

ACTIONclima®



TL-SL01-51025022-R00

Letteratura Tecnica: **LIVELLI SONORI**

Technical Literature: **SOUND LEVELS**



PREMESSA

Negli impianti di climatizzazione il benessere non è solo quello termoisometrico, legato cioè al raggiungimento di prefissati valori di temperatura ed umidità, ma si riferisce ad una forma di benessere globale influenzabile da molteplici fattori tra cui la ventilazione, la qualità dell'aria, il rumore e le vibrazioni.

I movimenti vibratorii di un corpo si trasmettono sotto forma di perturbazioni di pressione attraverso i mezzi elastici (solidi, liquidi o gassosi).

Quando tali perturbazioni rientrano in un certo intervallo, esse sono percepibili dall'orecchio umano come sensazione acustica: il suono.

Il fenomeno acustico riguarda 3 elementi: la sorgente, il mezzo, il ricevitore.

- I movimenti vibratorii del corpo costituiscono la sorgente.
- L'aria presente fra la sorgente ed il ricevitore (o eventuali altri mezzi solidi, liquidi o gassosi) costituisce il mezzo con cui si trasmette il suono.
- Il fonometro (o l'apparecchio ricevente in generale), oppure l'orecchio dell'ascoltatore, costituisce il ricevitore.

Sorgente

Negli impianti di climatizzazione la maggior causa di rumore è data dai ventilatori installati all'interno delle unità terminali di trattamento aria.

Il rumore viene poi trasmesso agli ambienti serviti lungo le canalizzazioni, tramite il mezzo di propagazione costituito proprio dallo stesso flusso d'aria messo in movimento dal ventilatore/sorgente.

Le unità terminali di trattamento aria (fan-coil, unità canalizzabili, termoventilanti, CTA, ecc.) sono essenzialmente costituite da:

- un ventilatore, che ruotando "muove" l'aria e genera il flusso d'aria, misurabile come "portata aria". Allo stesso tempo, però, il movimento del ventilatore genera anche il rumore.
- ed una o più batterie di scambio termico che, essendo statiche, non generano rumore se non per una minima quota derivante dall'impatto con il flusso d'aria che le attraversa ad una certa velocità. Il flusso d'aria infatti attiva fenomeni di attrito, turbolenze e vortici con tutti gli elementi che trova lungo il suo percorso: tutti fenomeni "dissipativi" che in qualche modo trasformano/dissipano una quota dell'energia cinetica legata al movimento dell'aria in energia termica e rumore.

Il rumore prodotto da un ventilatore è in larga parte causato dal movimento delle pale, essendo in genere trascurabile quello dovuto al movimento dalle parti meccaniche dello stesso.

Il rumore aerodinamico si può dividere in rotazionale e dovuto ai vortici.

La componente rotazionale è causata dagli urti delle pale contro l'aria che viene così sollecitata da una serie di impulsi ripetitivi ad ogni passaggio delle stesse per un dato punto. Esso è dunque formato da una armonica fondamentale la cui frequenza è data dal prodotto del numero di pale per la velocità di rotazione della ventola e dalle sue armoniche superiori.

La componente dovuta ai vortici è associata con le imperfezioni progettuali e costruttive del ventilatore, e di solito è molto bassa.

Anche il motore elettrico, che traina il ventilatore, produce un certo livello di rumorosità, derivante da una componente meccanica (legata agli organi in movimento, albero/bronzine/cuscinetti/ecc.) e da una componente magnetica ("ronzii magnetici" legati principalmente a fenomeni dissipativi dell'energia elettromagnetica fra i lamierini che costituiscono lo statore, sul traferro e sul rotore).

Generalmente il rumore prodotto dal motore elettrico è comunque basso, spesso a livelli trascurabili (ed ininfluenti nella determinazione del livello sonoro complessivo dell'unità) rispetto alla componente sonora prodotta dal ventilatore.

Per i ventilatori normalmente usati negli impianti di climatizzazione è altresì trascurabile anche la parte di energia sonora emessa dalla carcassa del ventilatore (rumore che deriva dall'impatto del flusso d'aria sulla coclea).

In definitiva per le unità terminali di trattamento aria il rumore è essenzialmente di tipo aerodinamico, prodotto dal ventilatore, intrinseco al fatto che per "muovere l'aria" bisogna spingerla con le pale di un ventilatore e gli urti aria/pale generano un rumore.

Pertanto, per una stessa unità, una maggiore portata aria corrisponde ad una maggiore rumorosità (e maggiore numero di giri del ventilatore). Viceversa ad un minore numero di giri del ventilatore corrisponde una minore portata aria ed una minore rumorosità.

Il mezzo e la Propagazione del suono

Affinché il movimento vibratorio possa trasmettersi come suono, è necessaria la presenza, fra la sorgente ed il punto di ascolto, di un corpo elastico atto a trasmettere la perturbazione di pressione.

Nel nostro caso, l'aria costituisce il mezzo di trasmissione.

Il suono non si propaga in regioni di spazio che siano prive di materia.

INTRODUCTION

In the air conditioning systems well-being is not only due to the thermoigrometric condition when the set-point temperature and wished humidity are reached, but it also refers to a global well-being conditions depending by several factors, between them the ventilation, the quality of the air, the noise level and the vibrations.

The vibrations in a body are transmitted as pressure perturbations through elastic structures (solids, liquids or gaseous).

When such perturbations are within a particular interval, they are perceptible by human ear as acoustic sensation: the sound.

The acoustic phenomenon concerns 3 elements: the source, the medium, the receiver.

- The vibrations of the body are the source.
- The air between the source and the receiver (or other solid, liquid, gaseous bodies) is the medium transmitting the sound.
- The phonometer (or in general the receiver instrument), or the ear of the listener, are the receiver.

Source

In the air-conditioning systems, most part of the noise is produced by the fans which are installed inside the air terminal units.

The noise is then transmitted to the nearby rooms through the ducts, and the air flow produced by the fan becomes the propagation medium.

The air terminal units (fan-coils, ductable units, thermo-ventilating units, AHU, etc...) are practically made by:

- a fan, which running "moves" the air and generate a measurable airflow. At the same time, the fan also produce some noise.
- one or more heat exchange coils which do not generate any noise, if not the small part of noise due to the impact of the air flow on the coils. The air flow in fact, generates frictions, turbulences and vortices with all the elements which meats in its path: all "dissipative" phenomena which somehow transform/dissipate a part of the kinetic energy due to the moving air in thermal energy and noise.

Most of the noise produced by a fan is produced by the movements of the blades, as the mechanical noise is usually negligible.

The aerodynamic noise can be split in two components, one due to rotation and the other one due to the vortices.

The rotational component is due to the impact of the blades with the air, which is solicited by a series of repetitive pulses, when the blades are passing at the same point. This is finally composed by a main harmonic which frequency is given by the multiplication of the number of blades by the rotation speed of the fan and by its higher harmonics.

The component due to the vortices is associated to the imperfection of the design of the fan, which is by the way very low.

The electric motor which draw the fan, produces some noise level, deriving from a mechanical component (due to the moving parts, crankshaft/bearings/etc...) and by a magnetic component ("magnetic hum" mainly due to dissipative phenomena of the electromagnetic energy between the laminations of the stator, on the gap and on the rotor).

Generally speaking the noise produced by the electric motor is anyway quite low, and often negligible (basically without any influence to evaluate the total noise level of the unit) in comparison with the sound level produced by the fan.

With fans used in the air-conditioning installations it is also negligible the part of noise produced by the fan cover (noise due to the impact of the air flow on the cochlea).

Finally, for the air treatment units the noise is essentially aerodynamic, produced by the fan, due to the air movement and generated by the impact of the blades of the fan with the air.

Therefore, for the same unit, an increased air flow generates higher noise level (and higher revolution number of the fan).

Vice-versa with a lower revolution number, one will have lower air flow and lower noise level.

The medium of the propagation of the sound

In order to have a vibration transmitted as a sound, it is required the presence between the source and the receiver, of an elastic body able to transmit the pressure perturbation.

In this case, the air is the medium of transmission.

The sound cannot be transmitted in vacuum regions.

Negli impianti di climatizzazione, il suono si propaga tramite variazioni di pressione dell'aria ambiente rispetto alla pressione di quiete. Variazioni di pressione che assumono valori positivi e negativi rappresentabili mediante un fenomeno ondulatorio (onde sinusoidali caratterizzate da frequenza, intensità e lunghezza d'onda).

La perturbazione sonora si propaga nell'aria con forma d'onda inalterata (frequenza e lunghezza d'onda costanti), cambia solo la sua intensità.

Ossia durante la propagazione, man mano che ci si allontana dalla sorgente, diminuisce l'intensità del livello sonoro per attenuazioni riconducibili essenzialmente a fenomeni dissipativi e perdite per attrito fra i vari strati di aria adiacenti che si scambiano il movimento vibratorio, trasmettendo così un rumore di livello via via sempre più basso.

La frequenza, invece, rimane inalterata: pertanto un rumore acuto rimane acuto ed un rumore grave rimane grave, semplicemente di intensità inferiore man mano che il punto di ascolto si allontana dalla sorgente.

In the air-conditioning systems, the sound is propagated through the variation of the air pressure of the environment with respect to the quietness condition pressure. Variations of pressure with positive and negative values represented as a wave phenomenon (sinusoidal waves characterised by frequency, intensity and wave length).

The sound perturbation propagates in the air with unmodified shape of the wave (constant frequency and length) and it only changes its intensity.

During the propagation, as it goes away from the source, reduces the intensity of the sound level for the attenuations basically due to dissipative phenomena and friction losses between different adjacent air layers which exchange the vibration, transmitting in this way a lower and lower noise level.

The frequency is instead unchanged: therefore an acute noise remains an acute noise and a low noise remains a low noise, simply with reduced intensity as getting away from the source.

Il ricevitore, l'orecchio umano, unità di misura

L'orecchio umano è in grado di percepire frequenze variabili da 20 Hz a 20 kHz: all'interno di questo campo siamo in grado di percepire vibrazioni comunque generate che, mettendo in compressione e decompressione gli strati dell'aria adiacenti producono variazioni di pressione percepite dall'orecchio umano e poi trasformate in sensazioni sonore.

L'orecchio umano ha una risposta alle variazioni di pressione di tipo logaritmico (occorrono cioè incrementi notevoli di pressione sonora per produrre variazioni apprezzabili di sensazione uditiva).

Si è reso pertanto necessario ricorrere ad una unità di misura adeguata in grado di relazionare adeguatamente il rapporto tra causa ed effetto, consentendo così di riportare l'ampia gamma di pressioni sonore percepibili dall'orecchio umano su una scala contenuta avente come limite inferiore lo 0 (soglia di minimo) e limite superiore 120 (soglia del dolore).

L'unità di misura è il "decibel", ossia 10 volte il logaritmo (in base 10) del rapporto fra 2 grandezze omogenee: quella in esame e quella di riferimento.

La scala logaritmica, con unità di misura il decibel [dB], consente di quantificare i livelli di pressione sonora in un campo 0-120 [dB] contro un equivalente campo 2×10^{-5} e 2×10^1 [Pa].

In questo modo (utilizzando la scala logaritmica) è possibile trattare più agevolmente un intervallo così grande di valori, altrimenti difficilmente diagrammabile.

The receiver, the human ear, the unit of measurement

The human ear, is able to catch frequencies between 20 Hz up to 20 kHz: within this field we are able to feel vibrations which, compressing and decompressing the adjacent layers of the air produce variation of pressure perceived by the human ear and then transformed into sound perceptions.

The human ear has a logarithmic response to the variations of pressure (important increase of sound pressure are required to produce appreciable variation in the noise perception).

It was then required a unit of measurement able to relate cause and effect, in this way the wide range of sound pressures perceptible by human ear can be content in the same scale with lower limit 0 (minimum threshold) and upper limit 120 (pain threshold).

The unit is the "decibel", i.e. 10 times the logarithm (with base 10) of the relation between 2 homogeneous magnitudes: the one taken into account and the reference one.

The logarithmic scale, with unit the "decibel" [dB], enable to measure the sound pressure levels in a field 0-120 [dB] against an equivalent field 2×10^{-5} e 2×10^1 [Pa].

In this way (with the logarithmic scale) it is possible to treat more easily such large interval, otherwise quite difficult to show on diagram.

Pressione sonora

La pressione sonora è la variazione di pressione prodotta dal fenomeno sonoro rispetto alla pressione di quiete.

Per il livello di pressione sonora in decibel vale la relazione:

$$L_p = 10 \log (P/P_0)^2 = 20 \log (P/P_0)$$

Dove:

L_p = Livello di pressione sonora [dB]

P = Pressione sonora [Pa] = pressione efficace del suono in esame

P_0 = Pressione sonora efficace di riferimento = 2×10^{-5} [Pa]

Approssimativamente " P_0 " (2×10^{-5} Pa) è la pressione più bassa percepibile dall'orecchio umano alla soglia uditiva di frequenza 1000 Hz. (Dove 1000 Hz = frequenza di riferimento).

Sound pressure

The sound pressure is the variation of the pressure produced by the sound phenomenon in comparison with the pressure in quite conditions.

For the sound pressure level, in decibel, it is valid the following relation:

$$L_p = 10 \log (P/P_0)^2 = 20 \log (P/P_0)$$

Whereas:

L_p = Sound pressure level [dB]

P = Sound pressure [Pa] = actual pressure of the examined sound

P_0 = Actual reference sound pressure = 2×10^{-5} [Pa]

" P_0 " (2×10^{-5} Pa) is approximately the lower perceptible sound by the human ear at the threshold frequency of 1000 Hz. (Where 1000 Hz = reference frequency).

Potenza sonora

La potenza sonora è la totale energia sonora emessa dalla sorgente nell'unità di tempo.

Anche la potenza sonora può assumere un'ampia gamma di valori, pertanto anche per essa si usa il decibel come unità di misura.

Per il livello di potenza sonora in decibel vale la relazione:

$$L_w = 10 \log (W/W_0)$$

Dove:

L_w = Livello di potenza sonora [dB]

W = Potenza sonora in esame [W]

W_0 = Potenza sonora di riferimento = 10^{-12} [W]

Sound power

The sound power is the total sound energy emitted by the source in the time unit.

The sound power also can have a wide range of values, therefore the decibel scale is also used.

For the sound power level, in decibel, it is valid the following relation:

$$L_w = 10 \log (W/W_0)$$

Whereas:

L_w = Sound power level [dB]

W = Examined sound power [W]

W_0 = Reference sound power = 10^{-12} [W]

Intensità sonora

Analogamente viene definita l'intensità sonora, come quantità di energia che si propaga attraverso l'unità di area di una superficie in un certo punto di rilevazione.

Per il livello di intensità sonora in decibel vale la relazione:

$$Li = 10 \log (I/I_0)$$

Dove:

Li = Livello di intensità sonora [dB]

I = Intensità sonora del suono in esame [W/m²]

I₀ = Intensità sonora di riferimento = 10⁻¹² [W/m²]

I 2 livelli di pressione "Lp" e di Intensità "Li" assumono valori molto vicini (per necessità di sintesi si tralascia la dimostrazione)

$$Lp = Li = 10 \log (I/I_0)$$

Livello sonoro risultante dalla somma di 2 suoni con la stessa frequenza

In ogni punto dello spazio la pressione acustica totale prodotta da 2 sorgenti è la somma algebrica delle pressioni (in [Pa]) prodotte da ogni singola sorgente.

NOTA: è sbagliato sommare tra di loro i vari livelli di pressione sonora espressi in [dB]!! Si ricordi, infatti, che il logaritmo di una somma non è uguale alla somma dei logaritmi (quest'ultima sarebbe uguale al logaritmo del prodotto!).

Per calcolare il livello sonoro risultante bisogna pertanto sommare i 2 valori effettivi/efficaci della grandezza (cioè bisogna sommare gli argomenti dei logaritmi di partenza), e poi eventualmente trasformare il risultato finale in valore logaritmico qualora si desideri esprimerlo in [dB].

Nel caso della pressione sonora, bisognerà pertanto sommare le 2 pressioni sonore di partenza (valori efficaci, in [Pa]) e poi trasformare il risultato ottenuto in valore logaritmico per poterlo così esprimere nell'unità di misura convenzionale [dB].

La metodologia di calcolo del livello sonoro risultante dalla composizione di 2 livelli sonori di partenza sarà perfettamente analogo per la potenza, per la pressione, per l'intensità sonora.

Infatti per tutte e 3 le grandezze sono stati definiti i livelli sonori in [dB] in modo del tutto corrispondente.

Per tutti e 3 i casi, pertanto, il livello complessivo risulterà dal logaritmo della somma dei 2 argomenti (o valori efficaci) di partenza.

Uno per tutti, a titolo di esempio, calcoliamo il livello di potenza sonora complessivo risultante dalla combinazione di 2 livelli di potenza sonora.

Si consideri 2 sorgenti con:
Lw1=75 [dB] ; Lw2=70 [dB]

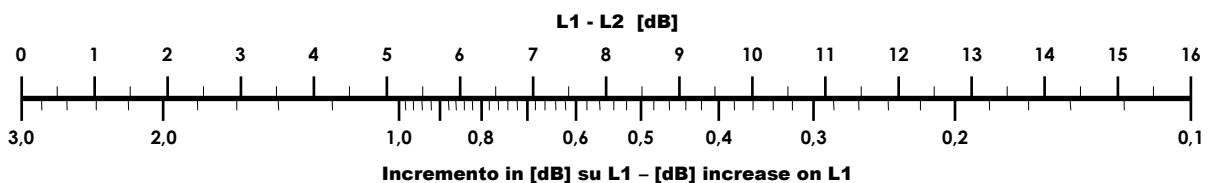
Si ricordi che:

$$Lw = 10 \log (W/W_0) = \log (W/W_0)^{10} \rightarrow 10^{Lw/10} = (W/W_0)^{10} \rightarrow W = (10^{Lw/10}) W_0$$

Lwc = Potenza sonora complessiva =

$$\begin{aligned} &= \text{Logaritmo della somma degli argomenti (valori efficaci) di Lw1 e Lw2} = \\ &= 10 \log (W1/W_0 + W2/W_0) = 10 \log [(W1+W2)/W_0] = \\ &= 10 \log [(10^{Lw1/10} + 10^{Lw2/10}) (W_0/W_0)] = 10 \log (10^{Lw1/10} + 10^{Lw2/10}) = \\ &= 10 \log (10^{75/10} + 10^{70/10}) = 76,2 \text{ [dB]} \end{aligned}$$

Si riconosce facilmente che al crescere della differenza fra i 2 livelli sonori, il livello sonoro complessivo è sempre più vicino al livello del suono più forte. I calcoli possono essere agevolati con l'utilizzo del seguente monogramma (dove L1 ed L2 sono i 2 livelli sonori da comporre).



Per ottenere il livello sonoro complessivo risultante dalla composizione di 2 suoni, è sufficiente aggiungere al livello sonoro maggiore il numero di [dB] ottenuti dal monogramma in base alla differenza fra i 2 livelli sonori di partenza. Esempi:

- Per 2 suoni uguali, la differenza è 0 [dB], pertanto i [dB] da aggiungere sono 3.
- Per un suono di 70 [dB] e l'altro di 75 [dB] la differenza è 5 [dB], pertanto i [dB] da aggiungere al livello sonoro più alto sono 1,2.

Sound intensity

The sound intensity is similarly defined, as the quantity of energy which is propagated through the unit surface in a given point of measurement.

For the sound intensity level, in decibel, it is valid the following relation:

$$Li = 10 \log (I/I_0)$$

Whereas:

Li = Sound intensity level [dB]

I = Examined sound intensity [W/m²]

I₀ = Reference sound intensity = 10⁻¹² [W/m²]

The 2 levels of pressure "Lp" and Intensity "Li" have very near values (demonstration is omitted)

$$Lp = Li = 10 \log (I/I_0)$$

Total sound level resultant by the sum of 2 sounds at the same frequency

In each point of the space, the total sound pressure produced by 2 sources is the algebraic sum of the pressures (in [Pa]) produced by each source.

NOTE: it is wrong to sum the different sound pressure levels expressed in [dB]!! It has to be considered in fact, that the logarithm of a sum is not equal to the sum of the logarithms (this one is the logarithm of the product!).

In order to evaluate the resulting sound level it is necessary to sum the 2 actual values (i.e. the sum of the logarithms arguments must be calculated), and then transform the final result in logarithmic value in case it is needed to express it in [dB].

In the case of the sound pressure, the 2 starting sound pressure values must be summarised (the actual values, expressed in [Pa]) and after to transform the result in logarithmic value to express it in the conventional unit of measurement [dB].

The method to calculate the resulting sound level by the composition of 2 starting sound levels is similar for sound power, sound pressure and for sound intensity.

In fact for these 3 magnitudes the sound levels have been defined in [dB] in very similar way.

Therefore for all of them, the total level will be the result by the logarithm of the sum of the 2 starting arguments (or actual values).

Just one example. Let's calculate the total sound power level by the combination of 2 sound power levels.

Considering 2 sources with:
Lw1=75 [dB] ; Lw2=70 [dB]

Reminding that:

$$Lw = 10 \log (W/W_0) = \log (W/W_0)^{10} \rightarrow 10^{Lw/10} = (W/W_0)^{10} \rightarrow W = (10^{Lw/10}) W_0$$

Lwc = Total sound power =

$$\begin{aligned} &= \text{Logarithm of the sum of the arguments (actual values) of Lw1 and Lw2} = \\ &= 10 \log (W1/W_0 + W2/W_0) = 10 \log [(W1+W2)/W_0] = \\ &= 10 \log [(10^{Lw1/10} + 10^{Lw2/10}) (W_0/W_0)] = 10 \log (10^{Lw1/10} + 10^{Lw2/10}) = \\ &= 10 \log (10^{75/10} + 10^{70/10}) = 76,2 \text{ [dB]} \end{aligned}$$

It is quite clear that as more the difference between the 2 sound levels is growing as closer the total sound level will be to the higher sound level. Calculation can be simplified with the use of the hereby monogram (where L1 and L2 are the 2 sound level to be summarised).

In order to obtain the total sound level by the composition of 2 sounds, simply sum to the higher sound level the number of [dB] obtained by the monogram based on the difference between the 2 starting sound levels. Examples:

- For 2 equal sounds, the difference is 0 [dB], therefore the [dB] to be added are 3.
- For a sound of 70 [dB] and another of 75 [dB] the difference is 5 [dB], therefore the [dB] to be added to the higher sound level are 1,2.

La somma di 2 suoni uguali, è pari al livello di un suono + 3 [dB]

Si consideri 2 sorgenti con uguali livelli di potenza sonora:
 $L_{w1}=90$ [dB] ; $L_{w2}=90$ [dB] = L_w

Risulta:
 L_{wc} = Potenza sonora complessiva =
 = Logaritmo della somma degli argomenti (valori efficaci) di L_{w1} e L_{w2} =
 = $10 \log [(W_1+W_2)/W_0] = 10 \log [(2 W_1)/W_0] =$
 = $10 \log 2 + 10 \log (W_1/W_0) = 3 + L_{w1} = 3 + 90 = 93$ dB(A)

Riepilogando in termini di pressione sonora, possiamo dire che la pressione acustica totale prodotta da 2 sorgenti uguali è la somma algebrica delle pressioni (in [Pa]) prodotte da ogni singola sorgente, quindi un valore di pressione in [Pa] doppio rispetto a quello generato da una singola sorgente, ma questo risultato trasformato in scala logaritmica porta ad un incremento di soli 3 [dB] rispetto al livello di pressione sonora (in [dB]) di una singola sorgente.

Per questo motivo viene comunemente affermato che "un raddoppio del livello sonoro corrisponde ad un incremento di 3 [dB]". Ricordiamo però che l'orecchio umano ha una risposta alle variazioni di pressione di tipo logaritmico; pertanto, a livello di sensazione uditiva, l'orecchio umano non interpreta l'incremento di 3 [dB] come un raddoppio del livello sonoro, ma lo interpreta come un piccolo/semplice aumento di soli 3 [dB] su una scala 0-120 [dB].

Considerazioni:

- 2 livelli sonori che considerati singolarmente sono di uguale valore, danno luogo ad un livello composto di 3 [dB] superiore al livello comune.
- 2 livelli sonori che considerati singolarmente differiscono per più di 10 [dB], danno luogo ad un livello composto che differisce dal più elevato dei 2 livelli singoli meno di 0,5 [dB].

livello sonoro risultante da più di 2 suoni

In ogni punto dello spazio la pressione acustica totale prodotta da più sorgenti è la somma algebrica delle pressioni (in [Pa]) prodotte da ogni singola sorgente.

Pertanto per calcolare il livello sonoro risultante da più di 2 suoni, si può procedere a gradini (effettuando prima la composizione di 2 suoni, quindi di quella del suono composto con uno dei rimanenti e così via), oppure si può procedere direttamente con il calcolo del logaritmo della somma algebrica di tutti i diversi valori efficaci (argumenti) di partenza.

Ad es., si voglia calcolare la potenza sonora complessiva risultante dalla composizione delle potenze sonore $L_{w1} - L_{w2} - L_{w3} - \dots - L_{wn}$

Utilizzando la stessa relazione vista per il calcolo del livello complessivo risultante dalla somma di 2 suoni, risulta:

L_{wc} = Potenza sonora complessiva =
 = Logaritmo della somma degli argomenti di $L_{w1} + L_{w2} + L_{w3} + \dots + L_{wn} =$
 = $10 \log (10^{L_{w1}/10} + 10^{L_{w2}/10} + 10^{L_{w3}/10} + \dots + 10^{L_{wn}/10})$

La composizione secondo quanto esposto si applica sia per le potenze sonore, sia per le pressioni sonore, sia per le intensità sonore, e si applica sia ai livelli globali, sia ai livelli per bande, sia ai livelli ponderati "A".

Frequenze e bande d'ottava

Nella realtà si è quasi sempre di fronte a suoni complessi: il rumore. Il rumore che percepiamo non è un tono puro (suono caratterizzato da una unica frequenza), bensì è costituito da onde sonore di diverse frequenze ed intensità.

Si è soliti esprimere in ottave l'intervallo di frequenza fra 2 suoni. L'ottava è l'intervallo di frequenza fra 2 suoni, il secondo dei quali abbia una frequenza doppia del primo.

Nel campo delle frequenze disponibili ci si riferisce a quelle a cui l'orecchio umano è più sensibile, le bande d'ottava normalizzate:
 63 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000 Hz

Si ricorda che l'orecchio umano è in grado di percepire frequenze variabili da 20Hz a 20kHz, ma nel campo degli impianti di climatizzazione, frequenze esterne alle bande 63Hz e 8000Hz non vengono considerate, poiché i valori di intensità sonora esterni a tale range diventano ininfluenti (ed il loro contributo trascurabile) sia per la determinazione del livello sonoro complessivo, sia per la valutazione di un qualsiasi indice di rumore.

Per lo stesso motivo, normalmente si analizzano gli spettri sonori a partire dalla banda d'ottava 125Hz, tralasciando anche i valori, praticamente irrilevanti, relativi alla banda 63Hz.

The sum of 2 equal sounds, is equivalent to one of these sound + 3 [dB]

Considering 2 sources with equal sound power:
 $L_{w1}=90$ [dB] ; $L_{w2}=90$ [dB] = L_w

It is:
 L_{wc} = Total sound power =
 = Logarithm of the sum of the arguments (actual values) of L_{w1} and L_{w2} =
 = $10 \log [(W_1+W_2)/W_0] = 10 \log [(2 W_1)/W_0] =$
 = $10 \log 2 + 10 \log (W_1/W_0) = 3 + L_{w1} = 3 + 90 = 93$ dB(A)

Summarizing, in terms of sound pressure, we can say that the total acoustic pressure produced by 2 equal sources is the algebraic sum of the pressure (in [Pa]) produced by each single source, then a value of pressure double in comparison with the one generated by a single source, but this result transformed in a logarithmic scale produces an increase of just 3 [dB] in comparison with the sound pressure level (in [dB]) of a single source.

For this reason it is common to say that "doubling the sound level we assist to an increase of just 3 [dB]".

Reminding that the human ear has a logarithmic response to the variations of pressure; therefore, at level of auditory sensation, the human ear does not feel the increase of 3 [dB] as a doubling of the sound level, but it rather feel it like a small/simple increase of 3 [dB] on a scale 0-120 [dB].

Remarks:

- 2 sound levels having the same value, produce a total increase of 3 [dB].
- 2 sound levels differing with more than 10 [dB], produce a total level which differs from the higher level for less than 0,5 [dB].

Total sound level coming from more than 2 sounds

In each point of the space the total acoustic pressure produced by several sources is the algebraic sum of the pressures (in [Pa]) produced by each single source.

Therefore in order to calculate the total sound level from more than 2 sounds, it is possible to proceed by steps (making first the composition of 2 sounds, then the composition of the composed sound with the remaining ones and so on), or it is possible to proceed directly with the logarithmic calculation of the algebraic sum of all the starting actual values (arguments).

For ex., may you need to calculate the total sound power of the following $L_{w1} - L_{w2} - L_{w3} - \dots - L_{wn}$ sound powers

Using the same relation seen for the calculation of 2 sounds, we have:

L_{wc} = Total sound power =
 = Logarithm of the sum of the arguments of $L_{w1} + L_{w2} + L_{w3} + \dots + L_{wn} =$
 = $10 \log (10^{L_{w1}/10} + 10^{L_{w2}/10} + 10^{L_{w3}/10} + \dots + 10^{L_{wn}/10})$

The composition can be applied to the sound powers, to the sound pressures, to the sound intensities, and is applicable to the global levels also, to the levels by bands, to the weighted "A" scale.

Frequency and octave band

In nature there are almost always complex sounds: the noise. The noise that we hear is not a pure tone (sound characterised by a unique frequency), but it is rather composed by sound waves with different frequencies and intensities.

We are used to express in octaves the frequency interval between 2 sounds. The octave is the interval of frequency between 2 sounds, which second one has a double frequency than the first one.

In the field of the available frequencies is usual to refer to the ones to which the human ear is more sensible to, the normalised octave bands:
 63 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000 Hz

We like to remind that the human ear is able to perceive frequencies between 20Hz up to 20kHz, but in the air-conditioning installations, frequencies external to the interval 63Hz and 8000Hz are not taken into account, because the values of sound intensity outside the hereby interval do not have any influence (and have negligible contribution) for the total sound computation and for the estimation of any other noise index.

For the same reason, usually the sound spectrums are analysed from the octave band 125Hz, omitting also the values related to the 63Hz octave band.

CRITERI DI VALUTAZIONE DEL RUMORE

Il rumore è un suono complesso, costituito da un insieme di onde sonore di diversa frequenza ed intensità.

Convenzionalmente il rumore viene esposto su uno spettro a banda d'ottava, ossia viene riportato per ogni singola frequenza centrale della banda d'ottava il relativo valore di intensità in [dB]. Si avrà:

- Spettro di potenze sonore se vengono esposti i valori di potenza sonora in [dB] per ogni banda d'ottava.
- Spettro di pressioni sonore se vengono esposti i valori di pressione sonora in [dB] per ogni banda d'ottava.

L'orecchio umano è particolarmente sensibile ai suoni compresi fra 1000Hz e 4000Hz e, a parità di pressione sonora, reputa di livello inferiore i suoni che non sono compresi in questo intervallo di frequenze.

A basse frequenze occorrono pressioni sonore rilevanti per produrre la stessa sensazione uditiva che si ha alle alte frequenze con livelli di pressione più bassi.

Quindi, per un rumore distribuito su uno spettro, per ottenere un effettivo indice della sensazione uditiva corrispondente non è più sufficiente calcolare il livello sonoro complessivo risultante dalla somma dei singoli valori di ogni frequenza.

Al fine di valutare la sensazione uditiva derivante da un suono complesso (rumore) si cerca di ricostruire in qualche modo la risposta dell'orecchio umano. In accordo a questo principio, sono stati elaborati diversi criteri di valutazione.

I principali criteri utilizzati per esprimere il rumore ambientale in maniera sintetizzata con un solo parametro (con un unico valore numerico) sono:

- Livello sonoro complessivo ponderato in scala A (potenza e pressione)
- Indice NR (Noise Rating)
- Indice NC (Noise Criterion)
- Indice RC (Room Criterion)

CRITERI DI VALUTAZIONE DEL RUMORE

Livello sonoro complessivo ponderato in scala A, espresso in dB(A)

Il criterio più utilizzato è quello di correggere i singoli valori di intensità per le diverse bande d'ottava (pesatura in scala A) e poi determinare il livello sonoro complessivo tramite la composizione dei singoli valori così corretti.

Di seguito si riportano le correzioni da apportare ai valori di intensità dello spettro di frequenze al fine di ottenere un numero indicativo della percezione in scala ponderata (A), più in accordo alle sensazioni uditive dell'orecchio umano.

Frequenza (centro banda d'ottava) – Frequency (octave band centre)	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Correzione in scala "A" – Correction in weighted "A" scale	dB	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	+1,2	+1,0	-1,1

Per frequenze di maggiore sensibilità dell'orecchio la pesatura è positiva (e l'importanza dei suoni in quell'intervallo viene rafforzata), viceversa per frequenze di minore sensibilità dell'orecchio la pesatura è negativa (e l'importanza dei suoni in quell'intervallo viene diminuita).

Nessuna correzione del livello con frequenza 1000 Hz, che viene considerata soglia uditiva di riferimento.

Il risultato delle correzioni apportate è il livello sonoro pesato "A", che si esprime in [dB(A)].

Una volta corretto i valori nello spettro di frequenze (pesatura in scala "A") si calcola il livello sonoro complessivo:

- Se si considera uno spettro di potenze sonore, si troverà il livello di potenza sonora complessivo ponderato in scala "A", e si esprimerà in [dB(A)].
- Se si considera uno spettro di pressioni sonore, si troverà il livello di pressione sonora complessivo ponderato in scala "A", e si esprimerà in [dB(A)].

Nota: Inizialmente si erano proposte 3 modalità di pesatura (A, B, C), ragioni di semplicità hanno successivamente portato a consigliare l'impiego della scala "A" in ogni circostanza.

Esempio (rif. spettro di potenze sonore):

Frequenza (centro banda d'ottava) – Frequency (octave band centre)	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Spettro livelli di potenza sonora – Sound power levels spectrum	dB	71,2	74,8	70,4	68,0	68,8	67,9	65,7	60,3
Correzione in scala "A" – Correction in weighted "A" scale	dB	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	+1,2	+1,0	-1,1
Spettro livelli di potenza sonora pesati "A" – Sound power levels spectrum "A" weighted	dB(A)	45,0	58,7	61,8	64,8	68,8	69,1	66,7	59,2

$$L_{wc} = 10 \log (10^{45,0/10} + 10^{58,7/10} + 10^{61,8/10} + 10^{64,8/10} + 10^{68,8/10} + 10^{69,1/10} + 10^{66,7/10} + 10^{59,2/10}) = 74,2 \text{ [dB(A)]}$$

Dove:

L_{wc} = Livello potenza sonora complessiva pesato in scala "A" [dB(A)]

CRITERIA FOR THE NOISE ESTIMATION

The noise is the resultant of different sounds, made by sound waves with different frequency and intensity.

Usually the noise is shown in octave band spectre, or rather per each single central frequency is shown the related intensity value in [dB]. We will have:

- The sound powers spectrum if the sound powers in [dB] per each octave band are shown.
- The sound pressure spectrum if the sound pressures in [dB] per each octave band are shown.

The human ear is very sensitive to the sounds between 1000Hz and 4000Hz and, at the same sound pressure level, "considers" at lower level the sounds outside this frequency interval.

At low frequency values are required high sound pressures to produce the same hearing sensation you may have at the high frequencies at lower pressure levels.

Then, for a noise distributed on a spectrum, in order to have an effective index of the corresponding hearing sensation it is not sufficient to calculate the resulting sound level from the sum of the single values of each frequency.

In order to evaluate the hearing sensation, resulting from a composed sound (noise) it is necessary somehow to piece together the response of the human ear. According with this principle different evaluation criteria, have been elaborated.

Main criteria used to express the noise in the environment in a synthetic way with a single parameter (with a single numerical value) are:

- Total sound using A-weighted scale (power and pressure)
- NR Index (Noise Rating)
- NC Index (Noise Criterion)
- RC Index (Room Criterion)

CRITERIA FOR THE NOISE ESTIMATION

Total sound level in A-weighted scale, expressed in dB(A)

The most popular criteria is to correct the single intensity values for the different octave bands (weighted levels A) and later calculate the total sound level by the composition of the single corrected values.

Hereby are shown the corrections to be carried out to the values of the intensity of the frequencies spectrum, in order to obtain an indicative number of the perception in weighted (A) scale, more in accordance with the human hearing sensation.

Frequenza (centro banda d'ottava) – Frequency (octave band centre)	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Correzione in scala "A" – Correction in weighted "A" scale	dB	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	+1,2	+1,0	-1,1

For the frequencies where the human ear is more sensitive, the weight is positive (and the importance of the sounds in that interval is reinforced), vice versa for the frequencies where the human ear is less sensitive the weight is negative (and the importance of the sound in that interval is decreased).

For 1000 Hz frequency, there is no correction, as it is considered the reference hearing threshold.

The result of the corrections is the "A" weighted scale sound, which is expressed in [dB(A)].

After corrected the values in the frequency spectrum (weighted in "A" scale) the total sound level can be calculated:

- In case of calculation of the sound power spectrum, the sound power level in "A" weighted scale will be calculated and it will be expressed in [dB(A)].
- In case of calculation of the sound pressure spectrum, the sound pressure level in "A" weighted scale will be calculated and it will be expressed in [dB(A)].

Note: in the past 3 different weighted scales have been proposed (A, B, C), some simplification reasons have brought to consider the "A" scale only.

Example (referring to sound power spectrum):

Frequenza (centro banda d'ottava) – Frequency (octave band centre)	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Spettro livelli di potenza sonora – Sound power levels spectrum	dB	71,2	74,8	70,4	68,0	68,8	67,9	65,7	60,3
Correzione in scala "A" – Correction in weighted "A" scale	dB	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	+1,2	+1,0	-1,1
Spettro livelli di potenza sonora pesati "A" – Sound power levels spectrum "A" weighted	dB(A)	45,0	58,7	61,8	64,8	68,8	69,1	66,7	59,2

Whereas:

L_{wc} = Total sound power level in "A" weighted scale [dB(A)]

CRITERI DI VALUTAZIONE DEL RUMORE
Indici di rumore NR – NC

La valutazione di "intensità oggettiva" affidata alla pesatura dello spettro tramite scala fonometrica "A" ha dei grandissimi limiti: infatti uno stesso valore finale può essere dovuto a 2 rumori con diversa distribuzione dello spettro sonoro e quindi diversamente disturbanti. Un rumore è più o meno tollerabile non solo in funzione del suo livello di pressione sonora complessiva ponderata in scala "A", ma anche in funzione della forma del suo spettro, cioè a seconda di come si distribuiscono i diversi valori della pressione sonora alle varie frequenze.

Si è pertanto reso necessario stabilire dei criteri di tollerabilità di un rumore riferiti a valutazioni di "intensità soggettiva". Nemmeno questo è tuttavia sufficiente, poiché un rumore disturba in misura maggiore o minore a seconda della durata, dell'andamento temporale (rumore intermittente, continuo, impulsivo), del rumore di fondo già presente, ecc.. Tutti i criteri di valutazione, per riuscire a rappresentare la sensazione di disturbo con un unico valore numerico, hanno quindi dei grossi limiti.

Una metodologia per la valutazione dei suoni complessi, o rumori, molto utilizzata è l'analisi dello spettro delle pressioni sonore in banda d'ottava e la determinazione di "indici di rumore" per confronto con criteri di tollerabilità prestabiliti.

- I criteri più utilizzati per esprimere in maniera sintetizzata da un solo parametro il rumore ambientale sono:
- Indice NR (Noise Rating)
 - Indice NC (Noise Criterion)

In pratica questo procedimento si basa sul confronto dello spettro delle pressioni sonore con una serie di curve di riferimento. Ogni curva di riferimento può essere considerata una "curva equidisturbo", e gli è assegnato un indice di valutazione. Il valore numerico dell'indice corrisponde al livello di pressione sonora in [dB] alla frequenza di 1000 Hz (cioè ad es. la curva "equidisturbo 35" passa per il punto del grafico "pressione sonora 35dB - frequenza 1000Hz"). Questo significa che la frequenza 1000 Hz viene considerata soglia uditiva di riferimento (questo avviene per tutti i criteri di valutazione). Sul grafico "Hz-dB" sono riportate parametricamente le diverse "curve equidisturbo". Sullo stesso grafico viene proiettato lo spettro delle pressioni sonore (NON pesate in scala "A"). Il confronto viene fatto con le pressioni sonore, poiché l'orecchio umano percepisce solo la pressione sonora (unico parametro rilevabile). Si conviene attribuire al rumore in questione l'indice relativo alla curva di riferimento più bassa, al di sotto della quale resti l'intero spettro sonoro del rumore. Normalmente si utilizzano:

- le curve di riferimento NR (Noise Rating, suggerite dalla ISO, International Standard Organization) – (Fig.1).
- le Curve di riferimento NC (Noise Criterion, particolarmente diffuse negli USA, leggermente diverse dalle NR) – (Fig.2).

CRITERIA FOR THE NOISE ESTIMATION
Noise index NR – NC

The evaluation of the "objective intensity" through the weighted phonometric "A" scale has very large limitations: in fact the same final result can be produced by 2 different noises with different distribution of the sound spectrum and with different impacts. A noise can be more or less tolerable not only depending on its total "A" weighted scale sound pressure, but even depending on the shape of the spectrum, i.e. it depends on the distribution of the different values of the sound pressure to the different frequencies.

It was then required to establish noise tolerability criteria referring to "subjective intensity" evaluation. This is neither sufficient, as the noise disturbs also depending on the duration, on the trend in the time (intermitting noise, continuous, pulsing), on the background noise, etc... All the estimation criteria, enabling to represent the sensation of trouble with a unique value, finally have very large limitations.

A very popular estimation method of the total sounds, or noises, is the analysis of the spectrum of the sound pressures in octave band and the determination of the "noise indexes" as comparison with pre-established tolerability criteria.

- Most used criteria to express in a quite synthesized way with a single parameter the environmental noise are:
- Index NR (Noise Rating)
 - Index NC (Noise Criterion)

This procedure is practically based on the comparison with the spectrum of the sound pressures with a reference series of curves. Each reference curve can be considered as an "equal-noise curve", and to the same is assigned an estimation index. The numerical value of the index correspond to the sound level in [dB] at 1000 Hz frequency (for ex. the "equal-noise 35" passes through the following point on the graph "sound pressure 35 dB – frequency 1000 Hz"). This means that 1000 Hz is considered as a reference hearing threshold (this happens for all the estimation criteria). On the diagram "Hz-dB" are shown parametrically the different "equal-noise curves". On the same diagram is shown the spectrum of the sound pressures (NOT in "A" weighted scale). The comparison is done on the sound pressures, as the human ear feel the sound pressure only (only measurable parameter). The convention is to give to the noise the index related to the lower reference curve, below which remains the whole sound spectrum of the noise. Usually are used:

- The reference NR curves (Noise Rating, recommended by the ISO, International Standard Organization) – (Fig.1).
- The reference NC curves (Noise Criterion, very popular in the USA, slightly different from the NR) – (Fig.2).

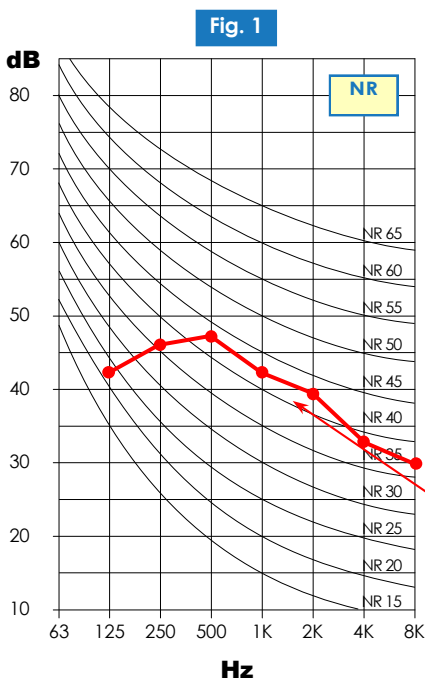


Fig. 1

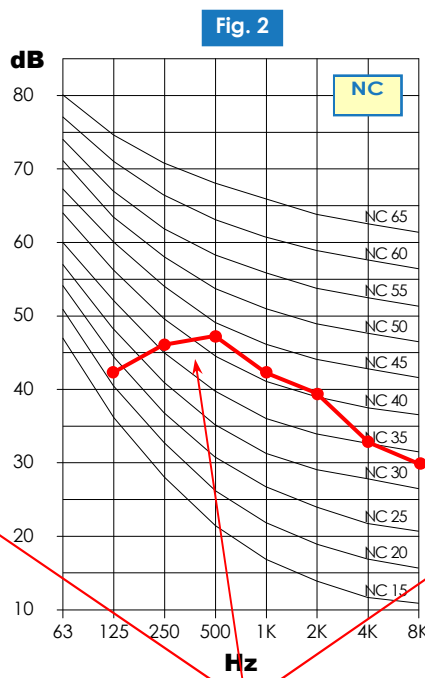


Fig. 2

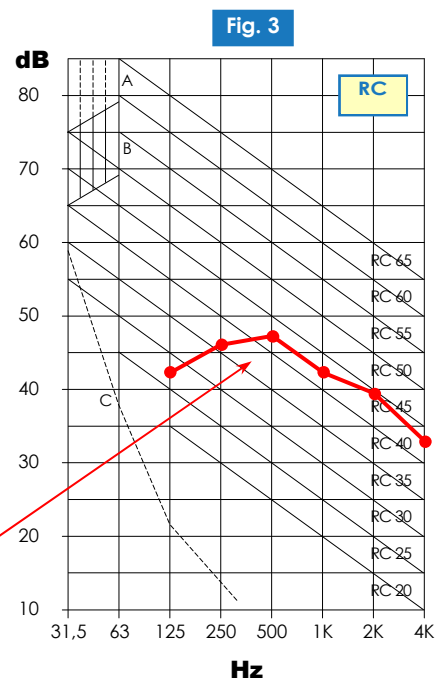


Fig. 3

Esempio di Proiezione spettro pressioni sonore (NON pesate "A") – Example of projection sound pressure spectrum (NO "A" weighted)

Frequenza - Frequency	Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pressione sonora – Sound pressure level	dB	42,4	46,0	47,3	42,3	39,8	32,9	30,0

CRITERI DI VALUTAZIONE DEL RUMORE

Indice di rumore RC

Il valore numerico dell'indice RC (Room Criterion) è calcolato come media aritmetica dei 3 livelli di pressione sonora (NON pesati in scala "A") nelle bande d'ottava di frequenza nominali 500Hz – 1000Hz – 2000Hz, arrotondato al valore intero più prossimo.

Le bande considerate sono quelle dove maggiormente si manifesta l'interferenza con l'intelligibilità del parlato, cioè quelle che maggiormente disturbano ed interferiscono la comunicazione orale umana.

L'andamento delle curve di riferimento RC sono segmenti di retta di pendenza -5 dB/ottava (andamento che approssima quello dei rumori a banda larga dalle caratteristiche spettrali ben bilanciate, gradevoli all'udito).

Si individua così la relativa curva di RC di riferimento sul grafico "Hz-dB".

Analogamente agli indici NR ed NC, sullo stesso grafico viene proiettato lo spettro delle pressioni sonore (NON pesate in scala "A") – (Fig.3).

Per confronto fra il valore di RC calcolato (o meglio della curva RC individuata dal valore RC calcolato) e lo spettro della pressione sonora, il rumore verrà classificato:

- "Rombante" (cioè con eccesso di energia alle basse frequenze) se in qualunque banda di frequenza d'ottava al di sotto di 500Hz il livello di pressione sonora eccede per più di 5 dB il riferimento/curva RC
- "Sibilante" (cioè con eccesso di energia alle alte frequenze) se in qualunque banda di frequenza d'ottava al di sopra di 500Hz il livello di pressione sonora eccede per più di 3 dB il riferimento/curva RC
- "Neutro" quando non è né sibilante né rombante.

Si usa far seguire la valutazione numerica RC la lettera N per rumore neutro (ad es.: RC 35N), la lettera R ("Rumble") per rumore rombante, la lettera H ("Hiss") per rumore sibilante.

PROPAGAZIONE DEL RUMORE NEGLI AMBIENTI

Una sorgente di rumore genera una sensazione più o meno fastidiosa secondo il livello di pressione sonora percepita nel punto di ascolto.

L'orecchio umano, infatti, non percepisce il livello di potenza sonora, bensì coglie e misura solo una pressione: la pressione sonora.

Si ricorda che la pressione sonora è l'unico parametro percepibile, misurabile e rilevabile nella pratica.

Per questi motivi, quando viene scelta una unità, si tende a prestare molta attenzione al livello sonoro inteso come livello di pressione sonora complessiva ponderata in scala "A" [dB(A)].

Per descrivere in modo univoco la rumorosità di una sorgente è però necessario riferirsi alla potenza sonora emessa, dato che ciò che si percepisce (pressione) è strettamente e fortemente influenzato da molteplici fattori esterni.

Il livello di pressione sonora infatti dipende, oltre che dal livello di potenza sonora dalla sorgente, anche dalla distanza dalla sorgente stessa, dal fattore di direzionalità (Q), dal livello del rumore di fondo e dalle condizioni ambientali in cui il rumore si propaga (campo libero, ambiente più o meno riverberante, ambiente più o meno assorbente, ostacoli che il rumore trova durante il suo percorso di propagazione per raggiungere il punto di ascolto, pressione, temperatura ed umidità dell'aria, ecc.).

La potenza sonora, invece può essere considerato l'unico "parametro assoluto", indipendente cioè da qualsiasi fattore esterno alla sorgente.

In ogni caso, è possibile calcolare il livello di pressione sonora (quella percepita dall'orecchio umano) a partire dai livelli di potenza sonora.

Esistono differenti relazioni per determinare il livello di pressione sonora, a seconda delle differenti condizioni e tipi di ambiente a cui si riferisce.

Il modello più utilizzato per la determinazione del livello di pressione sonora a partire dalla potenza sonora è quello della propagazione del rumore in campo libero.

In un locale chiuso reale, però, la propagazione del rumore non avviene con le regole del campo libero ed il livello di pressione sonora dipende, oltre che dal livello di potenza sonora della sorgente, dalla sovrapposizione di un duplice effetto:

Effetto Diretto, proveniente direttamente dalla sorgente di rumore.

Effetto Riverberato (si usa anche il termine "Effetto Riflesso"), proveniente dalle riflessioni multiple e diffrazioni ad opera delle pareti che circondano l'ambiente in cui è installata la sorgente di rumore e dagli oggetti, arredamenti, ecc. contenuti all'interno dell'ambiente stesso.

CRITERIA FOR THE NOISE ESTIMATION

Noise index RC

The value of the index RC (Room Criterion) is calculated as the arithmetic average of the 3 sound pressure levels (NOT in "A" weighted scale) in the nominal octave band of frequency 500Hz – 1000Hz – 2000Hz, rounded to the closer integer value.

The considered bands are the ones for which mostly is present the interference with the intelligibility when someone is speaking, i.e. the ones which mostly interfere with oral human communication.

The trend of the RC reference curves are straight line segments with gradient -5dB/octave (this well approximates the large band noises, with well balanced spectrum characteristics, quite pleasant for the hearing).

It is so identified the related reference RC curve on the diagram "Hz-dB".

Similarly for the indexes NR and NC, on the same diagram is designed the spectrum of the sound pressures (NOT in "A" weighted scale) – (Fig.3).

As comparison with the calculated RC (or better of the RC curve identified by the calculated RC value) and the spectrum of the sound pressure, the noise can be classified:

- "Rumbling" (i.e. with an excess of energy at the low frequencies) if for some octave band frequency below 500 Hz the sound pressure level exceeds for more than 5 dB the RC reference curve.
- "Hissing" (i.e. with an excess of energy at the high frequencies) if for some octave band frequency above 500 Hz the sound pressure level exceeds for more than 3 dB the RC reference curve.
- "Neutral" when the noise is not rumbling and hissing neither.

It is common to show after the RC number by the letter N for neutral noise (ex.: RC 35N), the letter R ("Rumble") for rumbling noise, the letter H ("Hiss") for hissing noise.

PROPAGATION OF THE NOISE IN THE ENVIRONMENTS

Sound source is more or less noisy according to the sound pressure level measured in the reception point.

Human ear, does not hear the sound power level, but rather hears and measures a pressure: i.e. sound pressure.

We want to remind that the sound pressure is the only perceptible parameter, measurable and detectable.

For here above reasons, when a unit is selected, big attention is paid to the sound level as total sound pressure in "A" weighted scale [dB(A)].

In order to describe in univocal way the noise of a source it is required to refer to the emitted sound power, because what we perceive (pressure) is strictly influenced by several different external factors.

The sound pressure level depends, beyond the sound power level of the source, also by the distance from the source, by the directional factor (Q), by the ground noise and by the environmental conditions where the noise is propagating (free field, more or less reverberating room, more or less absorbing room, obstacles that the noise can encounter during its propagating path to reach the reception point, etc...).

The sound power, can be rather considered the only "absolute parameter", independent by any other external factor to the source.

Anyway, it's possible to calculate the sound pressure level (the one received by the human ear) starting from the sound power levels.

There are different relations enabling the calculation of the sound pressure level, depending on different reference conditions and environments.

Most commonly used model to calculate the sound pressure level, starting from the sound power is the one of the noise propagation in free field.

In a closed actual room, however, the noise propagation does not occur with the rules of the free field and the sound level pressure depends, further than the sound power level of the source, by the superposition of a double effect:

Direct effect, coming directly from the source of the noise.

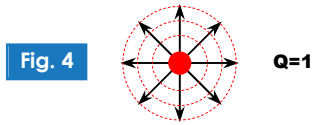
Reverberating effect (it is also known as "Reflected effect"), coming from the multiple reflections and diffractions due to the surrounding walls, where the noise source is installed and by the objects, furniture, etc... present in the room.

PROPAGAZIONE DEL RUMORE IN CAMPO LIBERO

Il campo libero è uno spazio omogeneo privo di ostacoli attorno alla sorgente sonora. Viene considerata una particolare aria atmosferica (aria "ideale", con assenza di fenomeni quali attrito, dissipazione, ecc.) alla temperatura di 20°C.

Si consideri una sorgente puntiforme in campo libero che irradia una certa potenza sonora nello spazio circostante in maniera uniforme in tutte le direzioni e con la stessa intensità.

In queste condizioni di simmetria, è possibile assumere una propagazione del rumore per onde sferiche (Fig.4).



In campo libero, il valore della potenza sonora totale si mantiene inalterato per l'assenza di fenomeni dissipativi (assorbimento da parte del mezzo (aria) in cui avviene la propagazione).

Vale la seguente relazione che lega pressione e potenza sonora.

$$L_p = L_w + 10 \log (Q / 4\pi r^2) = L_w + 10 \log (1 / 4\pi r^2) = L_w - 20 \log r - 11$$

Dove:

L_p = Livello di pressione sonora [dB]

L_w = Livello di potenza sonora [dB]

r = Distanza dalla sorgente di rumore (= distanza dall'unità) [m]

Q = Fattore di direzionalità, funzione del posizionamento dell'unità ($Q=1$ per sorgente libera).

Questa relazione, valida per il campo libero (con fattore di direzionalità $Q=1$), è quella più semplice, precisa, trasparente ed univoca.

In realtà una unità non sarà mai installata in un campo libero, che pertanto deve essere considerato più un "modello matematico di calcolo" che non un modello in grado di rappresentare come avviene realmente la propagazione del rumore.

La relazione valida per il campo libero ($L_p = L_w - 20 \log r - 11$) permette però di calcolare agevolmente la pressione "Lp" in funzione della sola distanza "r" dalla sorgente (e dal livello di potenza "Lw"), indipendentemente dai tutti gli altri fattori esterni che in realtà influenzano la propagazione del rumore, ma che sono di difficile stima ed incerta determinazione.

Per questo motivo è la relazione maggiormente utilizzata: è precisa, è univoca, non si presta a mal interpretazioni, non si presta ad utilizzi scorretti, non si presta ad errori di valutazione.

PROPAGAZIONE DEL RUMORE IN LOCALE CHIUSO

Effetto diretto

Per il livello di pressione sonora dovuta all'effetto diretto, vale la seguente relazione:

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2)$$

Dove:

▪ L_p = Livello di pressione sonora [dB]

▪ L_w = Livello di potenza sonora [dB]

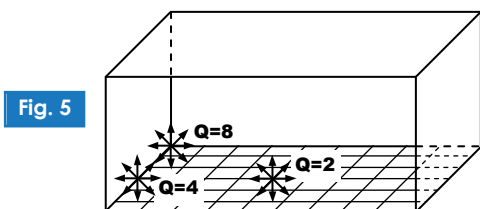
▪ r = Distanza dalla sorgente di rumore (= distanza dall'unità) [m]

▪ Q = Fattore di direzionalità, funzione del posizionamento dell'unità (Fig.5):

- $Q=2$ per unità posta su un piano (es. appoggiata al pavimento in centro stanza)
- $Q=4$ per unità posta all'intersezione tra due piani (es. appoggiata al pavimento e centro parete)
- $Q=8$ per unità posta all'intersezione tra tre piani (es. appoggiata al pavimento e spigolo fra due pareti)

Confrontando la relazione valida per l'effetto diretto con quella valida per il campo libero, possiamo considerare l'effetto diretto quale "componente della propagazione del rumore in campo libero", opportunamente "pesata" con il fattore di direzionalità "Q".

"Q" assume valori diversi per effetto di limitazioni del campo libero verso il quale viene irradiata la potenza acustica della sorgente (Fig.5). Ad es. una sorgente posizionata in prossimità di una superficie solida considerata perfettamente riflettente irradia verso il semispazio libero una potenza sonora doppia di quanto farebbe in campo libero totale → viene attribuito il valore $Q=2$. Analogamente per limitazioni dello spazio più restrittive viene assegnato $Q=4$; $Q=8$; ecc.

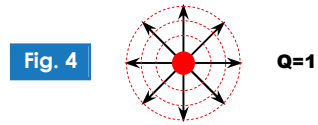


PROPAGATION OF THE NOISE IN FREE FIELD

The free field is an homogeneous space without any obstacle around the sound source. It is taken into account a particular atmospheric air ("ideal" air, with absence of frictions, dissipation effects, etc...) at a temperature of 20°C.

Considering a punctual source in free field which radiate a sound power in the surrounding environment in uniform way in all directions, with same intensity.

With such symmetrical conditions, it is possible to assume a spherical propagation of the sound waves (Fig.4).



In free field, the value of the total sound power remains unchanged due to the absence of dissipative phenomena (absorption of the surrounding air where the sound is propagating).

The following relation which is relating the sound pressure and sound power, is valid.

$$L_p = L_w + 10 \log (Q / 4\pi r^2) = L_w + 10 \log (1 / 4\pi r^2) = L_w - 20 \log r - 11$$

Whereas:

L_p = Sound pressure level [dB]

L_w = Sound power level [dB]

r = Distance from the noise source (=distance from the unit) [m]

Q = Directional factor which depends by the position of the unit ($Q=1$ for free source).

This relation, valid in free field (with directional factor $Q=1$) is the simpler, more accurate, transparent and univocal.

Actually, a unit will never be installed in free field, which must be clearly considered like a "mathematic calculation model" rather than a model able to represent the actual noise propagation.

The relation valid in free field ($L_p = L_w - 20 \log r - 11$) enables an easy calculation of the pressure "Lp" which is only depending on the distance "r" from the source (and from the power level "Lw"), not depending by any other external factor which actually have an influence on the propagation of the noise, but which are not of easy evaluation.

For the hereby reason, this is the most used relation: it is accurate, it is univocal, it cannot be misunderstood, it is not suitable to incorrect uses and evaluation errors.

PROPAGATION OF THE NOISE IN CLOSED ENVIRONMENT

Direct effect

For the sound pressure due to direct effect it is valid the following relation:

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2)$$

Whereas:

▪ L_p = Sound pressure level [dB]

▪ L_w = Sound power level [dB]

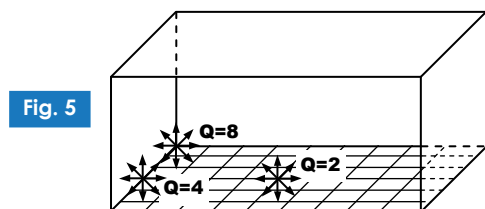
▪ r = Distance from the noise source (=distance from the unit) [m]

▪ Q = Directional factor, based on the positioning of the unit (Fig.5):

- $Q = 2$ for unit placed on flat surface (for example placed on floor in the centre of the room)
- $Q = 4$ for unit placed at the intersection of two surfaces (for example placed on floor and at the centre of the wall)
- $Q = 8$ for unit placed at the intersection of three surfaces (for example placed on floor and angle between two walls)

Comparing the relation of the direct effect with the one valid in free field, we can consider the direct effect as a "component of the propagation of the noise in free field", duly "weighted" with the directional factor "Q". "Q" takes different values by effect of the limitation in the free field toward which is radiated the acoustic power of the source (Fig.5).

For ex. a source placed nearby a perfectly reflecting solid surface, radiate in the free half space a double sound power as the one radiated in total free field → the value is $Q=2$. Similarly for more limitative space conditions it can be $Q=4$; $Q=8$; etc.



PROPAGAZIONE DEL RUMORE IN LOCALE CHIUSO
Effetto riflesso (o Effetto riverberato)

Per il livello di pressione sonora dovuta all'effetto riflesso, nell'ipotesi di campo diffuso, vale la seguente relazione:

$$L_p = L_w + 10 \log (4/R)$$

Dove **R = Costante d'ambiente** = $\alpha_m S / (1 - \alpha_m)$

Dove:

- L_p = Livello di pressione sonora [dB]
- L_w = Livello di potenza sonora [dB]
- S = Superf. complessiva interna della stanza (pareti + pav. + soffitto) [m²]
- α_m = Coefficiente medio di assorbimento acustico:
 - $\alpha_m = 0,01 \div 0,08$ per un ambiente poco fonoassorbente
 - $\alpha_m = 0,10 \div 0,20$ per un ambiente medio
 - $\alpha_m = 0,25 \div 0,50$ per un ambiente molto fonoassorbente
 - $\alpha_m = 1$ per un ambiente perfettamente fonoassorbente

Possiamo considerare l'effetto riflesso quale componente addizionale nel calcolo del rumore complessivo per effetto delle onde sonore riflesse provenienti dai corpi (pareti ed oggetti) circostanti alla sorgente.

In realtà questo calcolo andrebbe fatto per ogni singolo valore dello spettro di frequenze, poiché i materiali che costituiscono le pareti e gli oggetti circostanti la sorgente hanno coefficienti di assorbimento acustico differenziato per le diverse frequenze (ad es. possono essere molto assorbenti alle basse frequenze e poco assorbenti alle alte frequenze, o viceversa).

Visto che la quota di pressione sonora riflessa può variare sensibilmente da una frequenza all'altra, i calcoli andrebbero condotti su base spettrale: la componente riflessa dalle pareti andrebbe calcolata con il relativo coefficiente di assorbimento per ogni singola frequenza, in [dB] e solo alla fine si potrebbe comporre il livello sonoro riflesso complessivo in [dB(A)].

Nel calcolo dell'assorbimento totale d'ambiente si dovrebbe poi considerare, oltre all'assorbimento delle superfici di delimitazione dell'ambiente stesso (pareti, pavimento, soffitto), anche l'assorbimento della potenza sonora da parte degli elementi presenti nell'ambiente, come persone, arredamenti, sedie, oggetti, tappeti, tendaggi ecc.

In definitiva, il calcolo medio come quello sopra esposto (con un " α_m " mediato su una superficie complessiva "S") è in realtà un calcolo che racchiude in sé una grandissima approssimazione.

PROPAGAZIONE DEL RUMORE IN LOCALE CHIUSO
Livello di pressione sonora complessivo (Effetto diretto + Effetto riflesso)

Dalla combinazione dei 2 effetti (effetto diretto + effetto riflesso), per un ambiente chiuso (campo acustico semiriverberante) vale la seguente relazione:

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 4/R)$$

Dove **R = Costante d'ambiente** = $\alpha_m S / (1 - \alpha_m)$

Oppure, in funzione del tempo di riverberazione anziché dal coefficiente di assorbimento, vale la corrispondente relazione:

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 24,84 \tau_0/V)$$

Dove:

- L_w = Livello di potenza sonora [dB]
- L_p = Livello di pressione sonora [dB]
- r = Distanza dalla sorgente di rumore (= distanza dall'unità) [m]
- S = Superf. complessiva interna della stanza (pareti + pav. + soffitto) [m²]
- V = Volume della stanza [m³]
- Q = Fattore di direzionalità ($Q=1-2-4-8$ -ecc.) – (Fig.5)
- α_m = Coefficiente medio di assorbimento acustico:
 - $\alpha_m = 0,01 \div 0,08$ per un ambiente poco fonoassorbente
 - $\alpha_m = 0,10 \div 0,20$ per un ambiente medio
 - $\alpha_m = 0,25 \div 0,50$ per un ambiente molto fonoassorbente
 - $\alpha_m = 1$ per un ambiente perfettamente fonoassorbente
- τ_0 = Tempo di riverberazione in secondi:
 - $\tau_0 = 0,2 \div 0,4$ per un ambiente poco riverberante
 - $\tau_0 = 0,5 \div 0,7$ per un ambiente medio
 - $\tau_0 = 1,0 \div 2,5$ per un ambiente molto riverberante.

Valgono le stesse considerazioni riportate nella sezione "Effetto riflesso" circa le approssimazioni relative all'utilizzo di tempi di riverberazione " τ_0 " e coefficienti di assorbimento " α_m " medi. Una analisi precisa richiederebbe il calcolo sulle singole componenti spettrali.

PROPAGATION OF THE NOISE IN CLOSED ENVIRONMENT
Reflected effect (or Reverberating effect)

For the sound pressure due to the reflected effect, in the diffuse field hypothesis, the following relation is valid:

$$L_p = L_w + 10 \log (4/R)$$

Whereas **R = Environment constant** = $\alpha_m S / (1 - \alpha_m)$

Whereas:

- L_p = Sound pressure level [dB]
- L_w = Sound power level [dB]
- S = Total internal surface of the room (walls + floor + ceiling) [m²]
- α_m = Medium absorbing acoustic coefficient:
 - $\alpha_m = 0,01 \div 0,08$ low phono-absorbing environment
 - $\alpha_m = 0,10 \div 0,20$ medium phono-absorbing environment
 - $\alpha_m = 0,25 \div 0,50$ high phono-absorbing environment
 - $\alpha_m = 1$ total phono-absorbing environment

We can consider the reflected effect as an additional component of the total sound by effect of the reflected sound waves coming from the bodies (walls and objects) surrounding the source.

The hereby calculation should be done per each value of the frequency spectrum, as the materials making the walls and the objects surrounding the source have different acoustic absorbing coefficients depending on the frequencies (for ex. they can be highly absorbing at low frequencies and low absorbing at high frequencies, or vice versa).

As the part of the reflected sound pressure can sensibly change from one frequency to the other, the calculation should be done based on the spectrum: the reflected component by the wall should be done with the related absorbing coefficient per each frequency, in [dB] and only at the end it would be possible to calculate the total reflected sound in [dB(A)].

In the calculation of the total absorption of the environment it would be considered, further to the absorption of the surfaces (walls, floor, ceiling), even the absorption of the sound power from the other elements present in the room, like persons, furniture, chairs, objects, carpets, curtains, etc...

Finally, the average calculation as the one here above (with averaged " α_m " on a total surface "S") is actually a calculation which has a large approximation level.

PROPAGATION OF THE NOISE IN CLOSED ENVIRONMENT
Total sound pressure level (Direct effect + Reflected effect)

By the combination of the 2 effects (direct effect + reflected effect), in closed environment (semi-reverberate field) the following relation is valid:

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 4/R)$$

Whereas **R = Environment Constant** = $\alpha_m S / (1 - \alpha_m)$

Or, depending on the reverberation time, instead of the absorbing coefficient, is valid the hereby relation:

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 24,84 \tau_0/V)$$

Whereas:

- L_w = Sound power level [dB]
- L_p = Sound pressure level [dB]
- r = Distance from the noise source (=distance from the unit) [m]
- S = Total inner surface of the room (walls + floor + ceiling) [m²]
- V = Volume of the room [m³]
- Q = Directional factor ($Q=1-2-4-8$ -ecc.) – (Fig.5)
- α_m = Medium absorbing acoustic coefficient:
 - $\alpha_m = 0,01 \div 0,08$ low phono-absorbing environment
 - $\alpha_m = 0,10 \div 0,20$ medium phono-absorbing environment
 - $\alpha_m = 0,25 \div 0,50$ high phono-absorbing environment
 - $\alpha_m = 1$ total phono-absorbing environment
- τ_0 = Reverberation time in seconds:
 - $\tau_0 = 0,2 \div 0,4$ low reverberating environment
 - $\tau_0 = 0,5 \div 0,7$ medium reverberating environment
 - $\tau_0 = 1,0 \div 2,5$ high reverberating environment

The same considerations shown on the "Reflected effect" section related to the approximations on the reverberating time " τ_0 " and the medium absorption coefficients " α_m " are valid. An accurate analysis would require the calculation each single spectrum components.

Le 2 relazioni esposte dimostrano che il livello di pressione sonora che viene percepita in un punto all'interno di un locale chiuso è diversa:

- a seconda di "quanto assorbente è un ambiente" (tanto più assorbenti saranno le pareti e gli oggetti contenuti, e tanto minore sarà il rumore).
- a seconda del tempo di riverberazione (tanto più riverberante è un ambiente e tanto maggiore sarà il rumore).

Ad es., la rumorosità sarà molto più alta in un ambiente vuoto che non sullo stesso ambiente arredato. Infatti i mobili, tendaggi, tappeti, ecc. danno un contributo sensibile sull'assorbimento acustico, che corrisponde ad una diminuzione del tempo di riverbero complessivo del locale.

Riflessione: tutti conosciamo la differente sensazione acustica fra ambiente vuoto e lo stesso ambiente arredato.

Esempio

Si consideri una unità:

- con livello di potenza sonora $L_w = 90$ [dB(A)]
- appoggiata al pavimento, in centro stanza ($Q=2$)
- all'interno di un locale con le seguenti caratteristiche:
 - Dimensioni: $20\text{m} \times 10\text{m} \times H$ 5m
 - $\alpha_m = 0,50$; $\tau_0 = 0,23$ s

Determinare il livello di pressione sonora alla distanza $r=5$ m

Risulta:

$$V = 1000 \text{ [m}^3\text{]} ; S = 700 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = \alpha_m S / (1 - \alpha_m) = 0,50 \times 700 / (1 - 0,50) = 700$$

Calcolo condotto con la costante d'ambiente "R" (rif. assorbimento):

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 4/R) = L_w + 10 \log (2/4\pi 5^2 + 4/700) =$$

$$= L_w - 19,2 \text{ dB(A)} = 90 - 19,2 = 70,8 \text{ [dB(A)]}$$

Oppure, analogamente, calcolo condotto con il tempo di riverbero " τ_0 ":

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 24,84 \tau_0/V) = L_w + 10 \log (2/4\pi 5^2 + 24,84 \times 0,23/1000) =$$

$$= L_w - 19,2 \text{ dB(A)} = 90 - 19,2 = 70,8 \text{ [dB(A)]}$$

The 2 relations are showing that the perceived sound pressure level inside a closed environment is different:

- depending "how absorbing is an environment" (as more absorbing are the walls and objects, as lower is the noise).
- depending on the reverberating time (as more reverberation is the environment, as higher is the noise).

For ex., the noise will be higher in an empty room, rather than in a furnished one. In fact the furniture, carpets, curtains, etc... provide a sensible contribution to the noise absorption, which corresponds to the reduction of the total reverberating time of the room.

Reflection: we all know the different acoustic sensation between empty and furnished environment.

Example

Let us consider one unit:

- with sound power level $L_w = 90$ [dB(A)]
- laying on the floor in the middle of a room ($Q=2$)
- inside a room with following characteristics:
 - Sizes: $20\text{m} \times 10\text{m} \times H$ 5m
 - $\alpha_m = 0,50$; $\tau_0 = 0,23$ s

Calculate the sound pressure level at 5 m distance

Results:

$$V = 1000 \text{ [m}^3\text{]} ; S = 700 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = \alpha_m S / (1 - \alpha_m) = 0,50 \times 700 / (1 - 0,50) = 700$$

Calculation made with environment constant "R" (ref. absorption):

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 4/R) = L_w + 10 \log (2/4\pi 5^2 + 4/700) =$$

$$= L_w - 19,2 \text{ dB(A)} = 90 - 19,2 = 70,8 \text{ [dB(A)]}$$

Or similarly, calculation made with reverberating time " τ_0 ":

$$L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 24,84 \tau_0/V) = L_w + 10 \log (2/4\pi 5^2 + 24,84 \times 0,23/1000) =$$

$$= L_w - 19,2 \text{ dB(A)} = 90 - 19,2 = 70,8 \text{ [dB(A)]}$$

FONOMETRO E STRUMENTAZIONE PER IL RILIEVO DEL RUMORE

I rilievi effettuati tramite il fonometro sono rilievi di pressione sonora già ponderati in scala "A". Il fonometro infatti è uno strumento in grado di misurare il suono in termini del suo unico parametro rilevabile nella pratica, e cioè la pressione, filtrando opportunamente i valori nelle bande di ottava (possiede infatti un particolare filtro acustico "A", al fine di fornire risposte simili a quelle dell'orecchio umano).

La strumentazione portatile "da cantiere" di solito fornisce solo il livello di pressione sonora complessiva in [dB(A)], già ponderata in scala "A".

Anche la strumentazione utilizzata nei laboratori rileva una pressione sonora (unico parametro rilevabile).

In questo caso la strumentazione è in grado di fornire lo spettro (non pesato "A") + il valore complessivo già pesato "A": tutti valori che sono normalmente presenti sui test-report redatti dai laboratori.

Per non commettere errori di interpretazione, normalmente il laboratorio fornisce solo i livelli di potenza sonora, essendo la potenza sonora l'unico parametro univoco ed "assoluto" in grado di definire la rumorosità di una sorgente (la pressione invece dipende da molteplici fattori esterni).

Questo significa che il laboratorio trasformerà i valori di pressione sonora rilevati in valori di potenza, in accordo alle prescrizioni della normativa di riferimento utilizzata per condurre i test.

Per ottenere la potenza, i valori di pressione rilevati vengono opportunamente corretti dal laboratorio per ogni singola banda d'ottava (spesso addirittura in terza d'ottava), con:

- gli indici ambientali (conosciuti) della camera di prova (assorbimento, riverberazione, ecc.)
- i valori di correzione forniti dalla sorgente di riferimento calibrata (la sorgente viene azionata prima di ogni singolo test, ne viene misurata la rumorosità, e lo scostamento dal suo valore nominale di calibrazione viene utilizzato per la correzione dei valori della prova che seguirà).

Esistono almeno 3 tipi di camera: anecoica, semianecoica, riverberante.

In una camera anecoica (con superfici interne completamente ricoperte da coni assorbenti), o in una camera semianecoica (completamente rivestita da coni assorbenti tranne il pavimento), si misurerà un livello di pressione sonora molto vicino a quello che si avrebbe con propagazione in campo libero con microfono posizionato nello stesso punto (perché le superfici della camera sono fortemente assorbenti e quindi l'effetto riflesso diventa molto piccolo).

Viceversa in una camera riverberante (con superfici interne riflettenti), si misurerà un livello di pressione sonora molto vicino alla potenza sonora (perché le superfici della camera sono quasi per nulla assorbenti).

In entrambi i casi, comunque, il laboratorio correggerà i valori di pressione rilevati con le caratteristiche ambientali, conosciute, della specifica camera di prova utilizzata per condurre i test → il valore finale della potenza (sia spettro che valore complessivo) sarà esattamente lo stesso, indipendentemente dal tipo di camera (anecoica, semianecoica, riverberante, ecc.) utilizzata per condurre le prove.

Negli ultimi anni è comunque sempre più diffusa ed utilizzata la camera riverberante, proprio perché il valore misurato è in partenza già molto vicino alla potenza sonora (valore che viene poi fornito dal laboratorio) e quindi le correzioni da apportare ai valori rilevati sono piccole, quindi eventuali errori percentuali hanno un peso inferiore sul risultato finale.

PHONOMETER AND INSTRUMENTS FOR THE NOISE MEASUREMENT

The measurements made with the phonometer are measuring the sound pressure already "A" weighted scale. The phonometer in fact is an instrument able to measure the sound in terms of the only measurable parameter, i.e. the pressure, properly filtering the values in octave bands (it is in fact provided with a particular acoustic "A" filter, able to provide responses similar to the ones of the human ear).

The portable instrumentation "for construction site" usually only measures the total sound pressure in [dB(A)], already "A" weighted scale.

Even the laboratory instrumentation measures the sound pressure (only measurable parameter).

In this case the instrument is able to provide the spectrum (not "A" weighted) + the total "A" weighted value: all the values are usually shown in the labs test-reports.

In order not to make any interpretation error, the lab usually provide the sound power levels only, as the sound power is the only univocal and "absolute" parameter able to define the noise of a source (the pressure rather depends on several external factors).

This means that the laboratory transforms the measured sound pressure values into sound power values, according with the reference norms used to held the tests.

In order to obtain the sound power, the measured sound pressure are properly corrected by the lab per each single octave band (quite often in third of octave), with:

- the environment indexes (known) of the test room (absorption, reverberation, etc...)
- the correction values given by the calibrated reference source (the source is activated before each test, its noise is measured, and the deviation from the nominal value of calibration is used to correct the values of the test).

There are 3 different types of test chambers: anechoic, semi-anechoic, reverberating.

In an anechoic room (with internal surfaces totally covered with absorbing cones), or in a semi-anechoic chamber (totally covered with absorbing cones, except the floor), a sound pressure level, very near to the one propagating in free field is measured with a microphone positioned at the same place (as the surfaces are highly absorbing and the reflected effect is very reduced).

Vice versa in a reverberating chamber (with internal reflecting surfaces), the sound pressure level, very near to the sound power is measured (as the surfaces are absorbing almost nothing).

Anyway, in both case, the lab will correct the measured pressure values with the environment characteristics of the specific test chamber → the resulting value of the power (the spectrum and the total value) will be exactly the same, independently from the type of chamber (anechoic, semi-anechoic, reverberating, etc...) used by the testing.

In the last years there has been a larger diffusion of reverberating chamber, due to the fact that the measured value is very near to the sound power (value provided by the lab) and then the corrections to provide to the measured values are very small, so as possible percentage errors have lower influence on the final result.

GENERAZIONE DI RUMORE DA ALTRI COMPONENTI DELL'IMPIANTO

Si ricorda che non tutta la pressione sonora rilevata nel punto di ascolto è quella prodotta dai ventilatori (o dall'unità in generale).

Una potenza sonora non trascurabile può venire generata anche per effetto del flusso d'aria attraverso i componenti dell'impianto, quali le canalizzazioni, le batterie di scambio termico, le serrande, i plenum, le diramazioni, i terminali di diffusione e ripresa dell'aria in ambiente, e gli stessi attenuatori acustici.

Per una unità installata all'interno di un locale (unità con aspirazione e diffusione dell'aria direttamente in ambiente), si può fare ben poco per migliorare i suoi livelli di rumorosità. Infatti l'unità con aspirazione e diffusione direttamente nel locale non è dotata di tutti quei componenti (canali, plenum, serrande, ecc.) su cui poter intervenire → pertanto, a parte qualche piccolo accorgimento dagli effetti assai modesti, la rumorosità può essere ridotta solo con una riduzione del numero di giri del ventilatore → ma questo implica anche una riduzione della portata aria → quindi anche una riduzione di tutte le altre prestazioni dell'unità (potenzialità termica e frigorifera).

Per unità collegate ad un impianto aeraulico, invece, gli elementi che influenzano la rumorosità sono numerosi e si raccomanda pertanto di adottare tutti gli accorgimenti necessari per contenere i livelli sonori il più bassi possibile. Criteri generali per ridurre i valori di generazione di rumore da parte di componenti esterni all'unità:

- Dimensionare i condotti e gli altri componenti per basse velocità di attraversamento dell'aria, soprattutto nelle zone più critiche come nei tratti in prossimità dell'ambiente climatizzato.
In prima approssimazione si può calcolare che ad un raddoppio della velocità dell'aria corrisponda un aumento del livello di potenza sonora generata di 15-16 [dB].
- Strutturare l'impianto in maniera tale da ottenere un flusso d'aria ovunque il più omogeneo ed uniforme possibile, evitando brusche variazioni di direzione o di area di flusso.
- Spaziare opportunamente i vari componenti d'impianto che possono generare turbolenza, per consentire una riomogeneizzazione del flusso fra di essi. Questa precauzione è particolarmente importante a valle della bocca di mandata dei ventilatori.

Critica nei confronti della generazione del rumore è la scelta dei terminali di diffusione od estrazione dell'aria dell'ambiente climatizzato: la potenza sonora da loro generata è infatti in questo caso immessa direttamente nell'ambiente, assieme alla potenza residua proveniente dall'unità, senza possibilità di attenuazione.

Riferirsi ai dati forniti dai costruttori dei terminali, ma tenere anche ben presente che:

- i dati forniti dai costruttori di terminali si riferiscono a condizioni di flusso perfettamente omogeneo ed uniforme in corrispondenza del raccordo di alimentazione.
- Generazioni di rumore notevolmente superiori si hanno quando queste condizioni non sono rispettate (ad es. per diffusori alimentati da collettori con stacchi disassati, o privi di captatori o alette deflettrici).
- la presenza di serrande di taratura in condizioni di parziale chiusura in corrispondenza ai terminali di diffusione o ripresa dell'aria incrementa la generazione di potenza sonora. Le serrande di taratura andrebbero posizionate almeno 10 diametri (o diametri equivalenti per sezioni rettangolari) a monte del diffusore, sullo stacco di mandata dell'aria, questo essendo rivestito di materiale fonoassorbente sulle superfici interne.

Non sempre però i componenti dell'impianto aeraulico sono a loro volta fonte di rumore.

Questo avviene solo quando essi vengono attraversati da velocità improprie, non sono dimensionati correttamente, o per qualsiasi altro fattore che induce turbolenze, attriti ed altri fenomeni dissipativi che trasformano le energie in gioco in potenza termica e potenza sonora.

Per impianti aeraulici ben progettati, una prima attenuazione del livello sonoro si ha invece proprio lungo i canali stessi.

L'attenuazione dipende dal tipo e forma di canali installati: più elevata per condotti rettangolari che per quelli circolari.

Infatti le pareti dei canali rettangolari risultano più flessibili rispetto a quelle dei canali circolari e di conseguenza trasmettono più facilmente l'energia sonora esternamente al condotto.

L'attenuazione dipende anche dal tipo di materiale con cui è costruito il canale, se è isolato internamente, o esternamente, tipo e spessore dell'isolante, velocità dell'aria all'interno del canale, presenza di curve, brusche variazioni di percorso, ecc. ecc.

Ed analogamente sistemi di diffusione, curve, raccordi, diramazioni, cambiamenti di direzione e/o cambiamenti di sezione ben dimensionati possono contribuire in modo significativo alla riduzione del livello sonoro che viene trasmesso all'ambiente climatizzato.

In generale la formazione di vortici nell'aria provoca anche l'emissione di rumore e di conseguenza un impianto ben progettato dal punto di vista aeraulico (perdita di carico minima possibile) presenta anche buone caratteristiche dal punto di vista del rumore aerodinamico.

In definitiva, il rumore generato dall'unità terminale trattamento aria è fondamentale, ma altrettanto fondamentale è considerare altri fattori esterni all'unità: un impianto aeraulico "fatto bene" (con basse perdite di carico aria) attenua il rumore, un impianto "fatto male" lo esalta.

NOISE GENERATION BY DIFFERENT COMPONENTS OF THE SYSTEM

We like to remind that not all the measured sound pressure in the listening point is produced by the fans (or more in general by the unit).

Non negligible sound power can be generated by the effect of the air flowing through the components of the system, like the ducts, the coils, the louvers, the plenums, ramifications, the air diffusers and return grills, and the sound attenuator as well.

For a unit installed inside a room (unit with air intake and air supply directly in the environment), there are few possibilities to reduce the noise. In fact the unit with air intake and air supply directly in the room is not provided with all the elements (ducts, plenums, louvers, etc..) on which is possible to operate → therefore, apart small solutions with negligible effects, the noise can only be reduced with a reduction of the rpm of the fan → this means a reduction of the air flow → this means a reduction of the general performances of the unit (reduced heating and cooling capacity).

With units connected to an aeraulic system, there are several elements which have an influence on the noise and therefore it is recommended to use all required solutions to reduce the noise levels as low as possible. Here below general criteria to reduce the noise due to components external to the unit:

- Design the ducts and the other components in order to have low crossing air speed, above all in the most critical areas nearby the conditioned room.
It can be approximately calculated that to doubled value of the air speed, corresponds an increase of the sound power level around 15-16 [dB].
- Design the system in order to have an air flow as much homogeneous and uniform as possible, avoiding rough directional variations and in the air flow sections.
- Distribute the different components in order to reduce the turbulences, and to enable an homogeneous distribution of the different air flows. This precaution is rather important downstream the air supply of the fans.

In the generation of the noise is very critical the choice of the diffusers or of the air extractors in the air conditioned room: the sound power generated by the hereby elements is in this case directly in the room, together with the residual power coming from the unit, without any possibility of attenuation.

It is required to refer to the data of the terminals manufacturer, also considering that:

- the data provided by the manufacturers refer to totally homogeneous and uniform flow at the air supply junction.
Noise generations remarkably higher must be expected when hereby conditions are not respected (for ex. diffusers fed with collectors with offset branches, or without deflecting fins).
- the presence of setting louvers partially closed installed in the supply or air intake diffusers, increase the sound power.
The adjustable louvers must be generally speaking installed at least at 10 diameter distance (or equivalent diameters for rectangular sections) upstream to the diffuser of the air supply, with the same covered in the inner side with phono-absorbent material.

Not always the components of the aeraulic installation are source of noise.

The hereby occurs only when they are crossed by improper speeds, in case they are not correct designed, or for any other factor creating turbulences, frictions and other dissipative phenomena which transform the involved energies into thermal power and sound power.

With properly designed aeraulic systems, the first attenuation of the sound level is already in the ducts themselves.

Attenuation depends on the type and shape of the ducts: higher with rectangular ducts, than with circular ducts.

In fact the walls of the rectangular ducts are more flexible in comparison with the circular ones and they consequently transmit more easily the sound energy on the external side of the duct.

The attenuation also depends on the type of material with which is manufactured the duct, whether it is insulated internally, or externally, by type and thickness of the insulation, by the air speed inside the duct, in case there are or not curves, rough variations of the path, etc. etc...

Similarly, grills, curves, ramifications, changes in the directions and/or sections well designed can give a contribution to the reduction of the sound level transmitted to the conditioned environment.

Generally speaking the creation of air vortex also increase the noise and consequently a properly designed installation from the aeraulic point of view (pressure drops as low as possible) also has good behaviour from the aerodynamic noise point of view.

Finally, the noise generated by the air terminal unit is fundamental, but at the same time other factors, external to the unit are very important: a "well designed" aeraulic system (with low air pressure drops) reduces the noise, a "bad design" system rather improve it.

A titolo di esempio, sul grafico seguente (Fig.6) si riporta l'attenuazione del rumore (in [dB/m] riferito a diverse frequenze) per alcuni condotti a sezione quadrata o rettangolare (sezione in [mm x mm]), rivestiti con materiale di densità 32 Kg/m³ e spessore 25 mm).

To give an example, in the hereby diagram (Fig. 6) is shown the noise attenuation (in [dB/m] referred to different frequencies) for some square or rectangular section ducts (section in mm x mm), insulated with 32 Kg/m³ density and 25 mm thickness material).

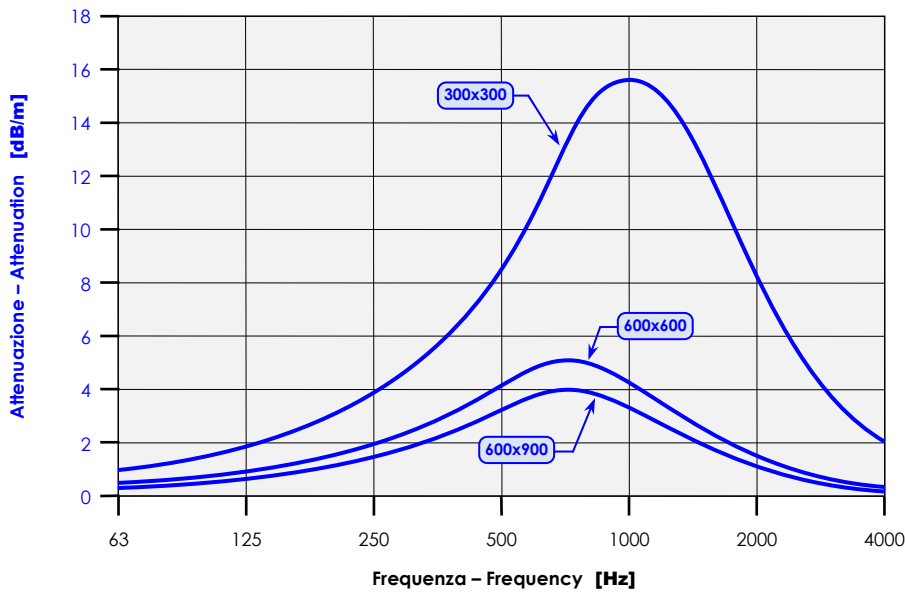


Fig. 6

Attenuazione del rumore [dB/m] per condotti rivestiti

Noise reduction in [dB/m] with coated ducts

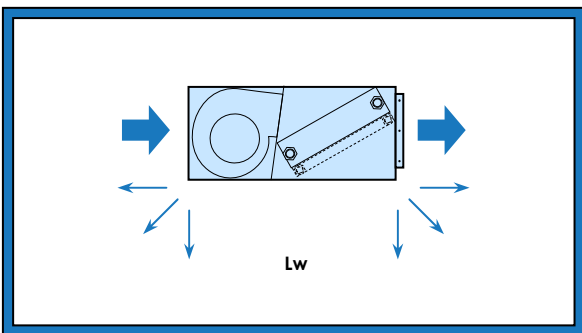
RUMORE IRRADIATO – ASPIRAZIONE – MANDATA

Il rumore prodotto dai ventilatori della unità terminale di trattamento aria (che in pratica corrisponde al totale rumore prodotto dall'unità), pur essendo un parametro molto importante, non corrisponde però al livello sonoro che investe il punto di ascolto, cioè con il rumore percepito da una persona all'interno di un locale. Molto importante è calcolare quanto di questo rumore raggiunge gli ambienti serviti dall'impianto stesso.

Nel caso l'unità sia collegata ad un impianto aerulico, la via principale di trasmissione del rumore è quella del flusso d'aria attraverso i condotti di ventilazione. Risulta importante quindi conoscere quanto del rumore totale generato dall'unità viene trasmesso in mandata, quanto viene trasmesso in aspirazione, e quanto trasmesso attraverso i pannelli della cassa di copertura.

La potenza sonora complessiva "Lw" (Fig.7) emessa dall'unità può essere scomposta in 3 fattori: le 3 potenze sonore "Lwm", "Lwa", "Lwi" (Fig.8).

Fig. 7



- Lw** Potenza sonora complessiva emessa dall'unità.
- Lwm** Potenza sonora emessa dall'unità dal lato della mandata aria (può essere considerato il livello di rumore che si trasmette nel canale di mandata).
- Lwa** Potenza sonora emessa dall'unità dal lato di aspirazione aria (può essere considerato il livello di rumore che si trasmette nel canale di aspirazione).
- Lwi** Potenza sonora irradiata, emessa dalle superfici laterali dell'unità (può essere considerato il livello di rumore che si propaga nello spazio dove è installata l'unità).

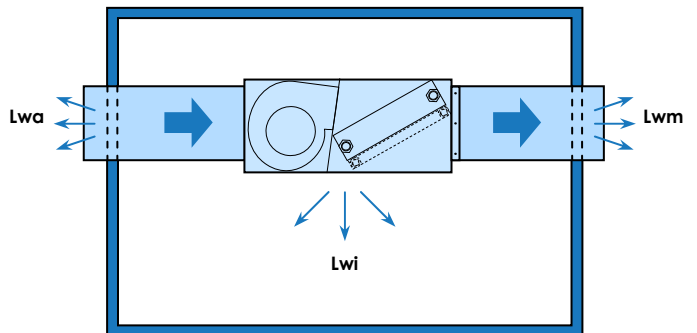
RADIATED NOISE – AIR INTAKE – AIR SUPPLY

The noise produced by the fans of the air terminal unit (which is practically the total noise produced by the unit), even if it is a very important parameter, does not correspond to the sound level in the reception point, i.e. the noise perceived by a person inside a room. It is very important to calculate how much of this noise reaches the conditioned rooms.

In case the unit is connected with an aerulic system, main transmission way is the airflow through the ventilation ducts. It is important then to know which the quantity on the total generated noise is transmitted by the air supply, the quantity transmitted by the air intake, and the quantity transmitted through the panel of the covering box.

The total sound power "Lw" (Fig.7) emitted by the unit can be split into 3 components: "Lwm", "Lwa", "Lwi" (Fig.8).

Fig. 8



- Lw** Total sound power emitted by the unit.
- Lwm** Sound power emitted by the air supply side of the unit (sound level transmitted by the air supply duct).
- Lwa** Sound power emitted by the air intake side of the unit (sound level transmitted by the air intake duct).
- Lwi** Radiated Sound power, emitted by the lateral surfaces of the unit (sound level transmitted inside the room where the unit is installed)

RUMORE IRRADIATO – ASPIRAZIONE – MANDATA
Potenza sonora complessiva emessa dall'unità (Lw)

La potenza sonora complessiva (Lw) è la somma delle potenze sonore in mandata (Lwm), in aspirazione (Lwa) ed irradiata (Lwi).

Si ricorda che il livello sonoro risultante dalla composizione di più rumori deve essere calcolato con le relazioni logaritmiche che regolano le leggi dell'acustica.

Vale pertanto la seguente relazione:

$$Lw = 10 \log (10^{Lwm/10} + 10^{Lwa/10} + 10^{Lwi/10})$$

La relazione vale per il livello complessivo pesato in scala "A" (e sarà in [dB(A)]), ma può essere utilizzata anche per ogni singolo valore dello spettro di frequenze (e sarà in [dB]).

Relazioni analoghe valgono per la pressione sonora e per l'intensità sonora.

La scomposizione di Lw e la sua distribuzione sui 3 fattori Lwm, Lwa e Lwi dipende da diversi fattori, fra cui versione dell'unità e tipologia dei pannelli della cassa di copertura (diverso è avere ad es. aspirazione aria da sotto o da dietro, diverso è il comportamento con cassa di copertura in semplice pannello o in doppio pannello).

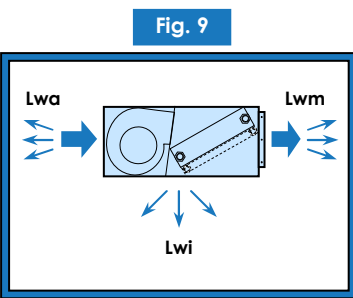


Fig. 9

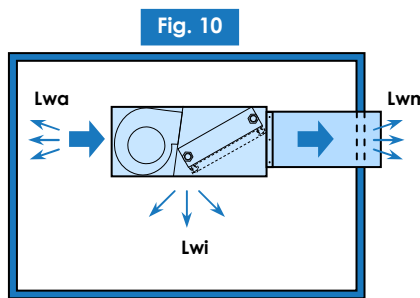


Fig. 10

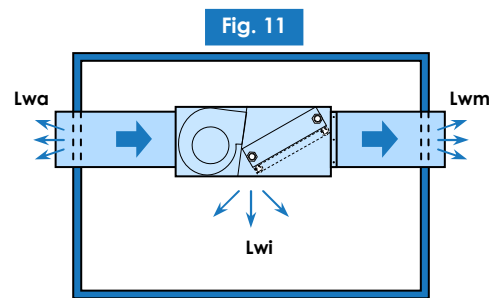


Fig. 11

RUMORE IRRADIATO – ASPIRAZIONE – MANDATA
Potenza sonora emessa dall'unità senza canalizzazione (Fig.9)

Qualora l'unità non venga collegata ad alcuna canalizzazione, la potenza sonora che immette in ambiente è pari alla somma delle potenze sonore in mandata (Lwm), in aspirazione (Lwa) ed irradiata (Lwi).

Esempio:

- Lwm = 40 dB(A)
- Lwa = 41 dB(A)
- Lwi = 37 dB(A)

Risulta:

$$Lw \text{ unità} = 10 \log (10^{4.0} + 10^{4.1} + 10^{3.7}) = 10 \log 27,601 = 44,4 \text{ dB(A)}$$

RUMORE IRRADIATO – ASPIRAZIONE – MANDATA
Potenza sonora emessa dall'unità con un lato non canalizzato (Fig.10)

Se uno dei lati non è canalizzato, la potenza sonora immessa nell'ambiente in cui è installata l'unità sarà pari alla somma della potenza sonora relativa a quel lato e della potenza sonora irradiata.

Esempio:

- Lwm = 40 dB(A) ... con canale (con mandata aria canalizzata)
- Lwa = 41 dB(A) ... senza canale (con aspirazione aria non canalizzata)
- Lwi = 37 dB(A)

Risulta:

$$Lw \text{ unità} = 10 \log (10^{4.1} + 10^{3.7}) = 10 \log 17,601 = 42,5 \text{ dB(A)}$$

Nel canale di mandata, invece verrà trasmessa la potenza sonora:

$$Lwm = 40 \text{ dB(A)}$$

RUMORE IRRADIATO – ASPIRAZIONE – MANDATA
Potenza sonora emessa dall'unità con 2 lati canalizzati (Fig.11)

Se entrambi i lati sono canalizzati, la potenza sonora immessa nell'ambiente in cui è installata l'unità sarà pari alla sola potenza sonora irradiata.

Esempio:

- Lwm = 40 dB(A) = potenza sonora trasmessa nel canale di mandata
- Lwa = 41 dB(A) = potenza sonora trasmessa nel canale di aspirazione
- Lwi = 37 dB(A) = potenza sonora trasmessa nel locale in cui è installata l'unità

RADIATED NOISE – AIR INTAKE – AIR SUPPLY
Total Sound power emitted by the unit (Lw)

The total sound power level (Lw) is the sum of air supply (Lwm), air intake (Lwa) and radiated (Lwi) sound powers.

We like to remind that the resulting sound level by the composition of different sounds must be calculated with logarithmic acoustic relations.

It is valid the hereby relation:

$$Lw = 10 \log (10^{Lwm/10} + 10^{Lwa/10} + 10^{Lwi/10})$$

The relation is valid for the total sound level "A" weighted scale (it is in [dB(A)]), but it can be used per each value of the frequency spectrum (and this is in [dB]).

Similar relations are valid for the sound pressure and sound intensity.

The decomposition of Lw and its distribution onto 3 factors Lwm, Lwa and Lwi depends on several factors, between them the version of the unit and from the type of panels of the covering box (it is quite different to have for instance frontal or bottom air intake, and also different is to have covering box in single or double panel).

RADIATED NOISE – AIR INTAKE – AIR SUPPLY
Sound power emitted by the unit without the duct (Fig.9)

In case the unit is not connected to any duct, the sound power emitted in the room is the sum of the sound power in the air supply (Lwm), air intake (Lwa) and radiated (Lwi).

Example:

- Lwm = 40 dB(A)
- Lwa = 41 dB(A)
- Lwi = 37 dB(A)

Result:

$$Lw \text{ unit} = 10 \log (10^{4.0} + 10^{4.1} + 10^{3.7}) = 10 \log 27,601 = 44,4 \text{ dB(A)}$$

RADIATED NOISE – AIR INTAKE – AIR SUPPLY
Sound power emitted by the unit with one side not ducted (Fig. 10)

If one side is not ducted, the sound power delivered to the room is the sum of the sound power of that side and the radiated sound power.

Example:

- Lwm = 40 dB(A) ... with duct (with ducted air supply)
- Lwa = 41 dB(A) ... without duct (with air intake not ducted)
- Lwi = 37 dB(A)

Result:

$$Lw \text{ unit} = 10 \log (10^{4.1} + 10^{3.7}) = 10 \log 17,601 = 42,5 \text{ dB(A)}$$

In the air supply duct, will be transmitted the sound power:

$$Lwm = 40 \text{ dB(A)}$$

RADIATED NOISE – AIR INTAKE – AIR SUPPLY
Sound power emitted by the unit with two sides ducted (Fig. 11)

If both sides of the unit are ducted, the sound power in the room where the unit is installed will be the radiated sound power:

Example:

- Lwm = 40 dB(A) = sound power transmitted in the air supply duct
- Lwa = 41 dB(A) = sound power transmitted in the air intake duct
- Lwi = 37 dB(A) = sound power transmitted in the room where the unit is installed

GUIDA ALLA LETTURA DEI DATI DICHIARATI

Per ogni unità, si riportano alle diverse velocità i parametri di seguito indicati.

READING GUIDE OF THE DECLARED DATA

The parameters at the different speed are shown per each unit.

SPETTRO DELLA POTENZA SONORA E POTENZA SONORA COMPLESSIVA

Trattasi di una tabella con riportati i livelli di potenza sonora (in [dB]) per le diverse frequenze in banda d'ottava.
Viene inoltre riportato il livello di potenza sonora globale in [dB(A)], derivante dalla composizione dello spettro, previa pesatura in scala "A", secondo procedura normalizzata.
Potenza sonora di riferimento = $W_0 = 10^{-12}$ [W].
Dati rilevati in laboratorio con camera riverberante.
Valori di potenza sonora in accordo con le norme ISO 3741 – ISO 3742.

SOUND POWER SPECTRUM AND TOTAL SOUND POWER

This table shows the sound power level (in [dB]) for the different octave band frequencies.
The total sound power level is also shown in [dB(A)], resulting by the composition of the spectrum, with "A" weighted scale, according to normalised procedure.
Reference sound power = $W_0 = 10^{-12}$ [W].
Data measured in reverberating room.
Sound power values according with the norms ISO 3741 – ISO 3742.

SPETTRO DELLA PRESSIONE SONORA E PRESSIONE SONORA COMPLESSIVA

Tabella con riportati i livelli di pressione sonora (in [dB]) per le diverse frequenze in banda d'ottava.
Viene inoltre riportato il livello di pressione sonora globale in [dB(A)], derivante dalla composizione dello spettro, previa pesatura in scala "A", secondo procedura normalizzata.
Intensità di riferimento = $I_0 = 10^{-12}$ [W/m²].
Tutti i valori di pressione sonora (spettro e livello globale) sono dati calcolati, a partire dai livelli di potenza sonora, con la relazione:
 $L_p = L_w - 20 \log r - 11$
valida per campo libero (con fattore di direzionalità $Q=1$), dove:
 r = distanza dall'unità, assunta pari a (*):

- $r = 2$ m per piccole unità terminali trattamento aria
- $r = 3$ m per unità terminali trattamento aria medio/grandi
- $r = 5$ m per CTA e "grandi unità centralizzate"

SOUND PRESSURE SPECTRUM AND TOTAL SOUND PRESSURE

This table shows the sound pressure level (in [dB]) for the different octave band frequencies.
The total sound pressure level is also shown in [dB(A)], resulting by the spectrum composition, with "A" weighted scale, according to normalised procedure.
Reference intensity = $I_0 = 10^{-12}$ [W x m⁻²].
All the sound pressure values (spectrum and total level) are calculated from the sound power levels, through the hereby relation:
 $L_p = L_w - 20 \log r - 11$
Valid in free field (with directional factor $Q=1$), whereas:
 r = distance from the unit, equal to (*):

- $r = 2$ m for small air treatment units
- $r = 3$ m for medium/large size air treatment units
- $r = 5$ m for AHU and "big centralised air handling units"

(*) Si ritiene che:

- la distanza $r=1$ m non sia rappresentativa per definire la posizione di un ipotetico punto di ascolto nelle reali configurazioni di installazione ed utilizzo dell'unità.
- la distanza $r=2$ m sia mediamente molto più realistica per le unità piccole, normalmente installate direttamente sull'ambiente da climatizzare.
- analogamente, la distanza $r=3$ m sia mediamente molto più realistica per le unità medio/grandi, che normalmente vengono installate più lontane dalla zona occupate dalle persone (in controsoffitti o comunque collegate a canalizzazioni d'aria remote).
- non sia adeguato, per le unità terminali di trattamento aria, riferire i livelli di pressione sonora a distanze superiori ai 3m. Solo per le grandi centrali trattamento aria (CTA) e le "grandi unità centralizzate" (adattate per il trattamento dell'aria di grandi ambienti), ha senso considerare distanza $r=5$ m. Infatti queste unità sono normalmente posizionate all'esterno, sopra al tetto, o comunque in locali di servizio dedicati (e non occupati da persone): la distanza $r=5$ m diventa pertanto quella più rappresentativa.

(*) It has to be considered that:

- the distance $r=1$ m is not representative to define the position of an hypothetical point of listening in the actual configuration of installation and use of the unit.
- the distance $r=2$ m is in general more realistic for small units, usually installed directly in the room to be conditioned.
- similarly, the distance $r=3$ m is in general much more realistic for medium/large units, which are usually installed far away from the areas occupied by the people (in false ceiling or in any case connected to remote air ducts).
- it is not suitable, for air treatment units, refer the sound pressure levels to distance higher than 3m. Only for big air handling unit (AHU) and "big centralised units" (used for the air treatment of very big environments), it can be convenient to consider a distance $r=5$ m. In fact these units are usually installed outdoor, on the roof, or in any case in dedicated service rooms (not occupied by the people): the distance $r=5$ m becomes quite representative.

CURVE ED INDICI DI VALUTAZIONE NR, NC, RC

3 grafici (NR – NC – RC) sui quali viene proiettato lo spettro della pressione sonora e confrontato con le relative curve di riferimento.
Il confronto fra le curve di riferimento e lo spettro di pressione (non pesato in scala "A") fornisce gli indici di valutazione sulla tollerabilità del rumore in funzione dei 2 parametri intensità e frequenza.
Lo spettro della pressione sonora utilizzato per il confronto è calcolato secondo le modalità sopra esposte, a partire dai livelli di potenza sonora: valgono quindi le stesse indicazioni circa campo libero, distanza "r", fattore di direzionalità $Q=1$.

CURVES AND NR, NC, RC INDEXES

3 diagrams (NR – NC – RC) on which is projected the sound pressure spectrum and compared with the related reference curves.
The comparison with the reference curves and the pressure spectrum (not "A" weighted scale) gives the evaluation indexes on the noise tolerability depending on the 2 parameters: frequency and intensity.
The sound pressure spectrum used for the comparison is calculated according with the here above shown modalities, starting from the sound power levels: the free field indications are still valid, distance "r", directional factor $Q=1$.

RUMORE IRRADIATO – ASPIRAZIONE – MANDATA

- Spettro della potenza sonora emessa dall'unità (mandata + aspirazione + irradiata) e potenza sonora complessiva (L_w) riferite ad unità che funziona con pressione statica $ESP=0$ Pa
- Potenze sonore in mandata (L_{wm}) ; in aspirazione (L_{wa}) ; irradiate (L_{wi}) riferite ad unità che funziona a differenti pressioni statiche "ESP".

Per il rumore irradiato – aspirazione – mandata si riportano solo i livelli di potenza sonora globali pesati in scala "A" (ed espressi in [dB(A)]), riferiti alla versione di unità e tipologia della cassa di copertura più richiesta (*).

(*) Cambiando versione, e/o cassa di copertura, esistono delle differenze, che non vengono però indicate per necessità di sintesi, chiarezza di esposizione e standardizzazione dei dati.

Per le diverse "ESP" non vengono riportati gli spettri delle potenze sonore $L_w - L_{wm} - L_{wa} - L_{wi}$, ma solo i livelli complessivi ponderati in scala "A".
In ogni caso gli spettri di $L_w - L_{wm} - L_{wa} - L_{wi}$ sono confrontabili con quello dell'unità (spettro di partenza che li genera, L_w riferito ad $ESP=0$ Pa), ed i valori spettrali saranno, senza commettere errori apprezzabili, ricavabili dallo spettro di partenza aggiungendo o sottraendo ad ogni singolo valore lo stesso "Delta" che si riscontra sul livello globale.
L'esposizione così sintetizzata è ritenuta sufficiente poiché il tecnico acustico che ne avesse necessità può comunque ricavare qualsiasi dato (pressione sonora, indici di valutazione, ecc.) a partire dai "valori assoluti" di potenza sonora esposti, utilizzando le relazioni riportate nel presente trattato tecnico.

Si noti che $L_w - L_{wm} - L_{wa} - L_{wi}$ variano al variare della pressione statica.
Infatti per maggiori "ESP", la velocità "RPM" dei ventilatori aumenta avvicinandosi sempre più alla velocità di sincronismo (vedi sezione "Prestazioni aeruliche"). Questo aumento della velocità comporta anche un incremento dei livelli sonori (i livelli sonori sono in funzione della velocità periferica delle alette del ventilatore). Si ricorda che allo stesso tempo, però, se "ESP" è alto → significa che ci sono canali lunghi → se l'impianto aerulico è ben congegnato sarà in grado di assorbire/assorbire gran parte della maggiore potenza sonora "Lw" generata dalla maggiore velocità di rotazione "RPM".

RADIATED NOISE – AIR INTAKE – AIR SUPPLY

- Sound power spectrum emitted by the unit (air supply + air intake + radiated) and total sound power (L_w) referred to the unit working at static pressure $ESP=0$ Pa
- Air supply sound power (L_{wm}) ; air intake (L_{wa}) ; radiated (L_{wi}) referred to the unit working at different static pressures "ESP"

For the radiated noise – air intake – air supply – are shown only the total sound power levels in "A" weighted scale (and expressed in [dB(A)]), referred to the version of the unit and the most requested type of casing (*).

(*) Changing the version, and/or covering box, there are some differences, which are anyway not specified for clear synthesis reasons, and in order to have clear and standardized data.

With different "ESP" the sound power spectrums $L_w - L_{wm} - L_{wa} - L_{wi}$ are not shown, but just the total levels in "A" weighted scale.
In any case the spectrums $L_w - L_{wm} - L_{wa} - L_{wi}$ are comparable with the ones of the unit (starting spectrum which generate them, L_w referred to $ESP=0$ Pa), and the spectrum data can be calculated, with negligible error, from the starting spectrum adding or subtracting in each value, the same "delta" of the total level.
A so synthesized exposition is largely sufficient, as the acoustic specialist who needs it, can anyway calculate all the wished data (sound pressure, estimation indexes, etc...) starting from the shown sound power "absolute values", using the relations in the hereby technical treatise.

To be noticed that $L_w - L_{wm} - L_{wa} - L_{wi}$ change with the static pressure.
In fact with higher "ESP", the "RPM" speed of the fans is increased close to the synchronism speed (see "Aerulic performances" section). This increase of the speed also means an increase of the sound levels (the sound levels depend on the peripheral speed of the fan's fins). We like to remind that in the same time, if "ESP" is quite high → it means that there are long ducts → in case the aerulic system is well designed it will be bale to reduce/attenuate a big part of the sound power "Lw" produced by the higher rotation speed.

CONCLUSIONI

I valori dei livelli sonori rappresentati come indicato sono ritenuti quelli più appropriati perché univoci ed inequivocabili, in accordo alle normative di riferimento, a garanzia della trasparenza delle informazioni verso il cliente e verso l'utente.

Qualsiasi altra modalità di rappresentazione dei dati (pressione sonora in una camera di prova "più o meno" grande e "più o meno" riverberante/assorbente) fornirebbe valori diversi a seconda delle caratteristiche della camera di prova. Valori quindi che si presterebbero a mal interpretazioni.

I valori di rumorosità da noi dichiarati (potenza sonora "Lw", pressione sonora "Lp", indici "NR", "NC", "RC") devono essere considerati come valori di riferimento, in accordo alle normative, e sicuramente non saranno mai uguali a quelli che si rileveranno dopo aver installato l'unità all'interno di un locale chiuso.

In particolare noi dichiariamo:

- Lw (potenza sonora)
- Lp (pressione sonora in campo libero)

Tali valori numerici possono essere considerati come "valori assoluti", "valori di riferimento", "valori limite ideali" definibili come:

- Limite massimo (potenza sonora "Lw")
- Limite minimo (pressione sonora "Lp", ed indici "NR", "NC", "RC" in campo libero, alla distanza "r" specificata).

Nelle effettive condizioni di funzionamento, il livello di pressione sonora che si percepisce nel punto di ascolto (valore che può essere rilevato anche con un semplice fonometro portatile) sarà compreso fra questi 2 limiti.

In particolare, come limiti estremi, può essere misurato un valore:

- Molto vicino alla potenza sonora "Lw" se l'ambiente in cui è installata l'unità (ed in cui viene effettuato il rilievo fonometrico) è completamente riverberante
- Molto vicino alla pressione sonora "Lp" se l'ambiente in cui è installata l'unità (ed in cui viene effettuato il rilievo fonometrico) è completamente assorbente, quindi assimilabile a campo libero.

L'effettivo livello di pressione sonora (unico parametro percettibile dall'orecchio umano) con unità installata nel locale, può essere predeterminato con le relazioni dell'acustica riportate nel presente trattato tecnico, utilizzando:

- i livelli di potenza sonora "Lw" (da noi dichiarati)
- le caratteristiche dell'ambiente in cui è installata l'unità (i coeff. di assorbimento, tempi di riverberazione, fattore di direzionalità, ecc. ; che devono essere determinati/stabiliti dal tecnico acustico)
- la distanza "r" dall'unità

I calcoli devono essere eseguiti per ogni singolo valore dello spettro sonoro (per ogni frequenza) e solo alla fine composti nel livello di pressione sonora complessiva in [dB(A)].

Non sempre però i calcoli risultano agevoli, anche perché spesso il tecnico acustico non è in possesso di valori sufficienti per poter quantificare le caratteristiche acustiche del locale in esame.

Pertanto molto spesso l'effettivo livello di rumorosità viene misurato solo a posteriori, tramite fonometro, con unità già installata.

Il rilievo strumentale è sicuramente il sistema più sicuro ed affidabile per ottenere l'effettivo valore di pressione sonora, ma purtroppo non è di alcuna utilità per condurre una progettazione preventiva che fornisca dati previsionali allineati con quelli che si andranno poi a rilevare.

CONCLUSIONS

The sound levels represented in this way are the most appropriate ones as these are univocal and unequivocal, according with the reference norms, guaranteeing transparency in the information toward the client and the end user.

Any other way to represent the data (sound pressure in a "more or less" reverberating/absorbing or in a "larger or smaller" test room) give different values according to characteristics of the test room. These values could produce some wrong interpretations.

The declared sound levels (sound power "Lw", sound pressure "Lp", the indexes "NR", "NC", "RC") must be considered as reference data, in accordance to the norms, and they will certainly never be equal to the ones measured with the unit already installed inside a closed room.

In detail we declare:

- Lw (sound power)
- Lp (sound pressure in free field)

The hereby values can be considered as "absolute values", "reference values", "limit values" which can be defined as follows:

- Max limit (sound power "Lw")
- Min limit (sound pressure "Lp", and indexes "NR", "NC", "RC" in free field, to the specified distance "r").

In the actual working conditions, the sound pressure levels perceived in the reception point (value which can be measured even with a simple portable phonometer) will be within the hereby limits.

In detail, as extreme limits, it can be measured a value:

- Very close to the sound power "Lw" in case the room where the unit is installed (and in which is made the measurement) is totally reverberating
- Very close to the sound pressure "Lp" in case the room where the unit is installed (and in which is made the measurement) is totally absorbing, then similar to the free field.

The actual sound pressure level (only perceptible parameter by the human ear) with unit installed in the room, can be calculated with the acoustic relations of the present technical treatise, using:

- the sound power levels "Lw" (declared by us)
- the characteristics of the room where the unit is installed (the absorption coefficients, the reverberation times, the directional factor, etc... ; which must be determined by the acoustic specialist)
- the distance "r" from the unit

The calculations must be done per each value of the sound spectrum (per each frequency) and just at the end composed as total sound pressure in [dB(A)].

Calculations are not always easy, even because the acoustic specialist does not have enough information to measure the acoustic characteristics of the investigated room.

Therefore the actual noise level is measured only afterward, with a phonometer, with unit already installed.

The instrumental measurement is certainly the safer and more reliable system to have the actual value of the sound pressure, but it is unfortunately totally useless to make a prior estimation design able to provide provisional data aligned with the measured ones.