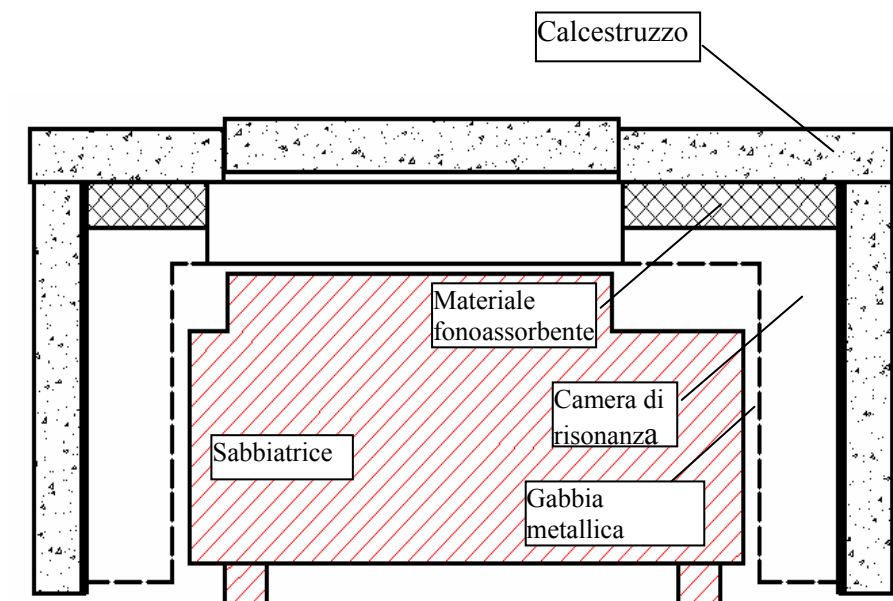
Tipo di intervento:
 copertura totale

**Scheda
 n° C2.1**

Rumore di tipo continuo elevato a basse frequenze, immesso nell'ambiente di lavoro

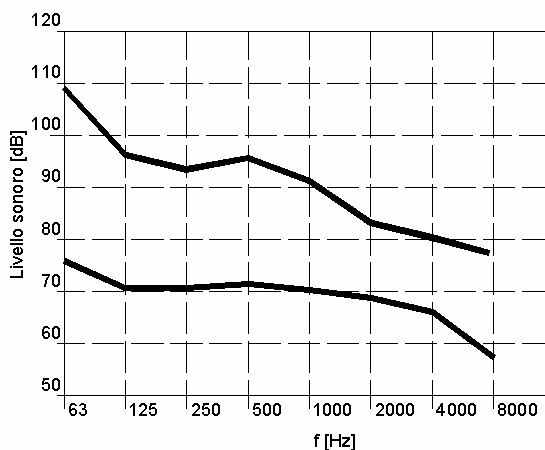
Chiusura totale mediante pannelli in calcestruzzo e struttura metallica; fonoassorbimento interno ottenuto a mezzo di risonatori centrati su basse frequenze.

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 progettato da:
 MODULO UNO

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
stampaggio

Tipo di intervento:
copertura parziale

| | |
|------------------|-------------|
| Scheda n° | C2.2 |
|------------------|-------------|

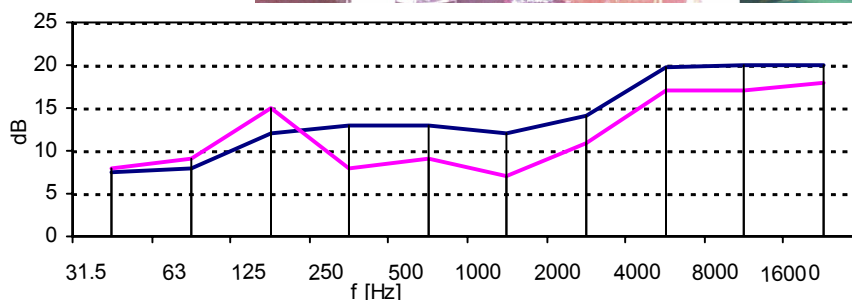
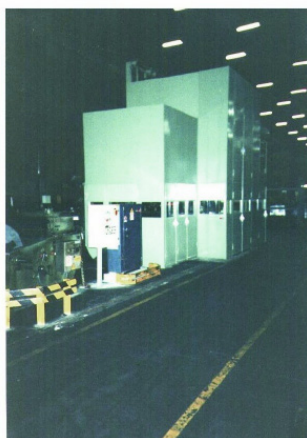
Descrizione della problematica:

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



Risultati acustici:

Attenuazione sonora dell'intervento su due macchine diverse

Fattori di criticità:

aperture continue, sicurezza, manutenzione, calore

Costi approssimativi:

250.000,0 £/m²

Intervento progettato da:

MODULO UNO srl

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
tessitura

Tipo di intervento:
copertura totale

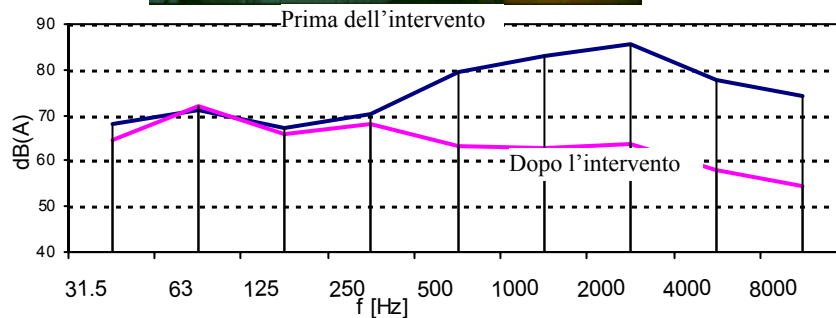
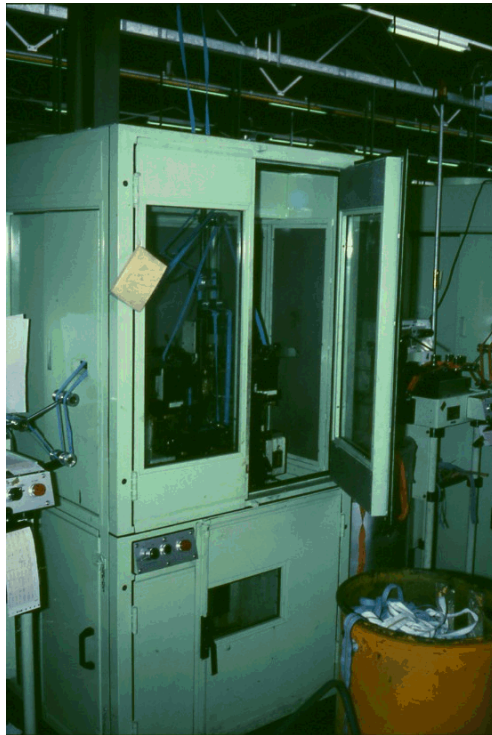
| | |
|------------------|-------------|
| Scheda n° | C2.3 |
|------------------|-------------|

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.

Fattori di criticità:

sicurezza, manutenzione, controllo, calore

Costi

approssimativi:

2.500.000,0 £

Intervento progettato da:

MODULO UNO

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
stampaggio

Tipo di intervento:
copertura totale

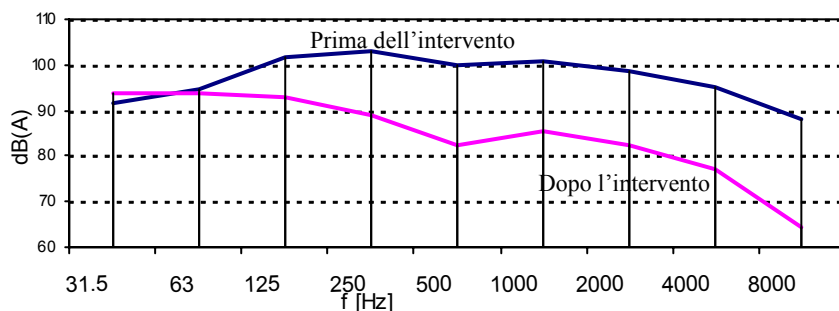
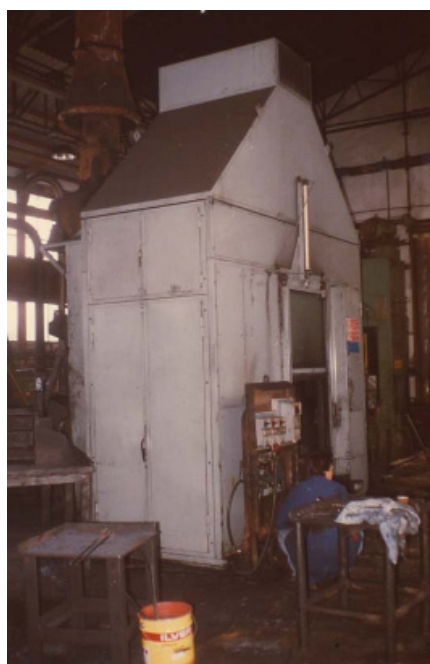
| | |
|----------------------|-------------|
| Scheda n° | C2.4 |
|----------------------|-------------|

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.



Risultati acustici:

Livelli di pressione sonora equivalenti rilevati in posizione operatore, prima e dopo l'intervento.

Fattori di criticità:

sicurezza, manutenzione, controllo, calore.

Costi approssimativi:

15.000.000,0 £

Intervento progettato da:

MODULO UNO

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
impianto trattamento aria

Tipo di intervento:
copertura totale

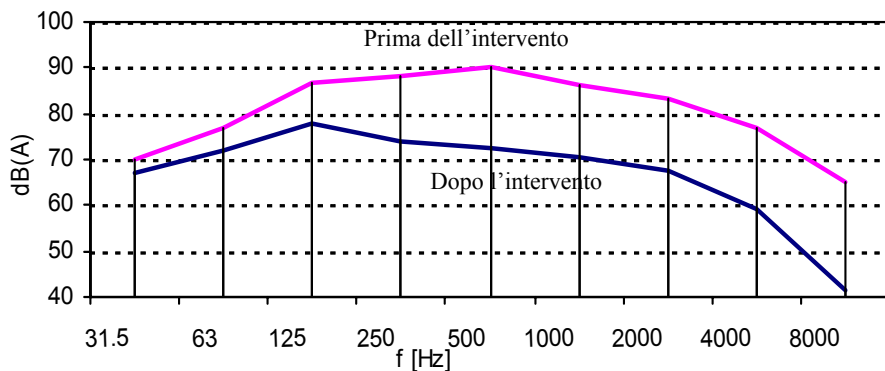
| | |
|------------------|-------------|
| Scheda n° | C2.5 |
|------------------|-------------|

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 progettato da:
 MODULO UNO

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 progettato da:
MODULO UNO

Intervento di tipo: **standard []** **prototipo [X]**

Comparto produttivo:
Centrale idroelettrica

Tipo di intervento:
copertura totale

| | |
|----------------------------|-------------|
| Scheda n° | C2.7 |
|----------------------------|-------------|

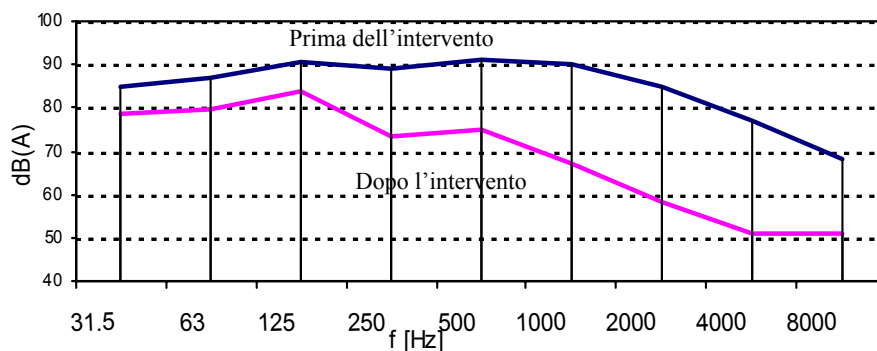
Descrizione della problematica:

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 progettato da:

MODULO UNO

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria del vetro.

Tipo di intervento:
Cabinato 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).

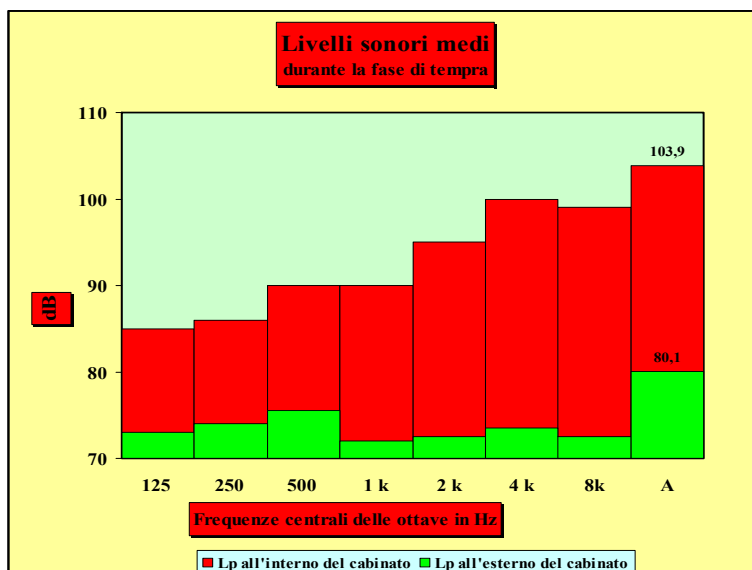


Descrizione dell'intervento:

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



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 tempratura 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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo: standard [x]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria motoristica.

Tipo di intervento:
Cabinato 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.



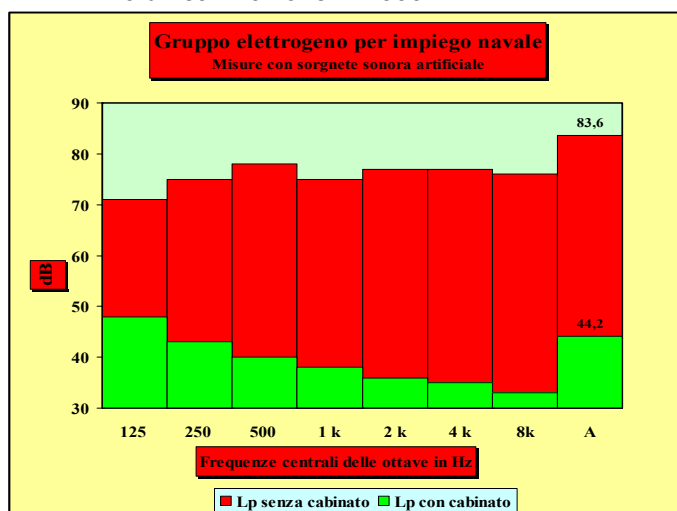
Descrizione dell'intervento:

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



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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo: standard [x]

prototipo [x]

Comparto produttivo:
Industria motociclistica.

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante.

Scheda C2.10
n°

Descrizione della problematica:

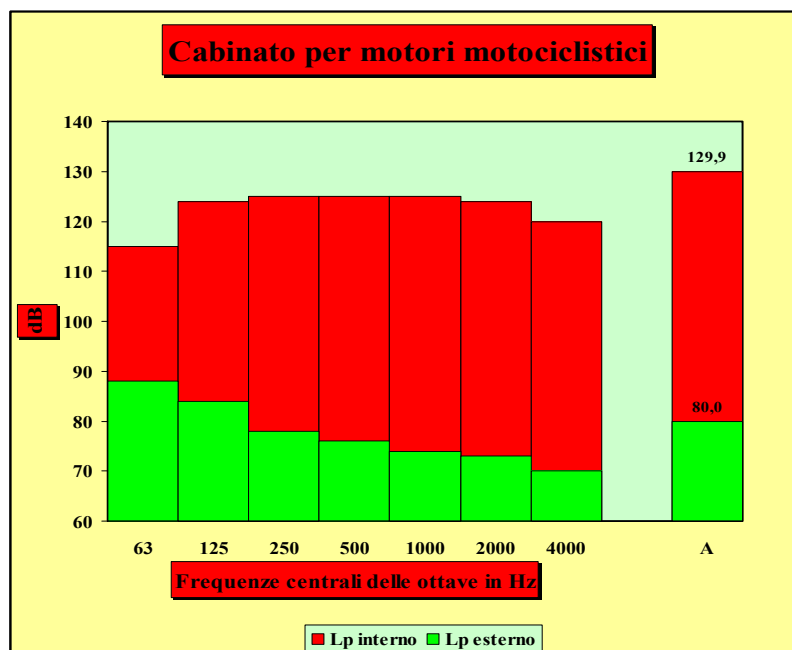
Insonorizzazione di una sala prova per motori motociclistici con un cabinato insonorizzante in applicazione della Direttiva Macchine (98/37/CEE), in quanto questi manufatti debbono essere considerati componenti di sicurezza (lettera del Ministero dell'Industria prot. N.762440 del 31 luglio 1998).



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



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 do 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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

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:

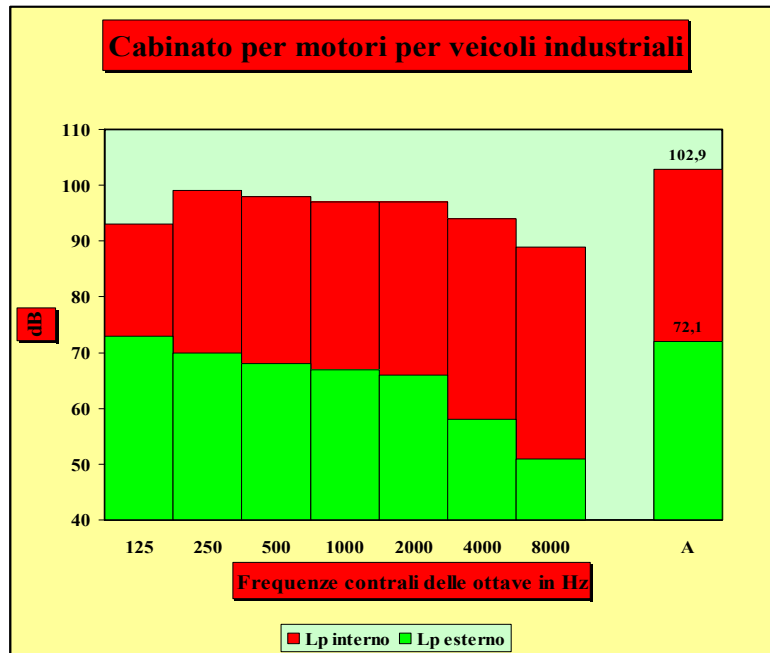
La necessità di fornire al motore condizioni ambientali per quanto possibile analoghe a quelle del normale utilizzo e la continua presenza di personale che deve prestare la massima attenzione alle operazioni, impone la segregazione della postazione di prova in un ambiente opportuno.

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 fonoisolanti 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



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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [x]

Comparto produttivo:
Industria aeronautica.

Tipo di intervento:
Fabbricato insonorizzante.

| | |
|----------------------------|--------------|
| Scheda n° | C2.12 |
|----------------------------|--------------|

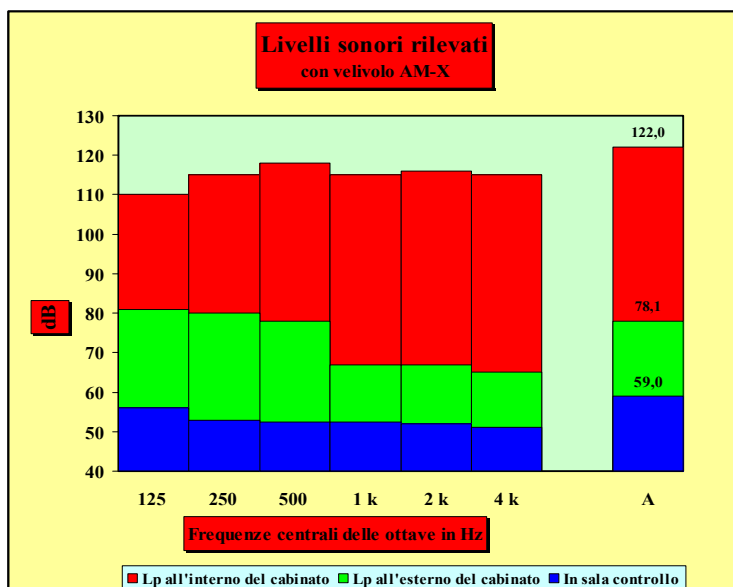
Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di una hush-house per velivoli militari.



Descrizione dell'intervento: È 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



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 progettato da:
BOET-STOPSON

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo: standard []

prototipo [x]

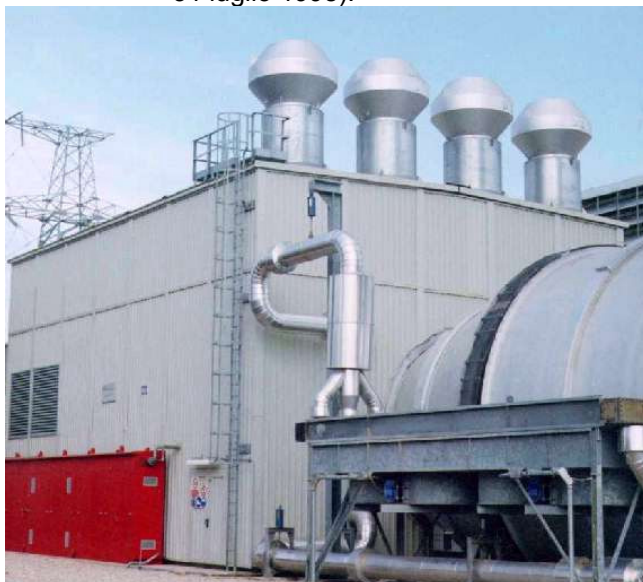
Comparto produttivo:
Industria dell'energia.

Descrizione della problematica:

Tipo di intervento:
Fabbricato insonorizzante.

| | |
|-----------|--------------|
| Scheda n° | C2.13 |
|-----------|--------------|

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

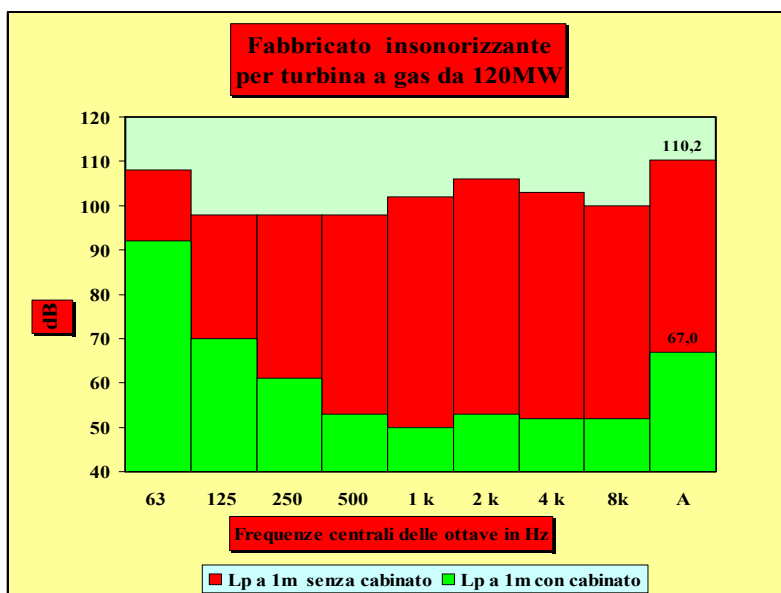
Data la maggiore prestazione acustica, il cabinato turbina ha diversa composizione acustica di pannellatura ma identica tipologia di parete, costituita da un'intelaiatura in acciaio zincato con funzione di supporto sia per le lamiera grecate preverniciate esterne che per le lamiera forate interne anch'esse 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



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
 - prima intervento: n.d.
 - dopo intervento: n.d.

L_{WA} :
 - prima intervento: 138 dB
 - 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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo:

standard [x]

prototipo []

Comparto produttivo:
Cementeria

Tipo di intervento:
cabina insonorizzante

Scheda n° C2.14

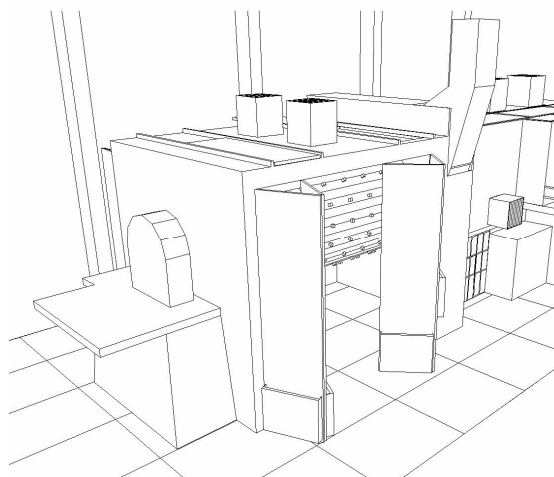
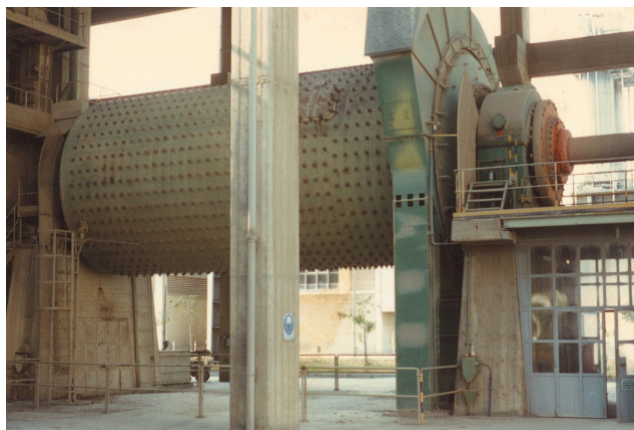
Descrizione della problematica:

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



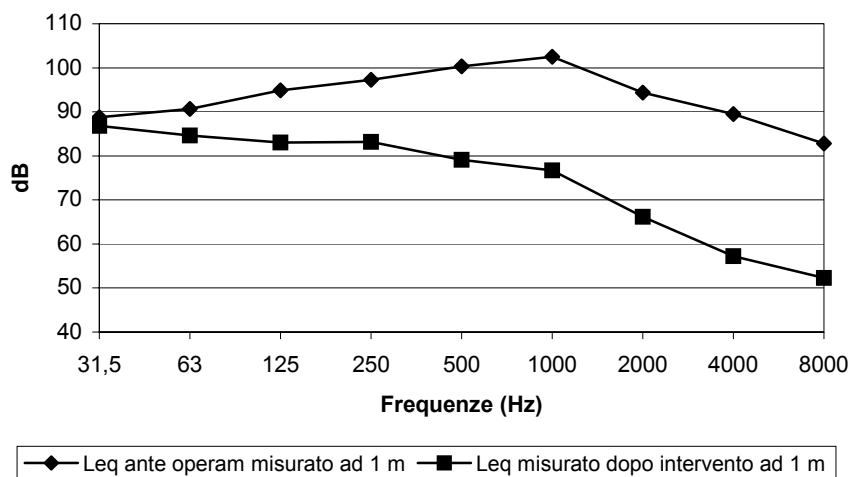
Risultati acustici:

L_{Aeq} medio misurato ad 1 m dal perimetro esterno

- prima intervento: 104,6 dB(A)

- dopo intervento: 81 dB(A)

Risultati per bande di ottava



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 progettato da: I.E.C. Srl - Torino

Intervento realizzato da:

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:

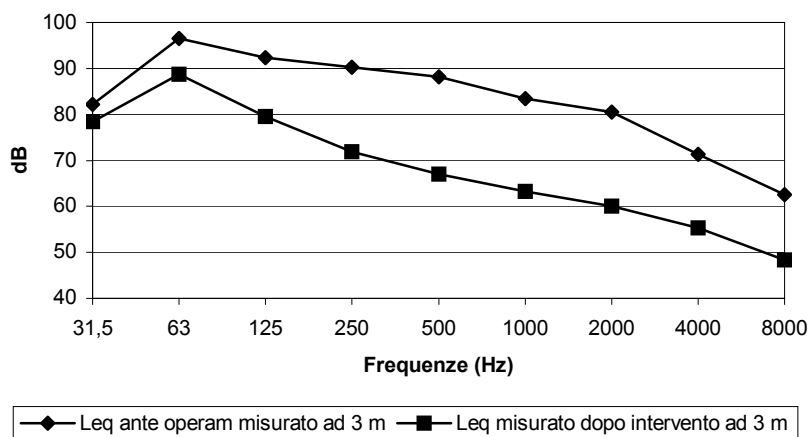
Cabina acustica avente una superficie complessiva di circa 400 m² provvista di portoni di accesso e di ingressi nastri silenziati con bandelle di gomma telata pesante.
Anno di realizzazione : 2002



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 3 m dalla tramoggia:
- prima intervento: 86,6 dB(A)
- dopo intervento: 71 dB(A)

Risultati per bande di ottava



Fattori di criticità:

Costi approssimativi: in opera circa € 58.000,00

Intervento progettato da: I.E.C. Srl - Torino

Intervento realizzato da:

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria dell'energia.
Descrizione della problematica:

Tipo di intervento:
Fabbricato insonorizzante.

| | |
|------------------|--------------|
| Scheda n° | C2.16 |
|------------------|--------------|

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

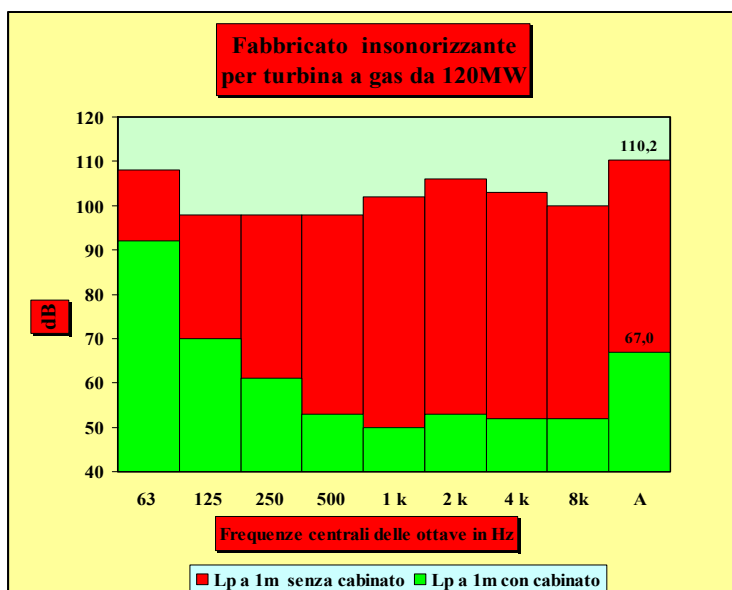
Data la maggiore prestazione acustica, il cabinato turbina ha diversa composizione acustica di pannellatura ma identica tipologia di parete, costituita da un'intelaiatura in acciaio zincato con funzione di supporto sia per le lamiera grecate preverniciate esterne che per le lamiera forate interne anch'esse 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



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
 - prima intervento: n.d.
 - dopo intervento: n.d.

L_{WA} :
 - prima intervento: 138 dB
 - 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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo:

standard [x]

prototipo []

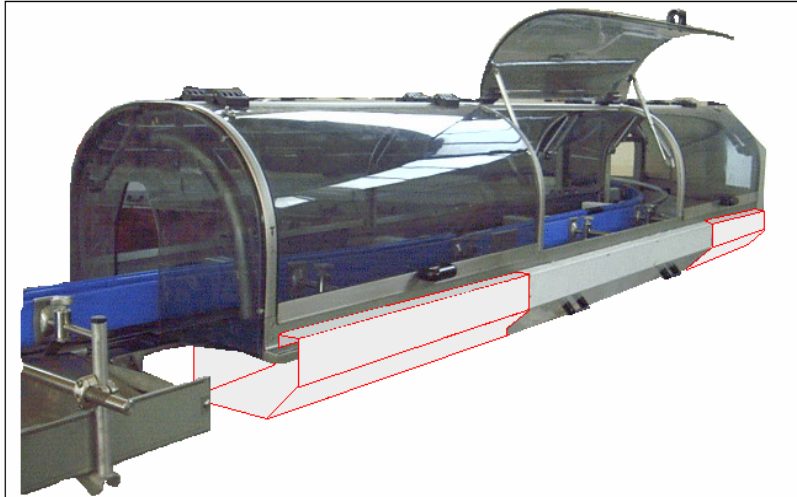
Comparto produttivo:
Imbottigliamento

Tipo di intervento:
tunnel fonoisolante

| | |
|----------------------------|--------------|
| Scheda n° | C2.17 |
|----------------------------|--------------|

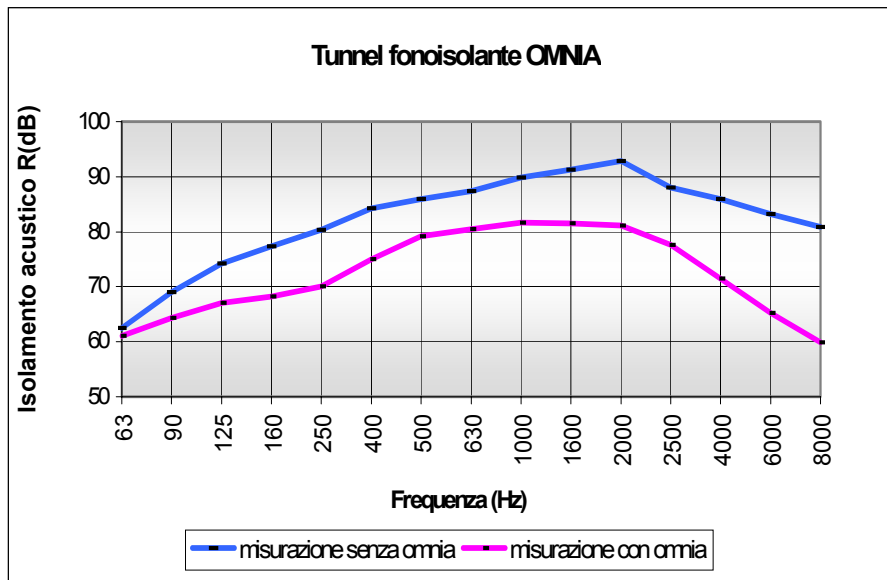
Descrizione della problematica:

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 progettato da:
Matis insonorizzazioni Srl

Intervento realizzato da:
Matis insonorizzazioni Srl

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 progettato da:
MODULO UNO

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®

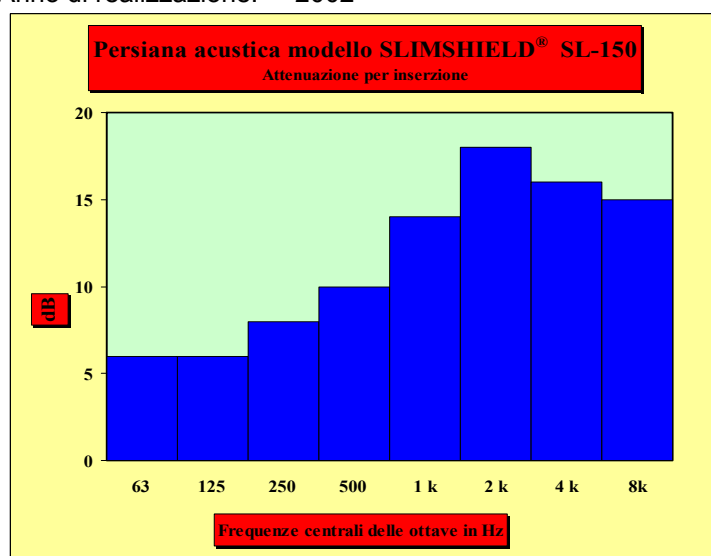


Descrizione dell'intervento:

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



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 progettato da:
IAC Ltd.

Intervento realizzato da:
IAC Ltd.

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:

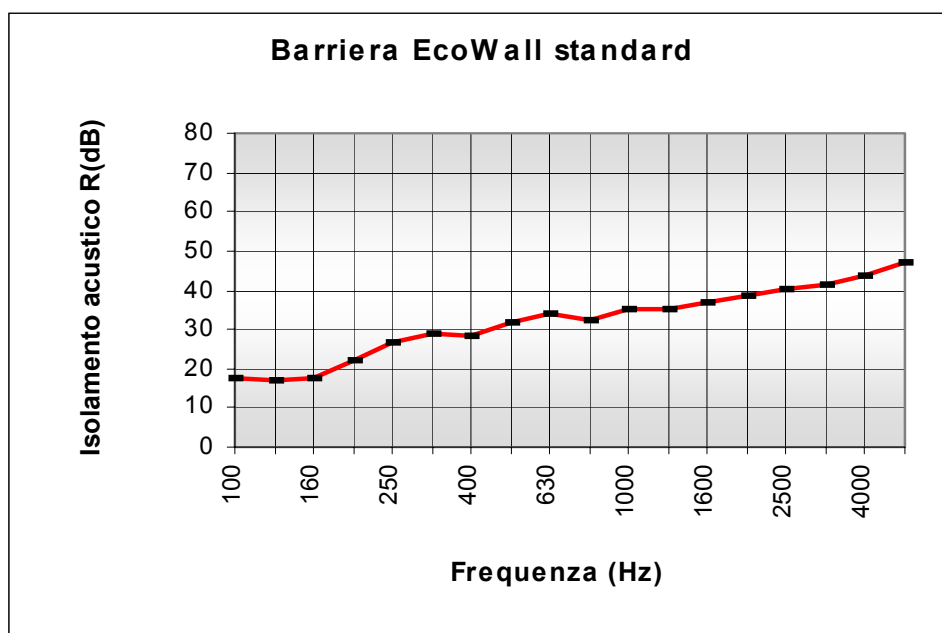
La barriera EcoWall si installa tramite piantoni di sostegno HEA vincolati a fondazioni adeguate, plinti, muri, poli precedentemente costruiti. I pannelli in legno saranno poi inseriti dall'alto tra i piantoni di sostegno. Alla base, come appoggio e per evitare il contatto diretto tra i pannelli e il 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 progettato da:
Matis insonorizzazioni Srl

Intervento realizzato da:
Matis insonorizzazioni Srl

Intervento di tipo: standard [x]

prototipo []

C4. TRATTAMENTI FONOASSORBENTI

Comparto produttivo:
Industria tessile.

Descrizione della problematica:

Tipo di intervento:
Trattamento ambientale
mediante "Baffles".

Miglioramento acustico nell'industria tessile

| |
|-----------------------|
| Scheda n° C4.1 |
|-----------------------|



Descrizione dell'intervento:

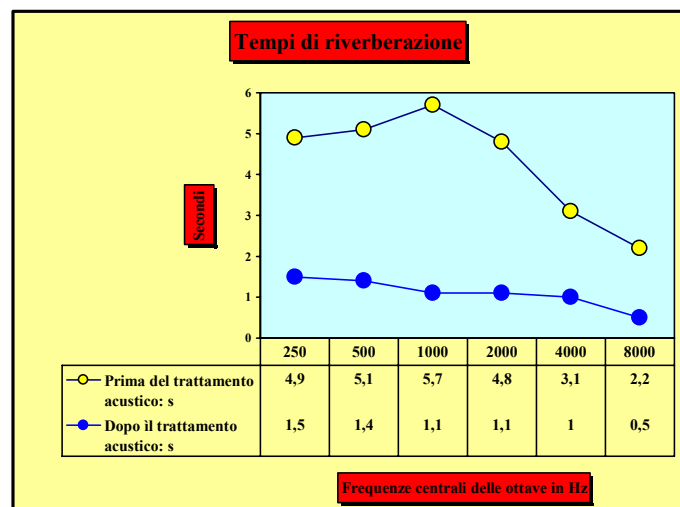
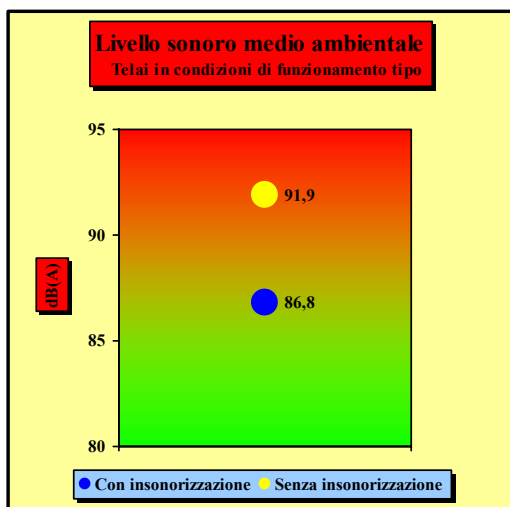
Le particolari caratteristiche acustiche del locale, molto riverberante e con una forte componente di campo diffuso anche vicino alle sorgenti, e le condizioni di lavoro del personale (mai stazionario se non per interventi a macchine ferme), hanno suggerito un intervento di tipo ambientale.

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 sfilibramento.

Anno di realizzazione: 1996



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.

E' 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 progettato da:

STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:

STOPSON ITALIANA

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:**

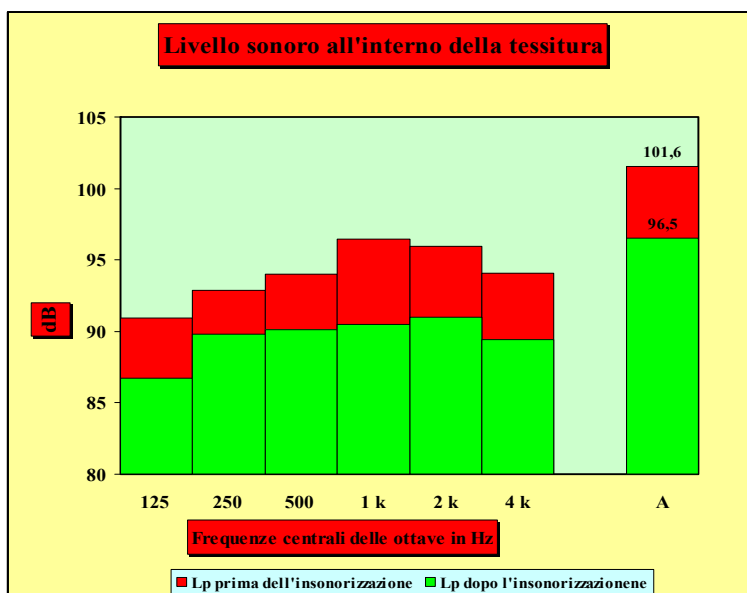
Le particolari caratteristiche acustiche del locale, molto riverberante e con una forte componente di campo diffuso anche vicino alle sorgenti, e le condizioni di lavoro del personale (mai stazionario se non per interventi a macchine ferme), hanno suggerito un intervento di tipo ambientale.

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 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 sfilamento.

Anno di realizzazione: 1999



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 progettato da:
 STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
 STOPSON ITALIANA

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



Descrizione dell'intervento:

Esiste tutta una serie di lavorazioni di tranciatura dove le condizioni non sono così esasperate da richiedere l'installazione di cabinati insonorizzanti e la problematica può essere risolta con minor impegno economico sia diretto che indiretto.

Sono quegli insediamenti industriali ove sono presenti numerose sorgenti sonore, ciascuna singolarmente presa con un livello relativamente poco elevato, ma con un livello globale di sicuro rischio.

La soluzione proposta è stata individuata tenendo presenti due fattori essenziali:

- la zona di possibile installazione dei baffles.
- la quantità più conveniente, in un rapporto costi/risultati.

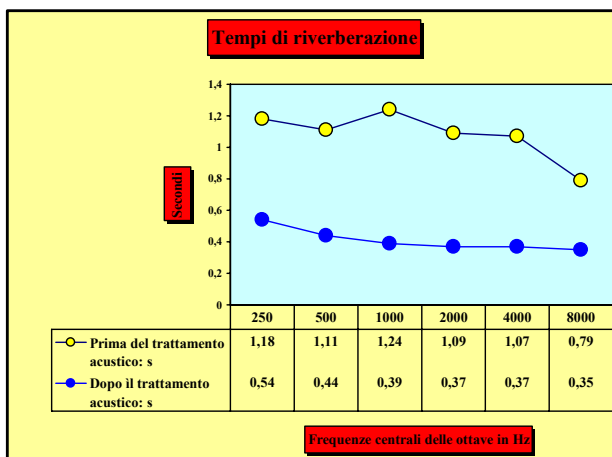
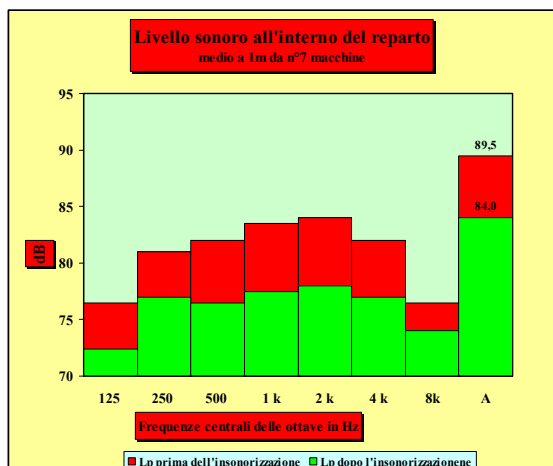
E' stato previsto l'impiego di baffles modello BV 50, concepiti e realizzati per soddisfare queste tipiche esigenze.

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: 1998

**Risultati acustici:** 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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo:

standard [x]

prototipo []

C5. SISTEMI SILENZIANTI

Comparto produttivo:
produzione di componenti
elettrici

**Descrizione della
problematica:**

Descrizione dell'intervento:

Tipo di intervento:
silenziatore dissipativo

Rumore di tipo impulsivo immesso nell'ambiente, dovuto all'espulsione dell'aria dai camini

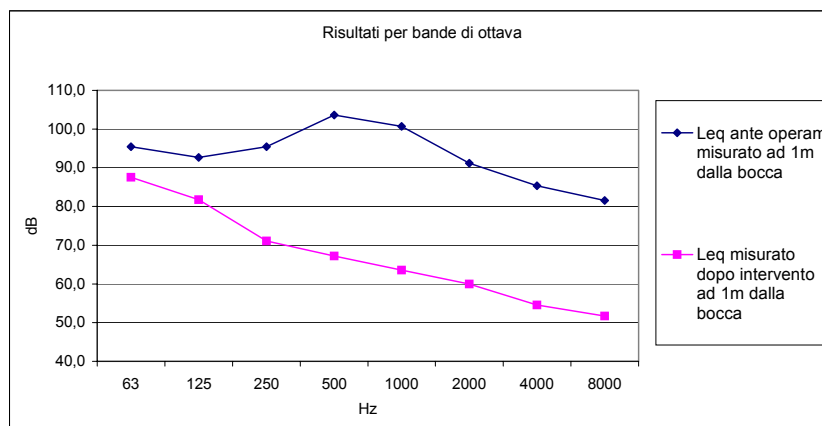
**Scheda
n° C5.1**

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 progettato da:

MODULO UNO

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

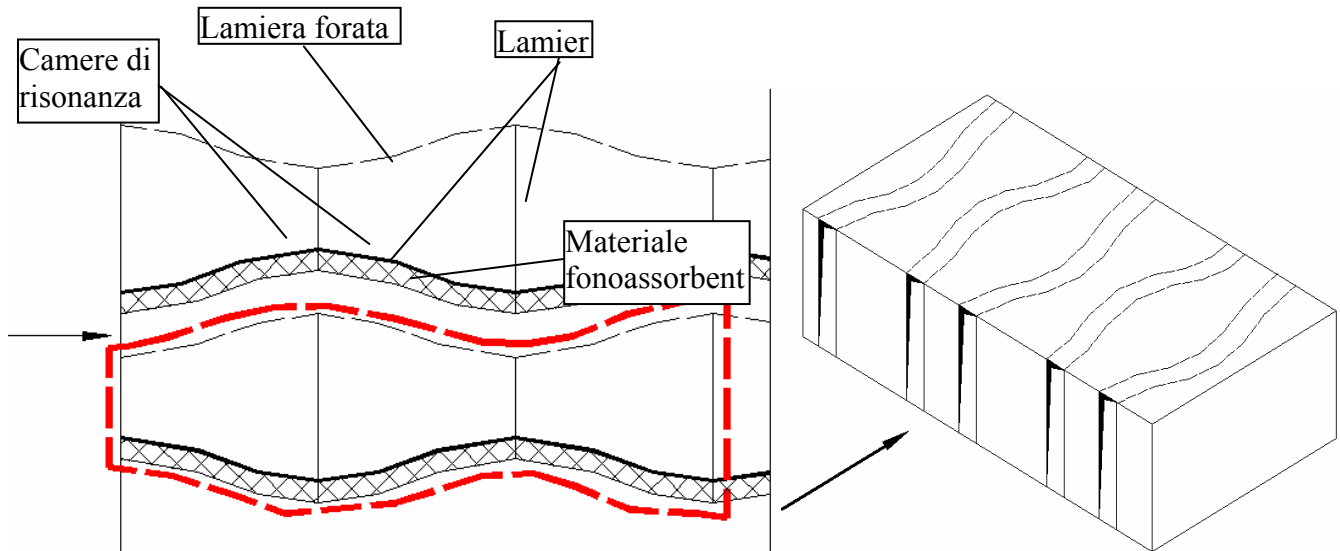
Comparto produttivo:
impianto di servizio –
gruppo elettrogeno
Descrizione della
problematica:

Tipo di intervento:
silenziatore

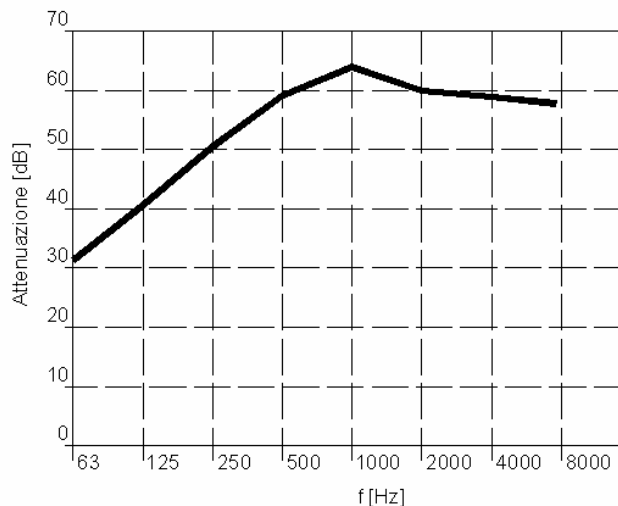
Scheda
n° C5.2

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 progettato da:
 MODULO UNO

Intervento di tipo: **standard []** **prototipo [X]**

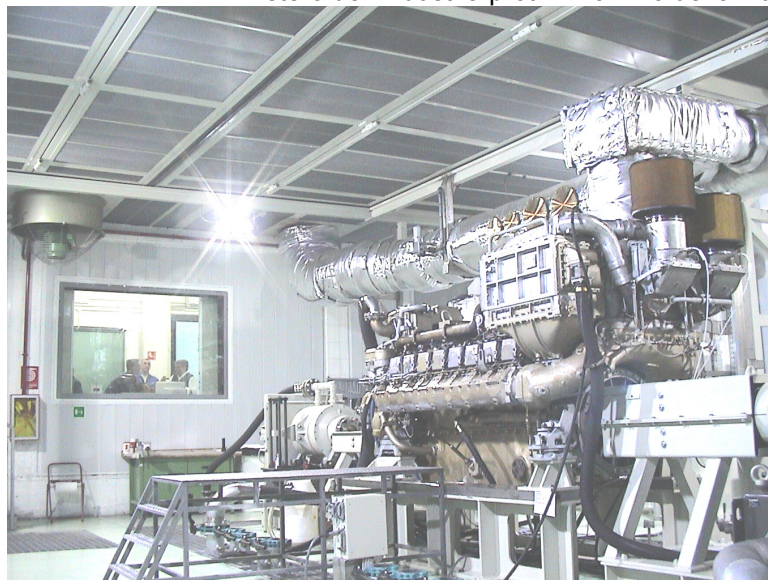
Comparto produttivo:
Industria motoristica.

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante.

| | |
|----------------------------|-------------|
| Scheda n° | C5.3 |
|----------------------------|-------------|

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di una sala prova per motori diesel veloci per impiego navale 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).



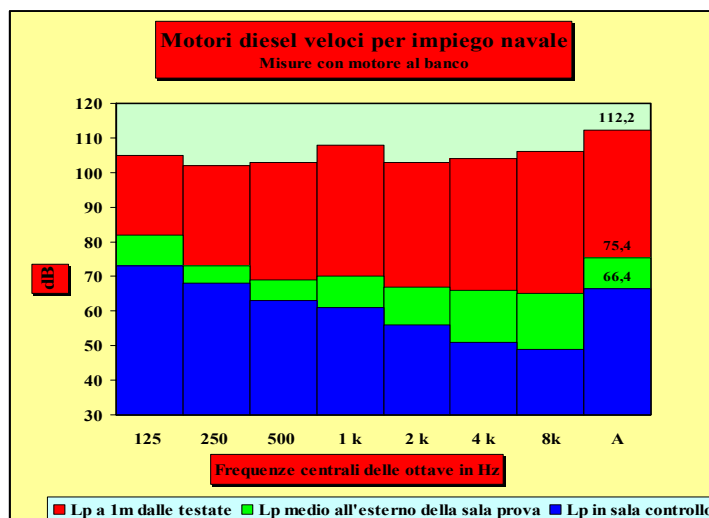
Descrizione dell'intervento:

Il trattamento realizzato si articola essenzialmente in una soluzione che prevede di utilizzare le pareti in muratura del fabbricato di nuova costruzione, previo rivestimento fonoassorbente atto ad ottenere un cabinato insonorizzante con funzioni di sala prova.

Pertanto la realizzazione era costituita da:

- Ventilazione della sala prova:
 - Silenziatore di ingresso aria per 65.000m³/h da sistemarsi nel cunicolo in muratura con perdita di carico di 3daPa.
 - Elettroventilatore di espulsione completo di:
 - Inverter di comando
 - Sonda termica
 - Termoregolatore
 - Silenziatore di espulsione e relativo condotto atto a convogliare l'aria all'esterno del fabbricato.
- Condotto e silenziatore di gas di scarico del tipo SM40M.
- Sala prova vera e propria:
 - Rivestimento fonoassorbente verso il motore in prova con finitura superficiale con doghe forate in alluminio preverniciato bianco.
 - Portone scorrevole, con sole guide al suolo in grado di scoprire una luce di larghezza 3.000mm ed a tutta altezza al fine di consentire l'introduzione dei motori a mezzo del carroponete del fabbricato. Per conseguire l'isolamento acustico necessario sono state realizzate particolari tenute "a silenziatore" su tutto il perimetro, soglia compresa; all'interno del portone è stato realizzato un passo pedonale di accesso, sopra la soglia, con apertura dall'interno a spinta.
 - Tetto in pannellatura composta completo di flaps incernierati, a comando idraulico, in grado di scoprire un superficie pari a 5.200 x 11.000mm per il posizionamento a mezzo carroponete del motore sul banco.
- Porta di accesso alla sala controllo.

Anno di realizzazione: 2002



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
 - prima intervento: >100 dB
 - dopo intervento: <80 dB

Fattori di criticità:

Per una società che ha tra le propria attività principali la revisione e quindi la prova ed il collaudo dei motori, la sala prova è una componente essenziale dell'impiantistica.
 Nel caso specifico si poneva, oltre alla ovvia esigenza di provare i motori in condizioni controllate sia per quanto riguarda la temperatura e la depressione interna sia per le perdite di carico allo scarico del motore, due obiettivi di tipo ambientale che dovevano essere rispettati e che semplicemente possono essere così riassunti:
 Il contenimento della rumorosità nell'ambiente di lavoro, che si trova per ragioni funzionali nello stesso fabbricato della sala prova, così come prescritto nel: Decreto Legislativo 15 agosto 1991, n° 277.
 Il rispetto del livello ammissibile verso l'ambiente esterno così come definito dal:
 Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore".

Costi

approssimativi:

€ 80.000

Intervento progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [x]

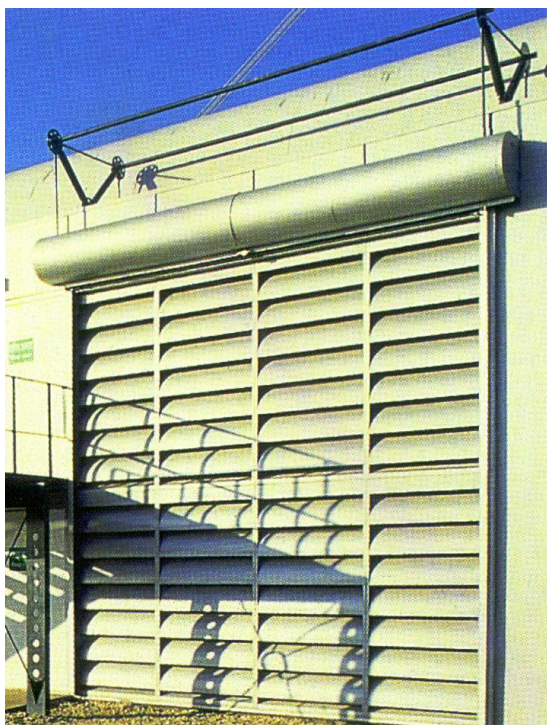
Comparto produttivo:
Terziario.

Tipo di intervento: persiane acustiche.

| | |
|------------------|-------------|
| Scheda n° | C5.4 |
|------------------|-------------|

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione delle presa d'aria di un'impianto tecnologico tramite persiane acustiche modello NOISHIELD®.

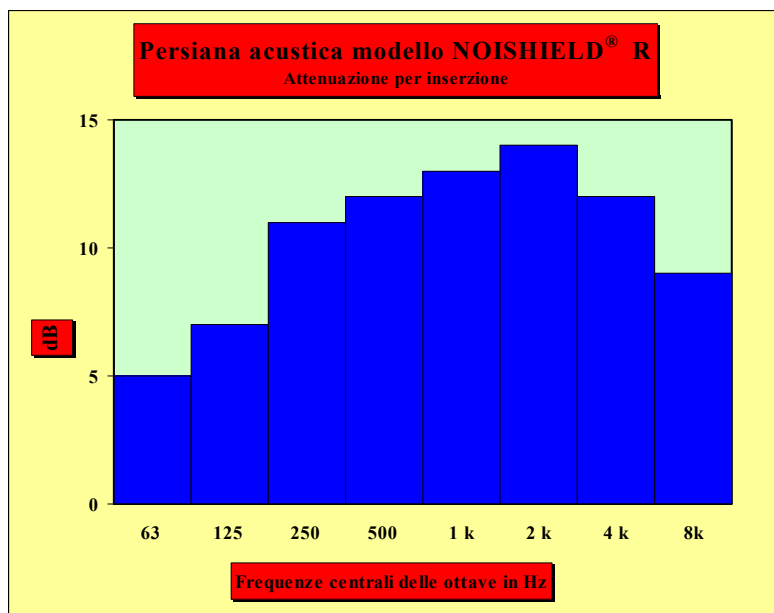


Descrizione dell'intervento:

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



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 progettato da:
IAC Ltd.

Intervento realizzato da:
IAC Ltd.

Intervento di tipo:

standard [X]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria cartaria.

Tipo di intervento:
Silenziatori per valvole di scarico.

| | |
|----------------------|-------------|
| Scheda n° | C5.5 |
|----------------------|-------------|

Descrizione della problematica:



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.

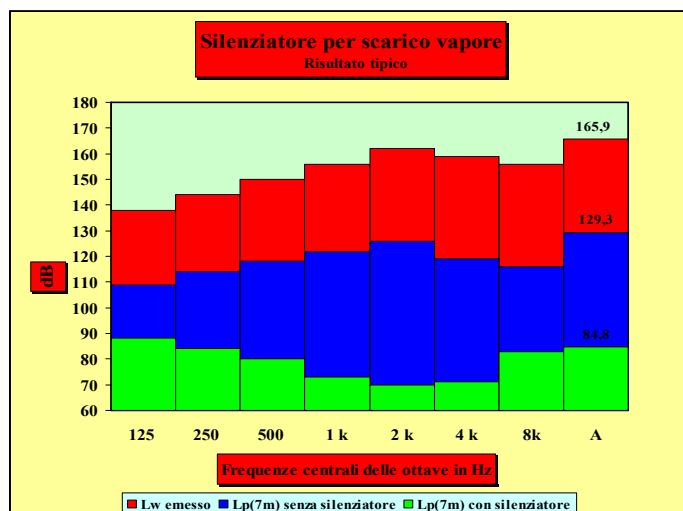
Assorbimento: L'assorbimento avviene mediante il passaggio diretto del fluido tra elementi cilindrici concentrici fonoassorbenti e quindi è escluso il passaggio del fluido stesso attraverso il materiale fonoassorbente.

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



Risultati acustici:L_{Aeq} :

- prima intervento: 130 dB
- dopo intervento: 85 dB

Se disponibili riportare anche i valori di L_{WA} 166 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 sfianto 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 progettato da:**STOPSON ITALIANA****Intervento realizzato da:****STOPSON ITALIANA****Intervento di tipo:****standard [x]****prototipo []**

Comparto produttivo:
Industria dell'energia.

Tipo di intervento:
silenziatore di by-pass.

| | |
|----------------------------|-------------|
| Scheda n° | C5.6 |
|----------------------------|-------------|

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 silenzianti 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.

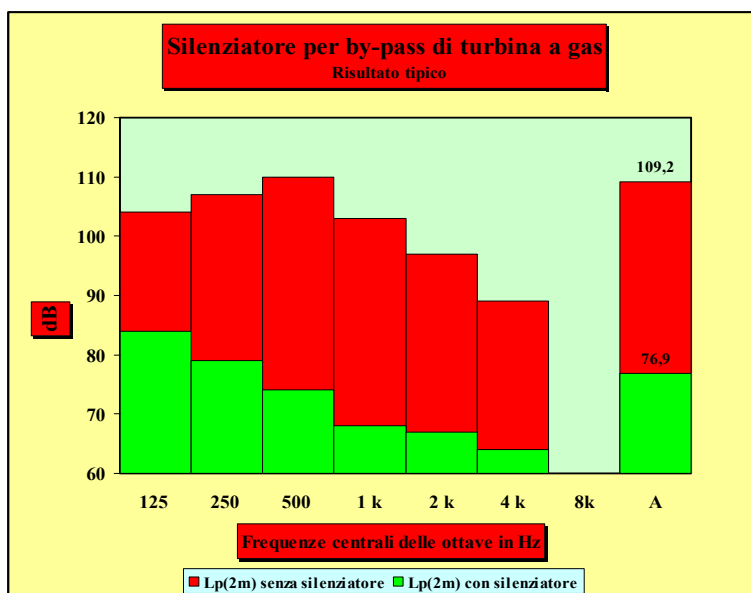
In ogni caso l'esperienza ha dimostrato che con una accurata progettazione è possibile soddisfare anche le più severe esigenze ambientali.

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



Risultati acustici:

L_{Aeq} :
 - prima intervento: n.d.
 - dopo intervento: n.d.

Fattori di criticità:

- Il progetto fluidodinamico: E' 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 sfibrillamento.

Costi

approssimativi:

€ 13.000

Intervento progettato da:

STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:

STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo:

standard [x]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria motoristica.

Tipo di intervento: silenziatori per motore a gas.

| | |
|------------------|-------------|
| Scheda n° | C5.7 |
|------------------|-------------|

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.

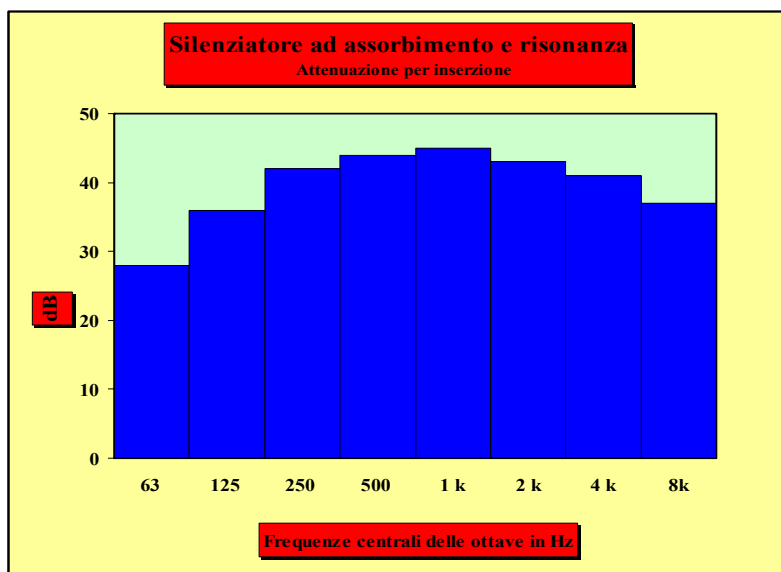
La costruzione prevede un corpo interamente saldato realizzato in acciaio adatto alle condizioni di impiego.

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



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 progettato da:
STOPSON ESPAÑOLA

Intervento realizzato da:
STOPSON ESPAÑOLA

Intervento di tipo:

standard [x]

prototipo []

Comparto produttivo:
Industria petrolchimica

Tipo di intervento:
silenziamiento prese d'aria

| | |
|------------------|-------------|
| Scheda n° | C5.8 |
|------------------|-------------|

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.

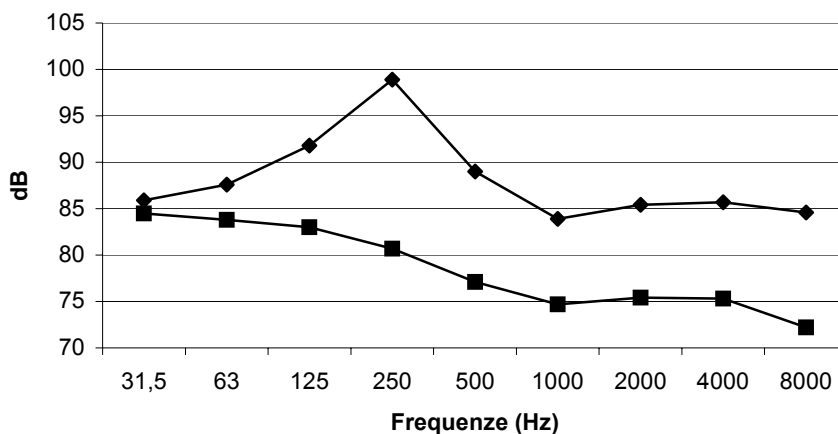
Anno di realizzazione 2003.



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 1 m dal perimetro del forno:
 - prima intervento: 94,8 dB(A)
 - dopo intervento: 82,4 dB(A)

Risultati per bande di ottava



◆ Leq ante operam misurato ad 1 m ■ Leq misurato dopo intervento ad 1 m

Fattori di criticità:

Costi

in opera circa € 55.000,00

approssimativi:

Intervento progettato da:

I.E.C. Srl - Torino

Intervento realizzato da:

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Impianto petrolchimico

Tipo di intervento:
silenziatore

| | |
|----------------------|-------------|
| Scheda n° | C5.9 |
|----------------------|-------------|

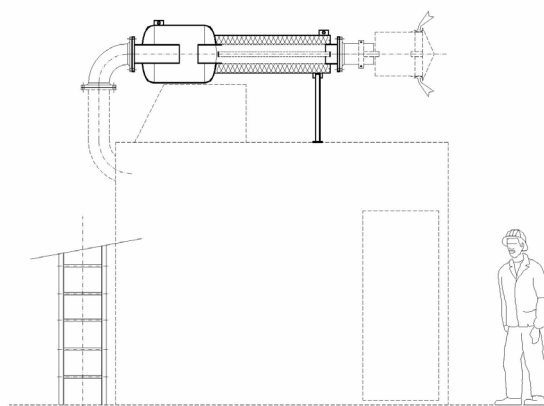
Descrizione della problematica:

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.

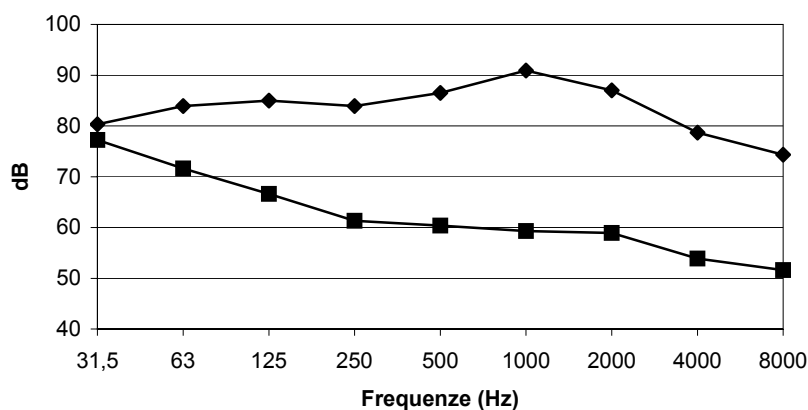
Anno di realizzazione: 2002.



Risultati acustici:

L_{Aeq} medio misurato ad 1 m dallo scarico.
 - prima intervento: 93.5 dB(A)
 - dopo intervento: 65 dB(A)

Risultati per bande di ottava



◆ Leq ante operam misurato ad 1 m ■ Leq misurato dopo intervento ad 1 m

Fattori di criticità:

Costo fornitura: circa € 1200

Intervento progettato da: I.E.C. Srl - Torino

Intervento realizzato da:

Intervento di tipo: **standard []**

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Vari

Tipo di intervento:
box insonorizzante

| | |
|----------------------|--------------|
| Scheda n° | C5.10 |
|----------------------|--------------|

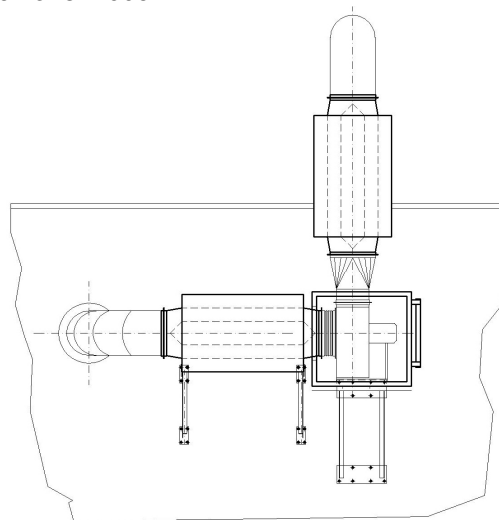
Descrizione della problematica:

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.

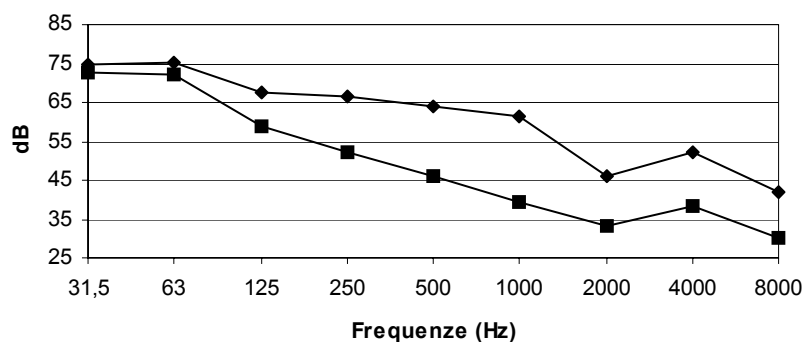
Anno di realizzazione: 2003



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 7 m dal ventilatore:
 - prima intervento: 66,2 dB(A)
 - dopo intervento: 50,8 dB(A)

Risultati per bande di ottava



—◆— Leq ante operam misurato ad 7 m —■— Leq misurato dopo intervento ad 7 m

Fattori di criticità:

Costi

in opera circa € 2.700,00

approssimativi:

Intervento progettato da: I.E.C. Srl -
 Torino

Intervento realizzato da:

Intervento di tipo:

standard []

prototipo [X]

Comparto produttivo:
Industria petrolchimica

Tipo di intervento:
silenziamento gruppi motore

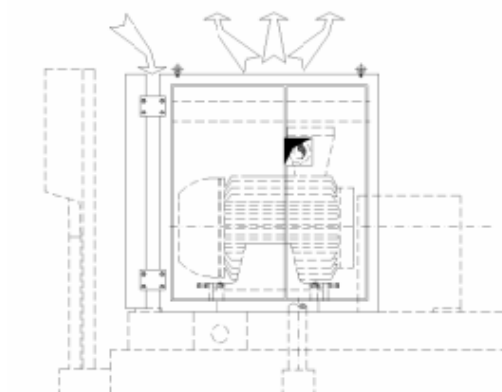
Scheda n° C5.11

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:

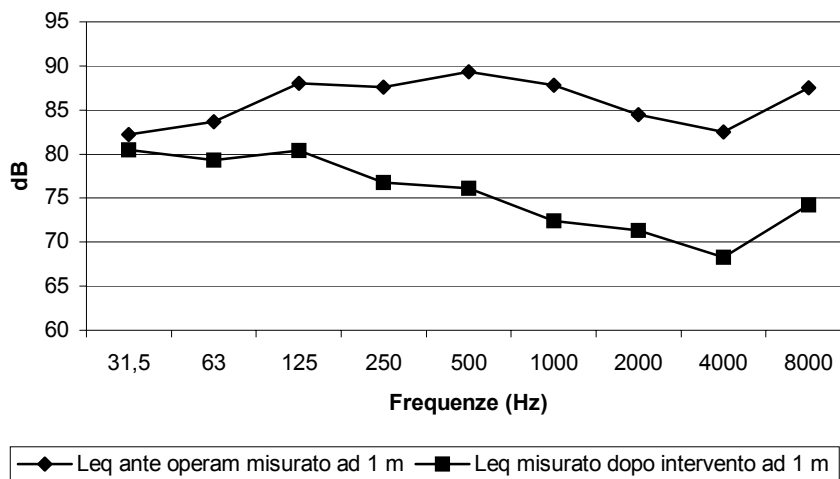
Realizzazione di box insonorizzanti con prese e scarichi d'aria silenziati. Anno di realizzazione 2002



Risultati acustici:

L_{Aeq} misurato ad 1 m dal motore:
- prima intervento: 93,5 dB(A)
- dopo intervento: 79,4 dB(A)

Risultati per bande di ottava



Fattori di criticità:

Costi approssimativi: in opera circa € 1.300,00

Intervento progettato da:
I.E.C. Srl - Torino

Intervento realizzato da:

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 zincata, scatolata ai bordi per il contenimento del materiale fonoassorbente e per il sostegno delle lamiere stirate di protezione. Verso l'interno della scatolatura 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-scibilità 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.

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.

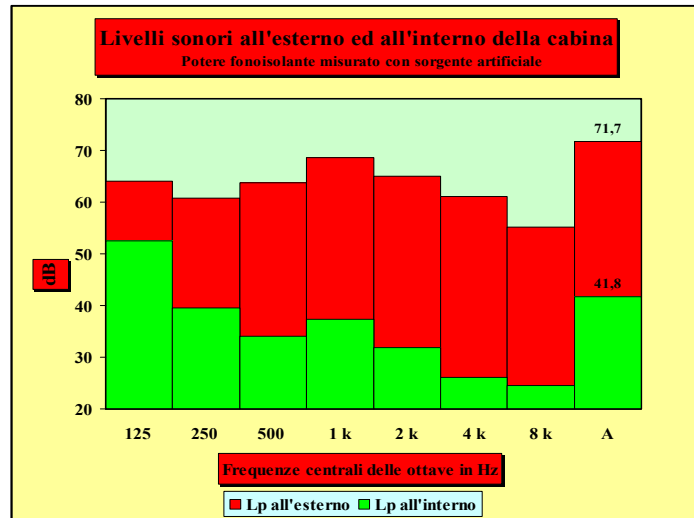
Tutte le guarnizioni impiegate per la tenuta acustica sono in neoprene, con diversa forma e finitura a seconda dell'impiego, ma con le migliori caratteristiche di resistenza agli oli, all'invecchiamento, alla luce, agli acidi ed agli agenti atmosferici.

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



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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

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.

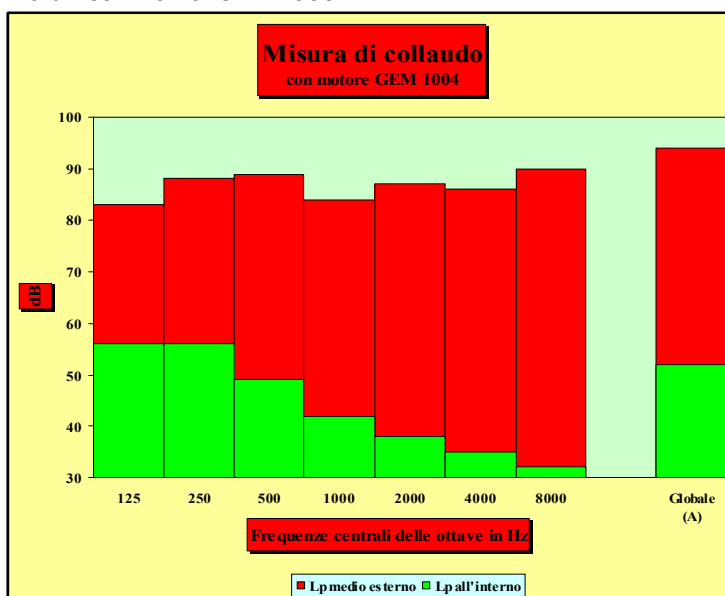


Descrizione dell'intervento:

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



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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo: **standard []**

prototipo [x]

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 $L_{Aeq} = 94 \text{ dB(A)}$
Dopo l'intervento $L_{Aeq} = 90 \text{ dB(A)}$

Fattori di criticità:

Costi

approssimativi:

Quattro ore di lavoro

Intervento segnalato da:

Department of Consumer and Employment Protection, Government of Western Australia. (Sito Internet aggiornato al 7/8/2004)

Intervento realizzato da:

Williams Electrical Service, Western Australia

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:

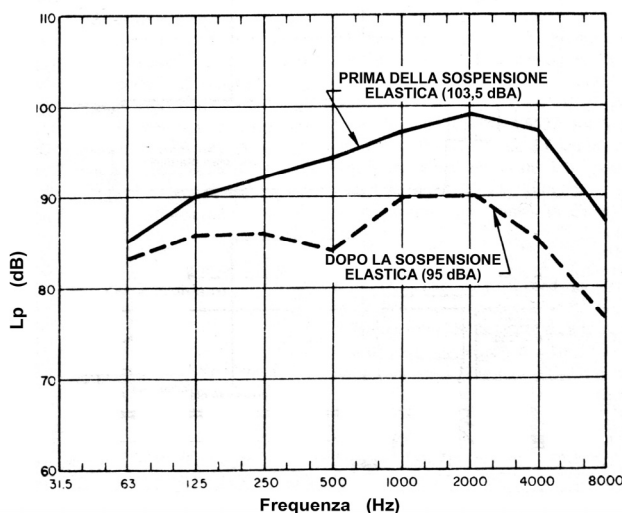
- il periodo corrispondente alla frequenza propria dell'isolatore doveva essere maggiore della durata di ogni singolo impulso, ovvero 10 ms;
- il periodo corrispondente alla frequenza propria del sistema isolatore-macchina doveva essere minore dell'intervallo tra un impatto e l'altro, ovvero 200 ms.

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 .

Foto o disegno

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:

Intervento progettato da:

M.J. Crocker, J.F. Hamilton, *Vibration Isolation for Machine Noise Reduction*, *Sound and Vibration*, 5(11), 30, 1971

Intervento realizzato da:

Intervento di tipo:

standard []

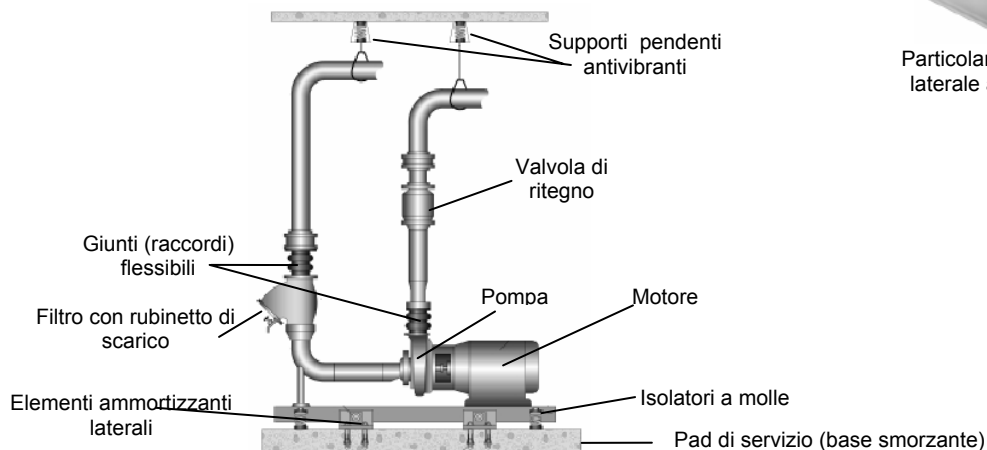
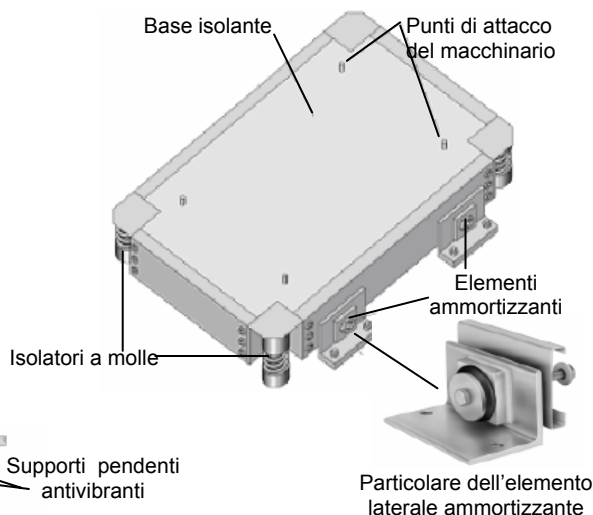
prototipo [X]

**Comparto produttivo: Industria, Tipo di intervento: basamento
impianti di servizio in genere. galleggiante**

**Scheda C7.3
n°**

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

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 progettato da:
Kinetics Noise Control

Intervento realizzato da:
Kinetics Noise Control

Intervento di tipo:

standard [x]

prototipo []

C8. INTERVENTI SUL LAY-OUT

Comparto produttivo: Industria in genere
Descrizione della problematica:

Tipo di intervento:
Modifiche del lay-out per la riduzione dell'esposizione al rumore dei lavoratori

Scheda n° C8.1

Descrizione dell'intervento:

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.

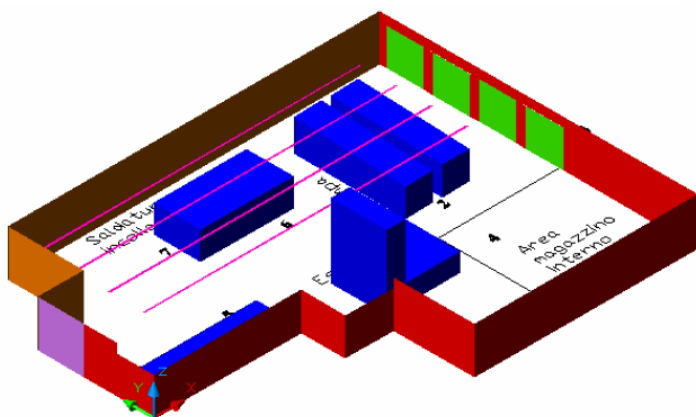
I modelli di propagazione del suono che si basano sull'acustica geometrica (ray tracing, pyramid tracing, ecc. attualmente facilmente reperibili in commercio), con un bagaglio contenuto di informazioni, permettono di stimare i livelli di rumore attesi nell'edificio industriale per diverse disposizioni delle macchine e per diverse caratteristiche di fonoassorbimento delle pareti.

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.

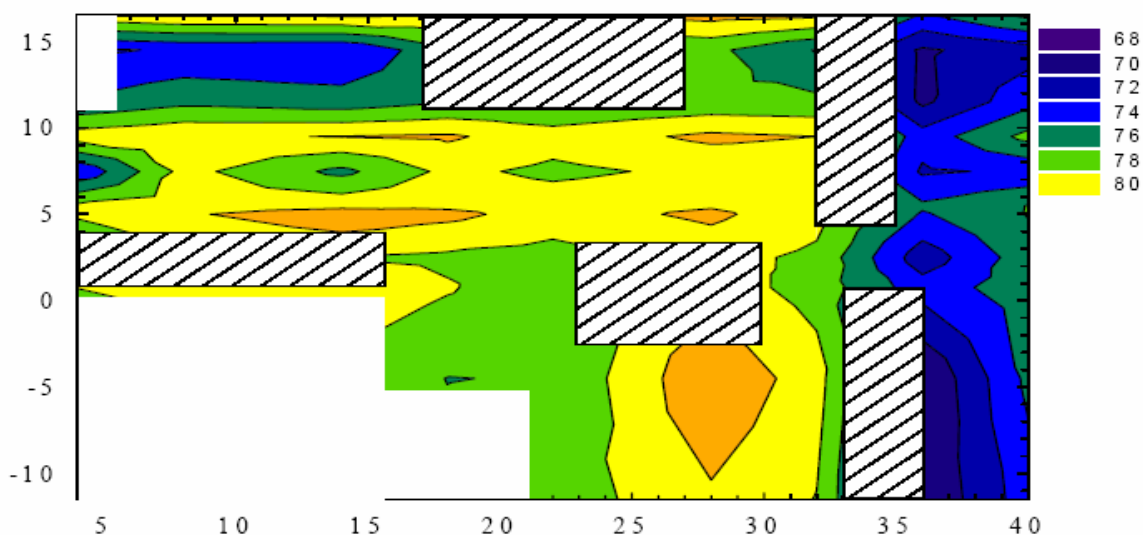
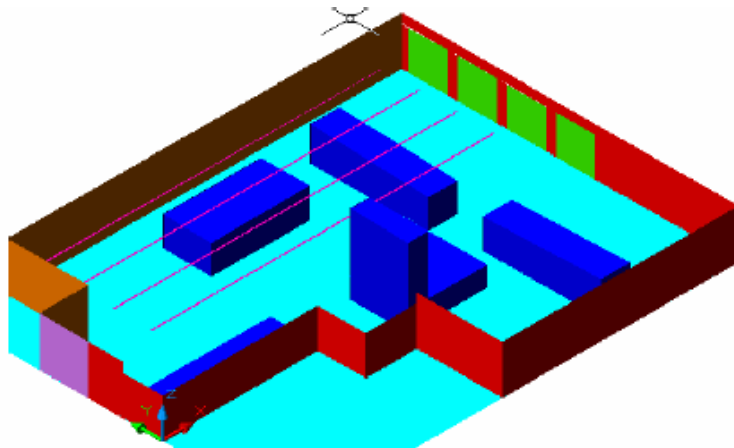


Lay-out esistente



Reparto estrusione

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 dBA si riduce al 10%.



Nuovo lay-out e distribuzione dei livelli sonori

Fattori di criticità:

Costi approssimativi:

Intervento progettato da:
Seconda Università di Napoli

Intervento di tipo:

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.

20.000 Euro per l'inserimento di materiali fonoassorbenti (30 Euro/m²)

10.000 Euro per costi spostamento macchine

Intervento realizzato da:

standard [X]

prototipo []

C9. SISTEMI PER L'EDILIZIA

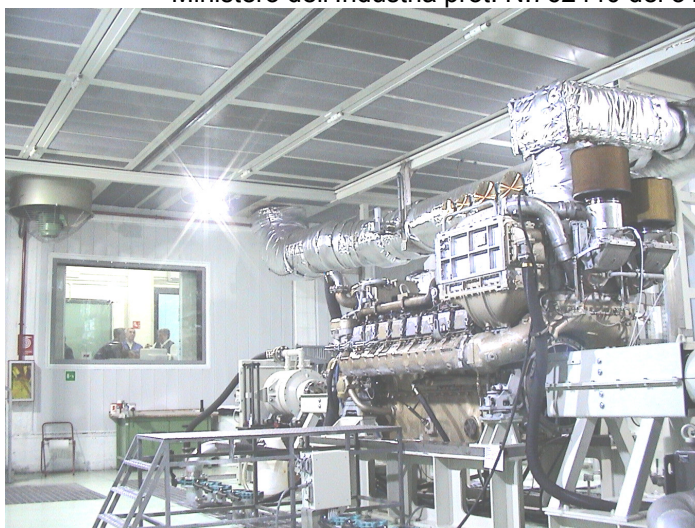
Comparto produttivo:
Industria motoristica.

Tipo di intervento:
Cabinato insonorizzante.

| | |
|----------------------------|-------------|
| Scheda n° | C9.1 |
|----------------------------|-------------|

Descrizione della problematica:

Insonorizzazione di una sala prova per motori diesel veloci per impiego navale 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).



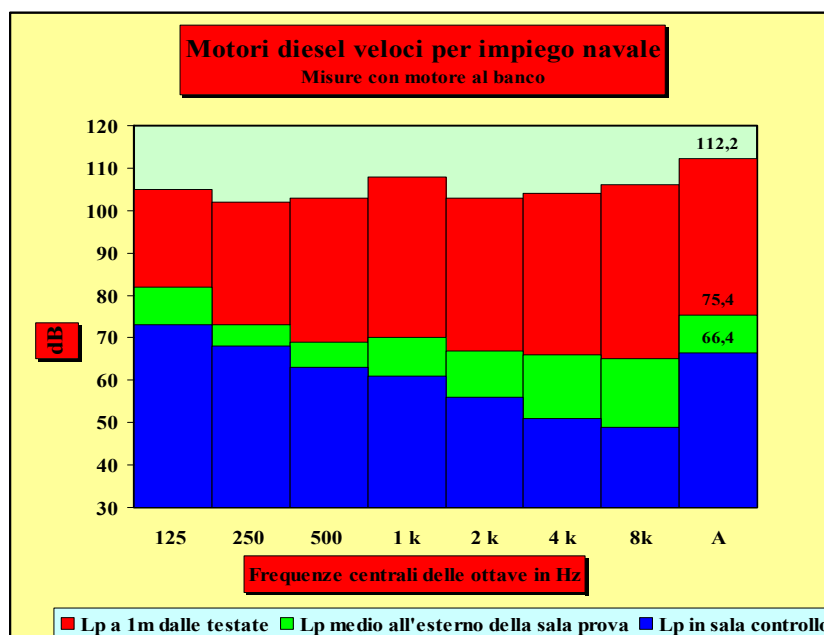
Descrizione dell'intervento:

Il trattamento realizzato si articola essenzialmente in una soluzione che prevede di utilizzare le pareti in muratura del fabbricato di nuova costruzione, previo rivestimento fonoassorbente atto ad ottenere un cabinato insonorizzante con funzioni di sala prova.

Pertanto la realizzazione era costituita da:

- Ventilazione della sala prova:
 - Silenziatore di ingresso aria per 65.000m³/h da sistemarsi nel cunicolo in muratura con perdita di carico di 3daPa.
 - Elettroventilatore di espulsione completo di:
 - Inverter di comando
 - Sonda termica
 - Termoregolatore
 - Silenziatore di espulsione e relativo condotto atto a convogliare l'aria all'esterno del fabbricato.
- Condotto e silenziatore di gas di scarico del tipo SM40M.
- Sala prova vera e propria:
 - Rivestimento fonoassorbente verso il motore in prova con finitura superficiale con doghe forate in alluminio preverniciato bianco.
 - Portone scorrevole, con sole guide al suolo in grado di scoprire una luce di larghezza 3.000mm ed a tutta altezza al fine di consentire l'introduzione dei motori a mezzo del carroponete del fabbricato. Per conseguire l'isolamento acustico necessario sono state realizzate particolari tenute "a silenziatore" su tutto il perimetro, soglia compresa; all'interno del portone è stato realizzato un passo pedonale di accesso, sopra la soglia, con apertura dall'interno a spinta.
 - Tetto in pannellatura composta completo di flaps incernierati, a comando idraulico, in grado di scoprire un superficie pari a 5.200 x 11.000mm per il posizionamento a mezzo carroponete del motore sul banco.
- Porta di accesso alla sala controllo.

Anno di realizzazione: 2002



Risultati acustici: L_{Aeq} :
 - prima intervento: >100 dB
 - dopo intervento: <80 dB

Fattori di criticità: Per una società che ha tra le propria attività principali la revisione e quindi la prova ed il collaudo dei motori, la sala prova è una componente essenziale dell'impiantistica.
 Nel caso specifico si poneva, oltre alla ovvia esigenza di provare i motori in condizioni controllate sia per quanto riguarda la temperatura e la depressione interna sia per le perdite di carico allo scarico del motore, due obiettivi di tipo ambientale che dovevano essere rispettati e che semplicemente possono essere così riassunti:
 Il contenimento della rumorosità nell'ambiente di lavoro, che si trova per ragioni funzionali nello stesso fabbricato della sala prova, così come prescritto nel: Decreto Legislativo 15 agosto 1991, n° 277.
 Il rispetto del livello ammissibile verso l'ambiente esterno così come definito dal:
 Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore".

Costi approssimativi: € 80.000

Intervento progettato da:
 STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
 STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo: standard []

prototipo [x]

Comparto produttivo:
Industria aeronautica.

Tipo di intervento:
Porta al servizio del banco prova.

| | |
|----------------------------|-------------|
| Scheda n° | C9.2 |
|----------------------------|-------------|

Descrizione della problematica:

Portone per l'introduzione dei motori nel banco prova.



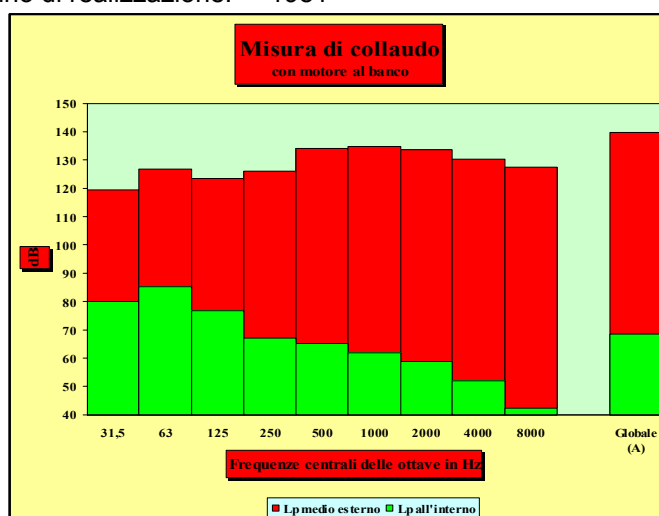
Descrizione dell'intervento:

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



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 progettato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo: standard []

prototipo [x]

Comparto produttivo:
Terziario.

Tipo di intervento:
Isolamento acustico tra ambienti.

| | |
|----------------------------|-------------|
| Scheda n° | C9.3 |
|----------------------------|-------------|

Descrizione della problematica:

Porte con attenuazioni certificate: porta standard STC 47

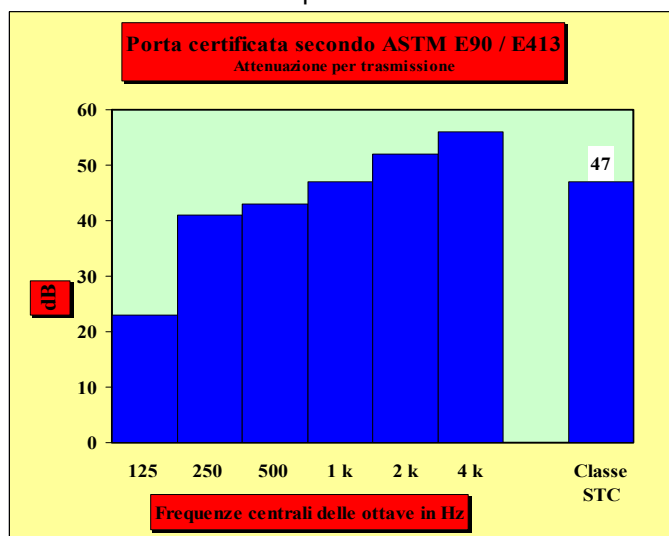


Descrizione dell'intervento:

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: in produzione



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 progettato da:
IAC Ltd.

Intervento realizzato da:
STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo: standard [x] prototipo []

Comparto produttivo:
Industria chimica.

Tipo di intervento:
Isolamento mulini di macinazione.

Scheda **C9.4**
n°

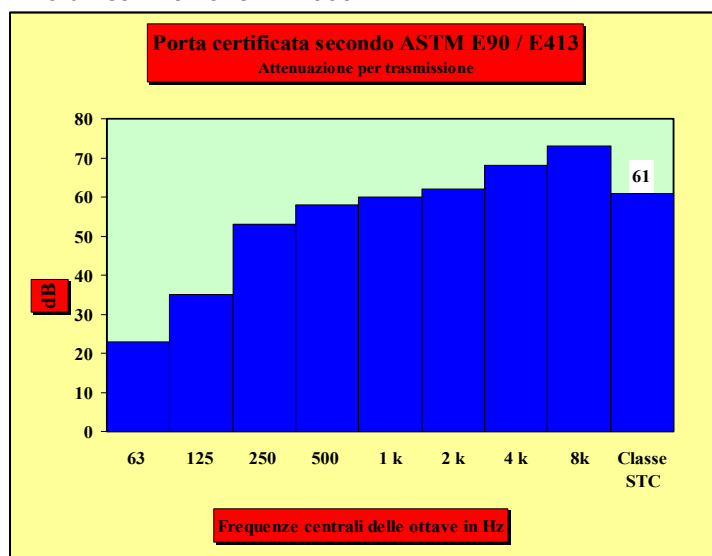
Descrizione della problematica:

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 progettato da: IAC Ltd.

Intervento realizzato da: STOPSON ITALIANA

Intervento di tipo:

standard [x]

prototipo []