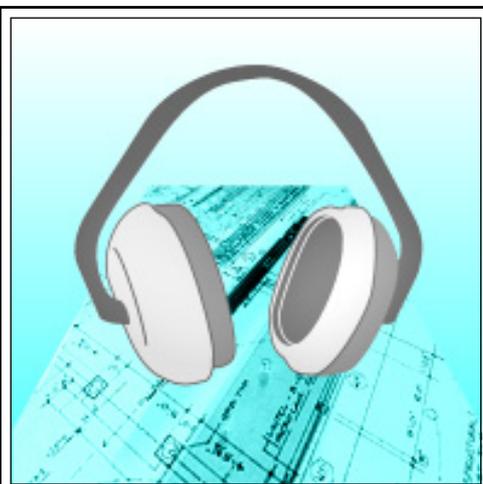


INFORMAZIONI TECNICHE



divisione
CLIMA

Scheda n°

2

Gennaio 2000

Capitolo

**INFORMAZIONI
TECNICHE**

Simbologia

		U.M.
I	Intensità sonora	W/m ²
f	Frequenza	Hz
Lp	Livello di pressione sonora	dB
Lw	Livello di potenza sonora	dB
NR	Indice di rumorosità	dB

Semplici ma basilari nozioni di acustica

Suono e rumori

Una sorgente di vibrazioni in contatto con l'aria crea una variazione di pressione che l'orecchio umano percepisce come suono. Il suono si propaga come un'onda dotata di una certa lunghezza ad una data frequenza e nell'aria la sua velocità è di 344 m/s.

Spesso molti suoni sono sgradevoli o indesiderati e, di conseguenza, sono definiti come rumori.

Frequenza e lunghezza d'onda

Il numero delle variazioni di pressione in un secondo viene chiamato frequenza ed è misurato in hertz (Hz).

L'orecchio umano è sensibile a frequenze comprese fra 25 Hz e 15.000 Hz. Conoscendo la velocità di un suono e la sua frequenza possiamo calcolare la sua lunghezza d'onda. Per esempio, nell'aria alla frequenza di 100 Hz la lunghezza d'onda è pari a 3,44 metri mentre a 1000 Hz la lunghezza d'onda sarà di 0,344 metri; ciò significa che i suoni ad alta frequenza hanno lunghezze d'onda più corte rispetto ai suoni a bassa frequenza. Infatti nei silenziatori ad assorbimento è generalmente più elevato l'abbattimento alle alte frequenze che alle basse in quanto le prime si infrangono più volte sul materiale fonoassorbente. Un suono generato da una unica frequenza è definito come suono puro ma abitualmente il suono è generato da onde con andamento casuale in lunghezza e frequenza.

Dimensioni

La dimensione, o magnitudine, di un suono può essere espressa indifferentemente in potenza sonora, in intensità sonora o in pressione sonora. La potenza sonora è la quantità totale di energia acustica emessa da una sorgente sonora ed è espressa in watt.

L'intensità sonora è la quantità di energia acustica che attraversa una data superficie perpendicolare alla direzione di propagazione ed è solitamente espressa in watt per metro quadrato.

La pressione sonora è il valore della variazione di pressione subita da un corpo in un punto qualsiasi entro il campo sonoro ed è espressa in newton per metro quadrato. È da sottolineare che per un dato suono la potenza sonora sarà costante mentre l'intensità e la pressione dipenderanno dalle condizioni di misurazione.

L'orecchio umano

L'apparato uditivo reagisce con una risposta non lineare ma logaritmica all'intensità sonora ovvero al quadrato della pressione secondo l'equazione

$$I = p^2 / f \cdot c \quad (\text{W/m}^2) \text{ dove:}$$

f = densità del mezzo

c = velocità del suono (nel mezzo).

L'ampiezza dell'intensità sonora, entro la quale l'apparato uditivo reagisce, è compresa fra un minimo di 10^{-12} W/m² fino ad un massimo di circa 10 W/m²; mentre l'ampiezza della pressione sonora varia da 2×10^{-5} Pa a circa 63 Pa.

Per misurare grandezze di tale ampiezza è necessario utilizzare scale logaritmiche con intervalli di 1/10 del logaritmo in base 10 del rapporto fra la grandezza da misurare e quella di riferimento (identica al valore minimo).

Unità di misura

Il decibel (dB) non è quindi una unità di misura assoluta ma rappresenta il rapporto espresso in scala logaritmica tra una quantità misurata ed il suo livello di riferimento.

Il livello di potenza sonora (L_w) è un valore uguale a 10 volte il logaritmo decimale del rapporto fra la potenza sonora totale irradiata da una sorgente e la potenza sonora di riferimento, di norma considerata uguale a 10^{-12} W

$$L_w \text{ in dB} = 10 \log_{10} \frac{\text{potenza sonora}}{\text{potenza di riferimento}}$$

Poichè la potenza sonora varia al quadrato della pressione sonora quest'ultima sarà

$$L_p \text{ in dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{pressione sonora}}{\text{pressione di riferimento}} \right)^2 =$$

$$L_p \text{ in dB} = 20 \log_{10} \frac{P}{P \text{ di riferimento}}$$

Il livello di pressione sonora (L_p) è quindi un valore uguale a 20 volte il logaritmo decimale del rapporto fra il valore efficace della pressione sonora di un suono e la pressione sonora di riferimento, di norma considerata pari a $20 \mu\text{Pa}$ ($2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$).

Valori di potenza sonora espressi in modo lineare, esponenziale e in dB

Lineare (W)	Esponenziale	dB (10^{-12}W)	Emessi da
100.000	10^5	170	Razzo
10.000	10^4	160	Aereo a reazione
1.000	10^3	150	Soglia del dolore
100	10^2	140	Discoteca
10	10^1	130	Organo a canne
1	1	120	Martello pneumatico
0,1	10^{-1}	110	Pianoforte
0,01	10^{-2}	100	Traffico intenso
0,001	10^{-3}	90	Sveglia
0,0001	10^{-4}	80	Telefono
0,00001	10^{-5}	70	Voce umana
0,000001	10^{-6}	60	Ufficio
0,0000001	10^{-7}	50	Biblioteca
0,00000001	10^{-8}	40	Teatro
0,000000001	10^{-9}	30	Soglia dell'udito

Somma di livelli sonori

Quando due sorgenti di rumore si combinano fra loro si avrà un aumento del livello più alto secondo la seguente tabella.

Differenza fra i livelli	Aggiunta al livello più alto
0,1	+ 3
2,3	+ 2
4, 5, 6, 7, 8, 9	+ 1
10 o più	0

Esempio: $L_p 30 + L_p 37$ (differenza 7/aggiunta +1) = $L_p 38$

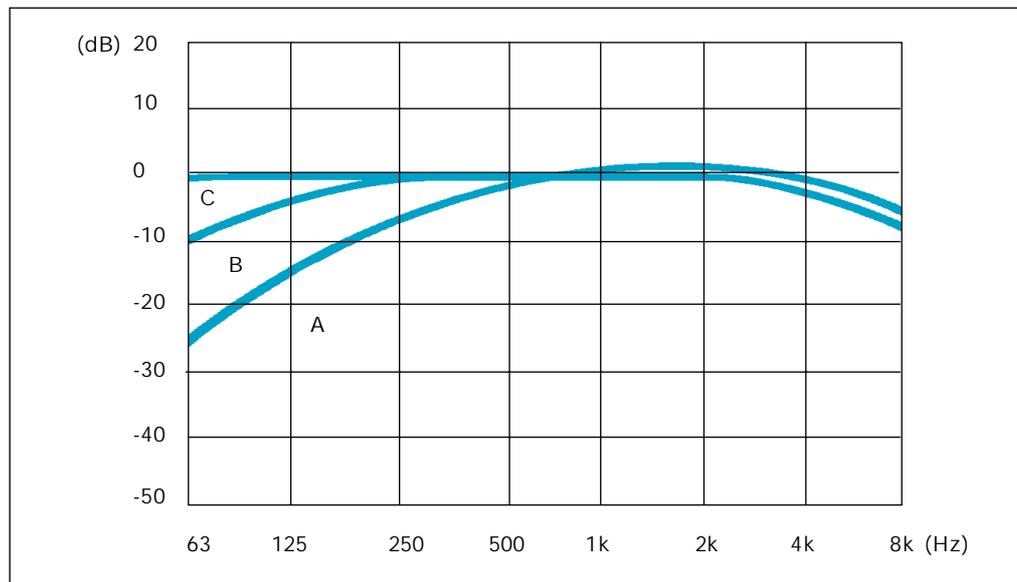
Curve di ponderazione

L'orecchio umano è un sistema molto sofisticato ed evoluto; è in grado di apprezzare i suoni al variare della loro frequenza e intensità, infatti per i livelli sonori fino a 55 dB l'orecchio umano è poco sensibile alle basse frequenze e molto alle alte frequenze; per livelli sonori compresi fra 55 e 85 dB la curva di risposta tende ad appiattirsi, oltre gli 85 dB è praticamente piatta.

Per riprodurre simili condizioni in un fonometro è stato necessario introdurre sistemi di correzione, comunemente conosciuti come curve di ponderazione in frequenza "A" - "B" - "C", la cui legge di variazione è ispirata alle curve isofoniche.

La curva "A" è utilizzata per livelli di pressione sonora fino a 55 dB, la curva "B" per livelli compresi fra 55 e 85 dB, e la curva "C" per livelli superiori a 85 dB.

I valori misurati devono essere definiti come dB(A), dB(B) e dB(C).



Spettro e bande di frequenza

Abitualmente un rumore è generato da onde con andamento casuale nel tempo e variabile nell'ampiezza; ciò significa che è il risultato di suoni diversi per intensità e frequenza.

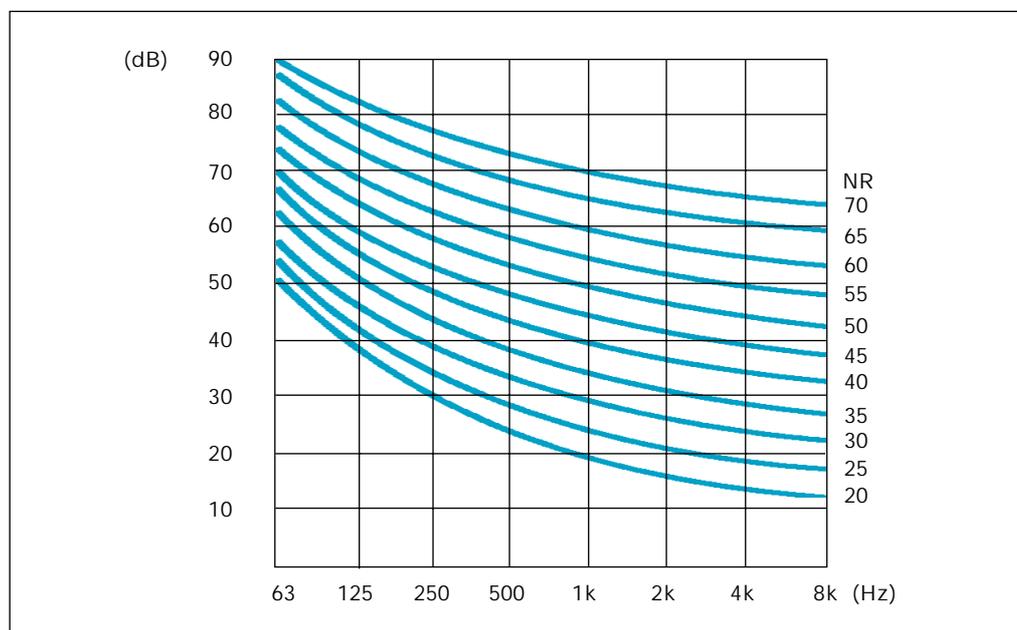
Per meglio definirlo è quindi necessario dividere l'intero spettro delle frequenze in bande più ristrette e misurare per ogni banda il livello sonoro in essa contenuto.

Normalmente si usano otto bande (chiamate bande d'ottava) aventi le seguenti frequenze nominali 63 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000 Hz.

Curve NR

Le curve NR sono abitualmente utilizzate negli impianti di condizionamento e sono state raccomandate da ISO (International Standard Organisation).

Esse definiscono la composizione in frequenza del rumore ammesso in un ambiente. Quest'ultimo è accettabile quando al variare della frequenza il livello sonoro misurato è contenuto nel valore corrispondente alla curva prescelta.



Curve NR consigliate

Ambiente	NR	dB(A)
Studi radio televisivi	20	30
Teatri e sale da concerto	20 - 25	30 - 35
Auditorium e chiese	25 - 30	35 - 40
Sale cinematografiche	25 - 30	35 - 40
Ospedali e sale operatorie	30 - 40	40 - 50
Camere da letto	25 - 35	35 - 45
Biblioteche	30 - 35	40 - 45
Uffici	35 - 45	45 - 55
Ristoranti e bar	35 - 45	45 - 55
Piscine	35 - 50	45 - 60
Industrie leggere	50 - 70	60 - 80

La pressione sonora e la potenza sonora

Sebbene questi due valori siano stati precedentemente definiti, è bene chiarire la relazione fra loro esistente poichè vi è spesso confusione nel loro uso.

Per analogia si potrebbe dire che il livello di pressione sonora è paragonabile al valore di temperatura in un ambiente, mentre il livello di potenza sonora è equivalente alla capacità frigorifera disponibile per raffreddare l'ambiente stesso.

La temperatura risultante sarà una funzione della capacità frigorifera e del carico termico in ambiente.

Esattamente allo stesso modo il livello di pressione sonora risultante dovrebbe essere una funzione della potenza sonora emessa dalle apparecchiature unitamente alle proprietà acustiche dell'ambiente.

Livello di pressione sonora diretta e riverberata

Il livello di pressione sonora generato in un ambiente è costituito da due componenti: il suono che raggiunge direttamente l'ascoltatore e il suono che l'ascoltatore sente riflesso dal pavimento, dai muri e dal soffitto.

Il primo è chiamato livello di pressione sonora diretta e dipende dalla distanza fra la sorgente sonora e l'ascoltatore; il secondo è chiamato livello di pressione sonora riverberata, non dipende dalla distanza ma dalle dimensioni e dalle caratteristiche di assorbimento dell'ambiente. Il livello risultante di pressione sonora è la somma logaritmica dei due livelli.

Tempo di riverberazione

Se in un ambiente si spegne la sorgente sonora, il livello di pressione sonora non si annulla immediatamente a causa delle riflessioni dovute alle pareti che continuano il loro percorso.

Il livello sonoro decresce più o meno rapidamente nel tempo in funzione delle dimensioni e delle caratteristiche fonoassorbenti dell'ambiente.

Si definisce tempo di riverberazione quello necessario affinché il livello sonoro diminuisca di 60 dB rispetto al valore misurato prima dello spegnimento della sorgente.

Un tempo di riverberazione pari a un secondo è considerato nella media.

Coefficiente di assorbimento

Il coefficiente di assorbimento acustico di un materiale è il rapporto fra l'energia assorbita e quella incidente su di esso; il suo valore varia da 0 a 1 e dipende dal materiale, dalla frequenza e dall'angolo di incidenza dell'onda della pressione sonora.

Materiali isolanti

Un materiale è isolante quando riduce la trasmissione del suono attraverso se stesso. Un esempio tipico è dato da un muro di mattoni, un pessimo esempio è dato dalle pareti in metallo di un condotto di condizionamento. Normalmente i materiali con alta densità hanno elevato isolamento, per esempio un foglio di piombo è particolarmente efficace. Vale però la pena di considerare che sebbene i materiali isolanti impediscano il passaggio del suono essi non lo fanno sparire; il suono è riflesso nello stesso modo in cui uno specchio riflette la luce e questo è spesso causa di aumento di rumore.

Materiali assorbenti

I materiali assorbenti non riflettono il suono (o ne riflettono solo una piccola parte). La lana minerale è un tipico materiale assorbente così come lo può essere, paradossalmente, una finestra aperta. Nel caso della lana minerale, o materiale similare, parte del suono viene assorbito dagli interstizi del materiale mentre nel caso di una finestra aperta il suono, semplicemente, si trasferisce all'esterno. È ovvio che i materiali assorbenti non sono identici ai materiali isolanti e non possono essere usati come tali.

Silenziatori

I silenziatori sono prodotti interessanti per i progettisti e gli installatori di impianti di condizionamento perchè consentono il passaggio dell'aria e contemporaneamente la riduzione del rumore.

Generalmente in essi si suddivide il flusso dell'aria in numerosi passaggi delimitati da materiale fonoassorbente.

I silenziatori sono normalmente scelti secondo l'attenuazione in decibel che forniscono per ogni banda d'ottava, così che la sorgente sonora possa essere significativamente assorbita. Un altro importante parametro relativo ai silenziatori è la resistenza contraria al flusso d'aria.

Pertanto è bene ricordare che un silenziatore deve essere scelto considerando l'attenuazione necessaria e la minor perdita di carico possibile.

Sul mercato sono disponibili silenziatori rettangolari a setti o circolari in un'ampia gamma di dimensioni costruttive per cui è possibile soddisfare ogni esigenza impiantistica.

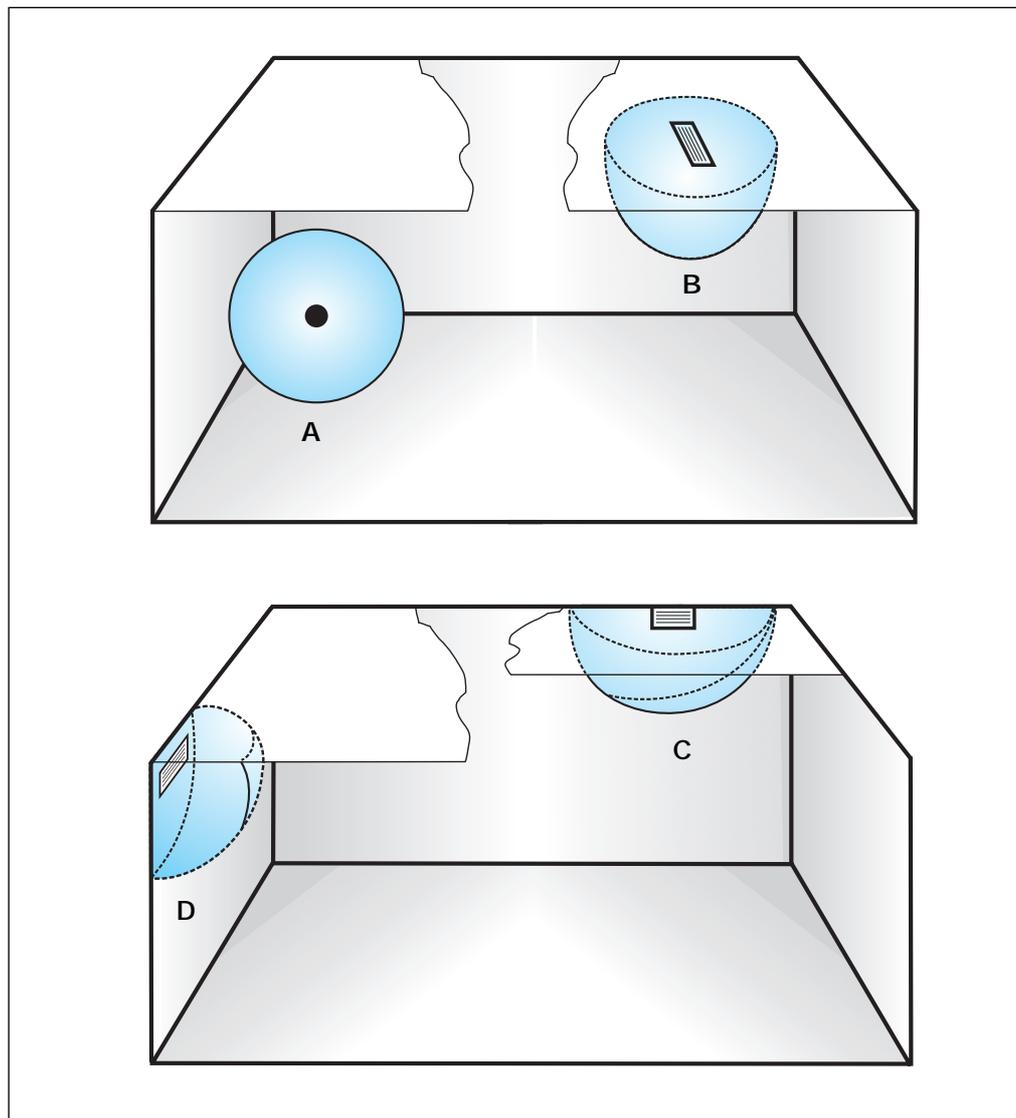
Un modesto suggerimento

Un campo sonoro generato da una sorgente posta in un ambiente è influenzato dalla presenza di ostacoli e di superfici riflettenti. Se, per esempio, la sorgente di rumore è un terminale di diffusione dell'aria la sua posizione nell'ambiente rispetto alle pareti e al soffitto modifica sensibilmente il campo sonoro.

Se immaginiamo il terminale (A) come una sorgente puntiforme sferica in grado di irradiare in ogni direzione (con fattore di direttività $Q = 1$) quando lo stesso sarà montato a soffitto (B) si avrà $Q = 2$, in quanto l'energia sonora si propaga in forma emisferica e l'ascoltatore di conseguenza riceve una quantità doppia di energia sonora.

Quando il terminale (C) è montato tra una parete e il soffitto si avrà $Q = 4$ in quanto l'energia sonora si propaga in un quarto di sfera e l'ascoltatore riceve una quantità quadrupla di energia sonora. Quando il terminale (D) è montato tra il soffitto e due pareti contigue si avrà $Q = 8$ in quanto l'energia sonora si propaga in un ottavo di sfera e l'ascoltatore riceve una quantità di energia sonora pari a otto volte la sorgente originale. Pertanto, rispetto ad un campo libero un terminale montato a soffitto sarà più rumoroso di 3 dB, se montato tra il soffitto e una parete sarà più rumoroso di 6 dB, se montato tra due pareti e il soffitto sarà più rumoroso di 9 dB.

La morale è ovvia: un montaggio corretto a volte è anche meno rumoroso.



Calcolo acustico

In un impianto di condizionamento esistono sorgenti di rumore che, se non controllate, possono determinare condizioni acustiche ambientali non accettabili.

È quindi necessario intervenire per soddisfare i livelli di prestazione richiesti.

È possibile effettuare un calcolo acustico per definire un eventuale dimensionamento di un silenziatore, purchè siano disponibili le seguenti informazioni:

- la rumorosità del ventilatore possibilmente espressa in potenza sonora (Rif. 10^{-12} W) in livelli per bande d'ottava.

In mancanza dei dati di rumorosità specificare il tipo di ventilatore, la portata d'aria, la pressione statica sviluppata, la potenza elettrica del motore installato;

- la sezione, la lunghezza e la portata del condotto principale di mandata dell'aria;
- la sezione, la lunghezza e la portata d'aria del condotto secondario che alimenta un terminale di diffusione situato nell'ambiente più vicino al ventilatore;
- il numero di curve e il loro angolo, che si trovano nel percorso dei condotti (principale e secondario) dal ventilatore al terminale più vicino;
- Il tipo e lo spessore di un eventuale rivestimento interno e/o esterno dei condotti;

- la descrizione dei terminali di diffusione dell'aria presenti nell'ambiente: tipo, quantità, portata d'aria unitaria, dimensione, posizione nell'ambiente (a parete, a soffitto, ecc);

- la descrizione dell'ambiente: dimensioni, portata d'aria, tempo di riverberazione;

- la presenza in ambiente di altre fonti di rumore (terminali di ripresa dell'aria, ventilconvettori);

- il livello di rumorosità prescritto o suggerito nell'ambiente, preferibilmente riferito ad una curva NR.

Nel caso sia richiesto un valore globale espresso in dBA, nel calcolo acustico si farà sempre riferimento ad una curva normalizzata la cui sommatoria logaritmica corrisponda al valore in dBA;

- la perdita di carico disponibile per dimensionare il silenziatore, ed eventualmente gli ingombri massimi a disposizione per l'inserimento del silenziatore nel sistema di condizionamento.

Poichè la rumorosità si espande in tutte le direzioni, in un impianto di condizionamento anche la ripresa dell'aria può essere fonte di disturbo; per il calcolo acustico vale quanto precedentemente descritto.

Gli impianti di condizionamento sono una fonte di inquinamento acustico anche verso l'ambiente esterno.

La posizione delle macchine, delle griglie di espulsione o delle prese d'aria esterna possono creare livelli di rumorosità fastidiosi e inaccettabili dall'ambiente esterno.

È quindi opportuno tenere nella giusta considerazione anche queste eventuali fonti di rumore che possono essere attenuate sia con silenziatori che con eventuali barriere acustiche.

Quadro legislativo

La legislazione Italiana in materia di protezione dal rumore in ambiente abitativo ed esterno è rappresentata principalmente da:

- D.P.C.M. del 1 marzo 1991 dal titolo "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno".

- Legge 26 ottobre 1995 N. 447 dal titolo "Legge quadro sull'inquinamento acustico".

- D.P.C.M. del 14 novembre 1997 dal titolo "DETERMINAZIONE DEI VALORI LIMITE DELLE SORGENTI SONORE".

- D.P.C.M. del 5 dicembre 1997 dal titolo "DETERMINAZIONE DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI".

- Decreto del Ministro dell'Ambiente del 16 marzo 1998 dal titolo "TECNICHE DI RILEVAMENTO E DI MISURAZIONE DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO".

- D.P.C.M. del 31 marzo 1998 dal titolo "DEFINIZIONE DEI CRITERI GENERALI PER L'ESERCIZIO DELL'ATTIVITÀ DI TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA".

Le note esposte vogliono essere solo una semplice introduzione alla comprensione dei problemi acustici presenti negli impianti di condizionamento.