

Rumore in ambienti di lavoro

Secondo il decreto legislativo 277 del 1991 (art. 46, comma 2), le nuove macchine, il cui utilizzo può comportare un livello di esposizione degli addetti superiore a 85 dB(A), vanno corredate da adeguate informazioni relative al rumore prodotto nelle normali condizioni d'uso e ai rischi connessi. Il datore di lavoro, all'atto dell'acquisto di nuove macchine, deve privilegiare quelle che producono il più basso livello di rumore (art. 46, comma 3).

Secondo la direttiva 392 del Consiglio delle Comunità Europee del 1989 (all. 1, par. 1.7.4.f), nel libretto di istruzioni per l'uso delle macchine vanno riportati:

- il livello equivalente di pressione sonora al posto di lavoro, se tale livello supera i 70 dB(A); se tale livello è inferiore, il fatto va indicato;

- il livello massimo di picco della pressione sonora al posto di lavoro, se tale livello supera i 130 dB(C);

- il livello di potenza sonora della macchina, se il livello equivalente di pressione sonora al posto di lavoro supera gli 85 dB(A).

Di fronte a queste disposizioni, la determinazione della potenza sonora e del livello di pressione sonora al posto operatore ha assunto per il tecnico in acustica una notevole rilevanza pratica. Ci è parso quindi interessante esaminare le norme riguardanti la misura di tali grandezze, rendendo la materia il più possibile piana anche per quei tecnici che per la prima volta si avvicinano a questi argomenti. Le norme esaminate possono essere utilizzate per macchine collocate nella maggior parte degli ambienti industriali.

Determinazione della potenza sonora

Come è noto la potenza sonora di una sorgente (energia emessa per unità di tempo) è una grandezza caratteristica della sorgente stessa ed è indipendente dall'ambiente in cui il rumore viene irradiato: mediante tale grandezza è possibile quindi confrontare la rumorosità di macchine diverse tra loro.

Per la misura della potenza sonora di una macchina (non collocata in un laboratorio) si fa generalmente riferimento ai due documenti:

- UNI EN ISO 3744 (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”*.
- UNI EN ISO 3746 (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”*.

Il metodo indicato dai due documenti si applica a qualsiasi tipo di rumore e a qualsiasi tipo di macchina collocata su una superficie di appoggio rigida e riflettente.

La norma ISO 3744 richiede che l'ambiente di misura sia pressoché privo di superfici riflettenti, eccettuata quella su cui poggia la macchina, in modo da avvicinarsi il più possibile alle condizioni di campo libero (si rammenta che tali condizioni si possono riscontrare all'aperto, lontano da pareti o ostacoli, oppure in una camera semianecoica). L'accuratezza della misura rientra nel metodo ingegneristico (grado 2); la riproducibilità dei risultati (ottenibili in ambienti di misura differenti) è esprimibile con una deviazione standard non superiore a 1.5 dB

(nel caso di uno spettro relativamente piatto tra 100 e 10000 Hz).

La norma ISO 3746 consente di effettuare la misura anche in ambienti moderatamente riverberanti; pertanto è più frequentemente utilizzabile per macchine installate in stabilimenti industriali (*in situ*). L'accuratezza della misura rientra nel metodo di controllo (grado 3); la riproducibilità dei risultati (ottenibili in ambienti di misura differenti) è esprimibile con una deviazione standard non superiore a 4 o a 5 dB per sorgenti che irradiano rumore, rispettivamente, a banda larga o con caratteristiche tonali.

Il metodo descritto dai due documenti consente di determinare il livello di potenza sonora a partire dal livello medio di pressione sonora rilevato su una opportuna superficie di misura S . Quest'ultima va costruita ad una distanza d dalla superficie del più piccolo parallelepipedo che racchiude integralmente la macchina (superficie di inviluppo).

A seconda delle dimensioni della macchina, i due documenti permettono di scegliere la distanza d (se possibile d va scelto pari a 1 m), il numero dei punti di misura (molto più numerosi nel caso della ISO 3744) e la loro posizione sulla superficie di misura.

Il metodo definito dai due documenti ISO si basa sul fatto che il livello medio di pressione sonora sulla superficie di misura determinato in condizioni reali, una volta corretto per eliminare l'influenza del rumore residuo e delle riflessioni ambientali, esprime il livello medio di pressione sonora sulla superficie di misura in condizioni di campo libero (L_{pf}); tale livello equivale al livello di potenza per unità di superficie. Il livello di potenza sonora della macchina si otterrà quindi facendo riferimento all'intera superficie di misura.

In pratica, il livello L_{pf} , espresso in dB, è dato da

$$(1) \quad L_{pf} = L' - K_1 - K_2$$

dove L' è il livello medio di pressione sonora sulla superficie di misura, K_1 è il fattore di correzione relativo al rumore residuo e K_2 è il fattore di correzione relativo alle riflessioni ambientali.

Il livello L' si ottiene calcolando la media energetica dei livelli L_i' rilevati nei punti di misura

$$(2) \quad L' = 10 \log (1/N \sum 10^{0.1 L_i'})$$

dove N è il numero dei rilievi.

Il fattore di correzione K_1 si riferisce al rumore residuo, ovvero al rumore rilevato a macchina disattivata: tale rumore comprende tutte le sorgenti sonore esclusa quella in esame (comprende quindi anche il rumore elettrico della linea di misura). Il fattore K_1 , espresso in dB, è dato da

$$(3) \quad K_1 = -10 \log (1 - 10^{-0.1 \Delta L'})$$

dove $\Delta L'$ è la differenza tra i livelli medi di pressione sonora sulla superficie di misura a macchina in funzione e a macchina disattivata (entrambi calcolati tramite la relazione 2).

Secondo la norma ISO 3744, qualora $\Delta L'$ sia superiore a 15 dB, si assume K_1 pari a zero; qualora $\Delta L'$ sia inferiore a 6 dB, l'accuratezza della misura non raggiunge quella propria della norma stessa (grado 2).

Secondo la norma ISO 3746, qualora $\Delta L'$ sia superiore a 10 dB, si assume K_1 pari a zero; qualora $\Delta L'$ sia inferiore a 3 dB, l'accuratezza della misura non raggiunge quella propria della stessa norma (grado 3).

Il fattore di correzione K_2 (denominato indicatore ambientale) esprime l'incremento del livello sonoro medio sulla superficie di misura dovuto alle riflessioni ambientali.

Nel caso di misure effettuate all'aperto (con la macchina sempre posta su una superficie riflettente, ma lontano da altri elementi riverberanti), si assume K_2 pari a zero.

Nel caso di misure effettuate in ambienti confinati, il fattore K_2 , espresso in dB, è dato da

$$(4) \quad K_2 = 10 \log (1 + 4 S/A)$$

dove S è la superficie di misura e A è l'area equivalente di assorbimento (entrambe espresse in m^2).

Utilizzando la formula di Sabine, l'area equivalente di assorbimento A è data da

$$(5) \quad A = 0.16 (V/T)$$

dove V è il volume del locale di misura (espresso in m^3) e T è il tempo di riverbero rilevato nel locale (espresso in s).

Il valore di K_2 è tanto più elevato quanto maggiori sono le riflessioni ambientali. Per l'applicabilità della norma ISO 3744, K_2 deve essere inferiore a 2 dB; per l'applicabilità della norma ISO 3746, K_2 deve essere inferiore a 7 dB.

Il livello di potenza sonora della macchina (L_W), espresso in dB, è dato da

$$(6) \quad L_W = L_{pf} + 10 \log (S/S_0)$$

dove S è la superficie di misura e S_0 è la superficie unitaria, entrambe espresse in m^2 .

Sulla base dei due documenti è possibile determinare il livello di potenza sonora ponderato A; i livelli sonori nei punti di misura vanno perciò rilevati impiegando tale ponderazione. A questa ponderazione si riferiscono le deviazioni standard riportate in precedenza che caratterizzano la riproducibilità di ciascun metodo. Per quanto riguarda il tempo di riverbero entrambi i documenti raccomandano di utilizzare il valore relativo alla banda centrata su 1000 Hz.

Sulla base della norma ISO 3744 è possibile determinare i livelli di potenza sonora anche per bande o terzi di ottava; in questo caso i livelli sonori nei punti di misura e il tempo di riverbero vanno rilevati alle frequenze di interesse.

Determinazione del livello di pressione sonora al posto operatore

Il livello di pressione sonora al posto operatore esprime il livello a cui è esposto il lavoratore addetto alla macchina in esame quando essa è posta in condizioni di campo libero. Come si è già detto (cfr. par. 2), tali condizioni si possono riscontrare all'aperto, lontano da pareti o ostacoli, oppure in una camera semianecoica. Dato che i livelli sonori in condizioni di campo libero prescindono dalle riflessioni dell'ambiente (escluse quelle del piano di appoggio), tali livelli consentono di confrontare tra loro macchine diverse in termini di rumore presente nella postazione di lavoro.

Per la valutazione del livello di pressione sonora al posto operatore si fa generalmente riferimento ai cinque progetti di norma della serie ISO 11200:

- UNI EN ISO 11200, 31-10-97 - *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.*
- UNI EN ISO 11201, 31-10-97 - *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.

- UNI EN ISO 11202, 31-10-97 - *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.*
- UNI EN ISO 11203, 31-10-97 - *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.*
- UNI EN ISO 11204, 30-11-97 - *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.*

La norma ISO 11200 fornisce una guida per la scelta dei metodi di valutazione in base:

- alla presenza o meno dell'operatore in prossimità della macchina;
- al fatto che la posizione dell'operatore sia o meno definibile;
- alle caratteristiche sonore dell'ambiente di misura, più o meno simili a quelle di campo libero;
- all'accuratezza con cui si intende effettuare la valutazione.

La norma ISO 11203 suppone noto il livello di potenza sonora e da esso ricava il livello di pressione sonora al posto operatore mediante la sottrazione di una quantità Q ; tale quantità può essere calcolata sulla base delle indicazioni riportate nella stessa oppure fornita da una eventuale norma applicativa riguardante la famiglia di macchine cui appartiene quella in esame. Questo metodo di determinazione del livello di pressione sonora al posto operatore risulta particolarmente adatto a macchine per le quali non sono definite le postazioni dell'operatore. Il grado di accuratezza della misura è pari a quello con cui è stata determinata la potenza sonora della macchina.

I metodi di misura veri e propri del livello di pressione sonora al posto operatore sono descritti dai tre progetti di norma ISO/DIS 11201, 11202 e 11204. Essi si applicano a qualsiasi tipo di rumore e a qualsiasi tipo di macchina collocata su una superficie di appoggio rigida e riflettente.

I tre metodi di misura permettono di ottenere il livello di pressione sonora al posto operatore in condizioni di campo libero a partire dal livello effettivamente rilevato in questa posizione. A quest'ultimo livello vengono sottratti i contributi K_1 (relativo al rumore residuo) e K_3 (relativo alle riflessioni ambientali), entrambi riferiti al posto operatore. Tali contributi sono concettualmente analoghi ai contributi K_1 e, rispettivamente, K_2 considerati per la determinazione della potenza sonora (questi ultimi erano però riferiti alla superficie di misura).

L'applicabilità dei tre progetti è definita tramite l'indicatore ambientale K_2 ; come già detto (cfr. par. 2), tale fattore esprime l'incremento del rumore (sulla superficie di misura) dovuto alle riflessioni ambientali ed è tanto più elevato quanto maggiori sono queste ultime. La scelta tra i tre progetti presuppone quindi la valutazione di questo fattore, effettuata impiegando la procedura indicata dai documenti ISO 3744 o ISO/DIS 3746.

La norma ISO 11201 è applicabile in ambienti scarsamente riverberanti (al limite all'aperto): si richiede infatti che il valore di K_2 sia inferiore a 2 dB. L'accuratezza della misura rientra nel metodo ingegneristico (grado 2); la riproducibilità dei risultati (ottenibili in ambienti di misura differenti) è esprimibile con una deviazione standard non superiore a 2.5 dB (nel caso di uno spettro

relativamente piatto tra 100 e 10000 Hz).

La norma ISO 11202 consente di effettuare la misura anche in ambienti moderatamente riverberanti (e quindi negli ambienti industriali): si richiede infatti che il valore di K_2 sia inferiore a 7 dB. L'accuratezza della misura rientra nel metodo di controllo (grado 3); la riproducibilità dei risultati (ottenibili in ambienti di misura differenti) è esprimibile con una deviazione standard non superiore a 5 dB (nel caso di uno spettro relativamente piatto tra 100 e 10000 Hz).

La norma ISO 11204 è applicabile ad entrambe le tipologie di ambienti sopra indicate: si richiede infatti che il valore di K_2 sia inferiore a 7 dB. L'accuratezza della misura dipende questa volta dal fattore K_3 : essa rientra nel metodo ingegneristico (grado 2) qualora K_3 sia inferiore a 2 dB e rientra nel metodo di controllo (grado 3) qualora K_3 sia compreso tra 2 e 7 dB. La riproducibilità dei risultati (ottenibili in ambienti di misura differenti) è esprimibile, rispettivamente, con una deviazione standard non superiore a 2.5 o a 5 dB (nel caso di uno spettro relativamente piatto tra 100 e 10000 Hz).

Come si è accennato, nei tre progetti di norma, il livello di pressione sonora al posto operatore in condizioni di campo libero viene determinato in base al livello sonoro misurato in questa posizione in condizioni reali. Tale livello va diminuito di due fattori K_1 e K_3 che esprimono gli incrementi al posto di lavoro dovuti, rispettivamente, al rumore residuo e alle riflessioni ambientali.

In pratica, il livello di pressione sonora al posto dell'operatore in condizioni di campo libero (L_p), espresso in dB, è dato da

$$(7) \quad L_p = L'_p - K_1 - K_3$$

dove L'_p è il livello misurato al posto dell'operatore (in condizioni reali).

Qualora l'operatore sia presente durante la misura, il microfono va posto a 0.20 ± 0.02 m dal centro della testa in corrispondenza dell'orecchio, dal lato dove il livello sonoro risulta più elevato.

Qualora l'operatore non sia presente durante la misura, il rilievo va eseguito in posizioni differenti a seconda che l'addetto operi seduto, operi in piedi o non sia definita la sua posizione. Nel primo caso il microfono va posto ad una altezza dal sedile pari a 0.80 ± 0.05 m, nel secondo e nel terzo ad una altezza dalla superficie di appoggio della macchina pari 1.55 ± 0.07 m.

Il fattore di correzione K_1 , espresso in dB, è dato da

$$(8) \quad K_1 = -10 \log(1 - 10^{-0.1\Delta L})$$

dove ΔL è la differenza tra i livelli sonori rilevati al posto operatore (in condizioni reali) a macchina in funzione e disattivata. Si osservi che, nel caso del fattore di correzione K_1 considerato per la misura della potenza sonora (relazione 3), la differenza ΔL si riferisce ai livelli sonori medi rilevati sulla superficie di misura.

Secondo i progetti di norma ISO 11201 e 11204, qualora ΔL sia superiore a 15 dB, si assume K_1 pari a zero; qualora ΔL sia inferiore a 6 dB, l'accuratezza della misura non raggiunge quella propria della norma considerata.

Secondo la norma ISO 11202, qualora ΔL sia superiore a 10 dB, si assume K_1 pari a zero; qualora ΔL sia inferiore a 3 dB, l'accuratezza della misura non raggiunge quella propria della norma stessa.

Per quanto riguarda il fattore di correzione K_3 , la sua determinazione è diversa a seconda della norma utilizzata.

Nel caso della norma ISO 11201, si assume K_3 pari a zero.

Nel caso della norma ISO 11202, K_3 , espresso in dB, è dato da

$$(9) \quad K_3 = 10 \log(1 + 4 S'/A)$$

dove S' è la superficie di una semisfera di raggio pari alla distanza tra il posto

operatore e la macchina e A è l'area equivalente di assorbimento (cfr. par. 2); entrambe le superfici sono espresse in m^2 . Il grado di accuratezza indicato dalla norma viene mantenuto solo se il valore di K_3 non eccede 2.5 dB; in caso contrario l'accuratezza è ridotta e K_3 va posto pari a 2.5 dB.

Nel caso della norma ISO 11204, K_3 , espresso in dB, è dato da

$$(10) \quad K_3 = -10 \log [1 - 10^{-0.1(L'p - L')} (1 - 10^{-0.1K_2})]$$

dove L' è la media energetica dei livelli L_i' rilevati sulla superficie di misura (si veda la relazione 2) determinata ai sensi della norma ISO 3744 o della norma ISO 3746 (cfr. par. 2).

In sintesi, in presenza di basso rumore residuo (differenza tra rumore al posto operatore e rumore residuo superiore a 6 dB):

- qualora K_2 sia inferiore a 2 dB possono essere applicati i metodi dei progetti ISO/DIS 11201 (grado 2) o 11204 (grado 2 o 3). Nel primo caso viene effettuata soltanto la correzione relativa al rumore residuo (K_1). Nel secondo viene effettuata anche la correzione dovuta alle riflessioni ambientali (K_3). Quest'ultimo metodo è quindi concettualmente più valido; tuttavia va utilizzato solo nel caso in cui K_3 risulti inferiore a 2 dB, altrimenti l'accuratezza risulta inferiore a quella della norma ISO 11201;

- qualora K_2 sia compreso tra 2 e 7 dB possono essere applicati i metodi dei progetti ISO/DIS 11202 (grado 3) o 11204 (grado 2 o 3). In ambedue i casi vengono effettuate le correzioni relative al rumore residuo (K_1) e alle riflessioni ambientali (K_3). Il metodo ISO/DIS 11204 è da preferire in quanto consente una valutazione più corretta di K_3 (che può giungere sino a 7 dB, contro i 2.5 dB della norma ISO 11202); inoltre, nel caso K_3 risulti inferiore a 2 dB, l'accuratezza è superiore a quella della norma ISO/11202.

In presenza di elevato rumore residuo (differenza tra rumore al posto operatore e rumore residuo compresa tra 3 e 6 dB), l'unico metodo applicabile è quello descritto dalla norma ISO 11202 (grado 3).

Infine, in presenza di rumore residuo troppo elevato (differenza tra rumore al posto operatore e rumore residuo inferiore a 3 dB), nessuno dei tre metodi è utilizzabile.

Sulla base dei tre documenti è possibile determinare il livello di pressione sonora al posto operatore in condizioni di campo libero, ponderato A; i livelli sonori vanno perciò rilevati impiegando tale ponderazione. A questa ponderazione si riferiscono le deviazioni standard riportate in precedenza che caratterizzano la riproducibilità di ciascun metodo.

Sulla base dei progetti di norma ISO/DIS 11201 e 11204 è possibile determinare il livello di pressione sonora al posto operatore in condizioni di campo libero, anche per bande o terzi di ottava; in questo caso i livelli sonori vanno rilevati alle frequenze di interesse.

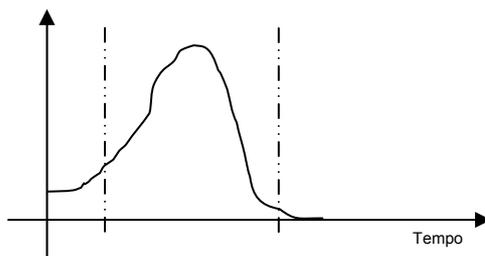
I metodi su esposti per la determinazione dei livelli di esposizione personale non sono mutuamente esclusivi e si possono utilizzare entrambi se in condizione di rumore di fondo continuo con aggiunta di rumori impulsivi.

Livello di esposizione personale

Il livello di esposizione personale L_{EP} , parametro richiesto dalla legge, si ottiene riferendo il livello medio in una giornata lavorativa standard di 8 ore. Pertanto, se abbiamo una esposizione di 9 ore (nella formula indicate con X) con livello equivalente di 83,2 dB(A) il livello di esposizione personale è:

$$L_{EP,8h} = L_{eq,Xh} + 10 \lg[Xh/8] = 83,2 + 10 \lg[9/8] = 82,8 \text{ dB(A)}$$

La valutazione di un rumore molto variabile è difficile perché legata all'istante della misura; soltanto potendo prostrarre quest'ultima per lungo tempo è possibile ridurre gli errori.



Pertanto occorre considerare il rumore come emesso a blocchi e per eventi discreti. Conoscendo il numero e la grandezza tali emissioni è possibile determinarne il livello equivalente.

Il SEL (*livello di singolo evento*) è l'energia dell'evento riferita ad 1 secondo.

$$SEL = L_{eq} + 10 \lg[t(s)]$$

Se N_1 e N_2 sono il numero di eventi per giornata lavorativa, del tipo 1 e 2, e SEL_1 e SEL_2 sono i rispettivi livelli di singolo evento, si ottiene:

$$L_{EP} = 10 \lg[N_1 * 10^{(SEL_1/10)} + N_2 * 10^{(SEL_2/10)}] + 10 \lg[1/(8*3600)]$$

Limiti di rumore

Riportiamo infine, per completezza, i limiti di rumore che la legge italiana ha stabilito per la tutela dei cittadini. In particolare sappiamo che sul posto di lavoro il livello sonoro risulta essere misurato come livello di esposizione personale: la legge precede 4 fasce di rumorosità:

- I. sotto 80 dBA: il rumore è considerato tollerabile senza che il lavoratore subisca danni permanenti;
- II. tra 80 dBA e 85 dBA: sono richieste visite obbligatorie per i lavoratori e controlli ripetuti sul livello di rumore per la sua eventuale riduzione;
- III. tra 85 dBA e 90 dBA: la legge in questo caso obbliga il datore di lavoro ad intervenire sulle macchine, in quanto per legge l'utilizzo di macchine non deve produrre un livello sonoro superiore a 85 dBA;
- IV. oltre i 90 dBA: in questo caso scatta, entro 60 giorni, una denuncia alle autorità competenti. In mancanza di tale, la fabbrica può incorrere nella chiusura e nell'obbligo di pagamento di una multa per ogni giorno successivo al sessantesimo.

Per quanto riguarda invece gli ambienti esterni, la legge italiana fissa limiti diversi. Sono infatti individuate 6 zone con limiti di rumore variabili a seconda del periodo considerato: tali zone sono presentate nella tabella seguente.

Zona	Limite diurno (dBA)	Limite notturno (dBA)	Nome zona
1°	50	40	Alta cautela (ospedali, scuole, ...)
2°	55	45	Residenziale
3°	60	50	Campagna
4°	65	55	Centri storici
5°	70	60	Industriale normale
6°	80	70	Esclusivamente industriale

Prevenzione da rumore

Principali provvedimenti per la prevenzione del danno da rumore nell'ambito dell'ambiente di lavoro:

- riduzione rumore alla sorgente (riduzione di vibrazione d'urto, vibrazioni da sfregato, vibrazioni forzate, vibrazioni libere, risonanza mediante riduzione, equilibratura, ripartizione delle forze meccaniche, riduzione delle superfici radianti, riduzione dell'efficienza di emissione delle superfici vibranti ecc.),
- intervalli sulle vie di trasmissione del rumore (incapsulamento sorgenti installazione schermi, isolamento basamenti ecc.),
- interventi di protezione acustica dell'ambiente (isolamento di pavimenti, pareti, soffitti ecc., installazione di pannelli e strutture fonoassorbenti, cabine insonorizzate di telecomando delle macchine ecc.),
- provvedimenti di protezione acustica individuale (cabine insonorizzate per il riposo silente degli operatori, cuffie antirumore, tappi auricolari, ecc.).

Il personale va sottoposto a controlli audiometrici periodici.