

Convegno Nazionale sulla tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro
Quartiere Fieristico di Bologna
Mercoledì 17 ottobre 2018

Metodologia di monitoraggio e valutazione degli infrasuoni ed ultrasuoni: prime applicazioni presso siti industriali Eni

*Fabio Lo Castro, Ph.D.**
fabio.locastro@cnr.it

*Sergio Iarossi **

*Massimiliano De Luca**

*Carlo Biancifiori***

**CNR-INM Sez. di Acustica e Sensoristica O.M. Corbino – Roma*

***Eni S.p.A. - Unità Radiation Protection & Physical Risk, San Donato Milanese, Milano*

Sommario

- DLGS. 81/2008 - T. U. SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO
- INDIVIDUAZIONE DEI FATTORI DI RISCHIO PER GLI INFRASUONI ED ULTRASUONI
- METODOLOGIE DI MISURA
- VALUTAZIONE DEL RISCHIO

DLGS 81/2008 - TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO

TITOLO VIII - AGENTI FISICI

CAPO I - DISPOSIZIONI GENERALI

Articolo 180 - Definizioni e campo di applicazione

1. Ai fini del presente decreto legislativo per *agenti fisici* si intendono il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche, di origine artificiale, il microclima e le atmosfere iperbariche che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.
2. Fermo restando quanto previsto dal [presente capo](#), per le attività comportanti esposizione a rumore si applica il [capo II](#), per quelle comportanti esposizione a vibrazioni si applica il [capo III](#), per quelle comportanti esposizione a campi elettromagnetici si applica il [capo IV](#), per quelle comportanti esposizione a radiazioni ottiche artificiali si applica il [capo V](#).
3. La protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230⁽²⁾, e sue successive modificazioni.

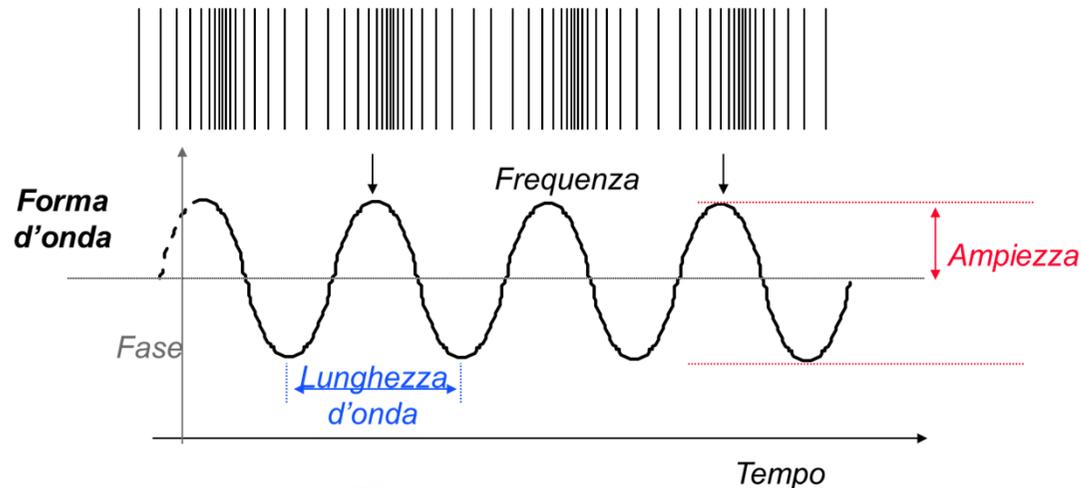
[Note all'Art. 180](#)

Articolo 181 - Valutazione dei rischi

1. Nell'ambito della valutazione di cui all'[articolo 28](#), il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi.
2. La valutazione dei rischi derivanti da esposizioni ad agenti fisici è programmata ed effettuata, con cadenza almeno quadriennale, da personale qualificato nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione in possesso di specifiche conoscenze in materia. La valutazione dei rischi è aggiornata ogni qual volta si verificano mutamenti che potrebbero renderla obsoleta, ovvero, quando i risultati della sorveglianza sanitaria rendano necessaria la sua revisione. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo dei livelli di esposizione costituiscono parte integrante del documento di valutazione del rischio.

INFRASUONI ed ULTRASUONI in Aria

Rappresentazione di un onda piana longitudinale in cui sono visibile le compressioni e rarefazioni dell'aria dovute alla perturbazione dell'onda.



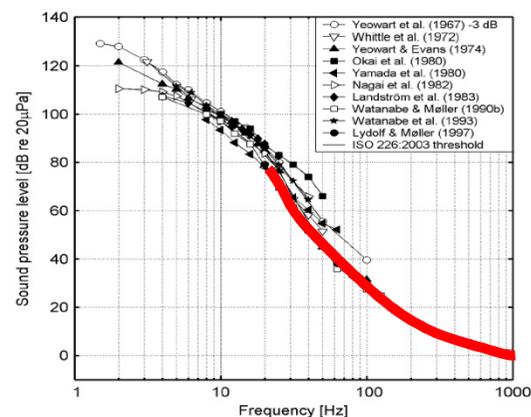
Lunghezze d'onda del suono in aria al variare della frequenza

	Infrasuoni			Suoni			Ultrasuoni	
Frequenza [Hz]	1	10	20	100	1000	10.000	20.000	100.000
Lunghezza d'onda	340 m	34 m	17 m	3.4 m	0.34 m	34 mm	17 mm	3.4 mm

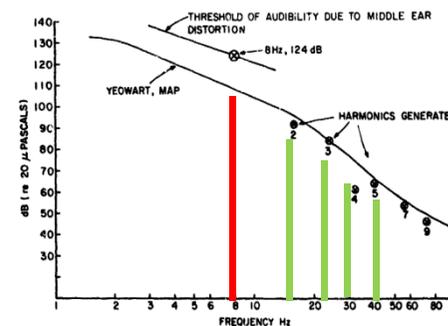
Udibilità degli infrasuoni ed ultrasuoni

gli infrasuoni sono udibili per:

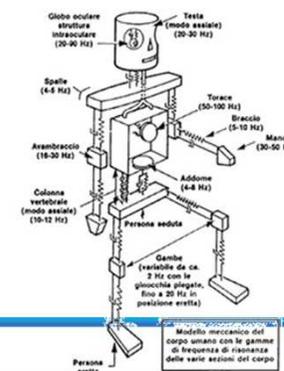
- Il superamento della soglia di udibilità
- La distorsione del segnale da parte del sistema uditivo
- E percepibili a causa delle vibrazioni di parti del corpo risonanti come l'addome



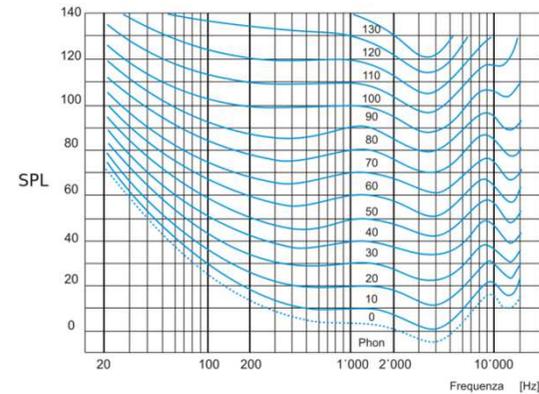
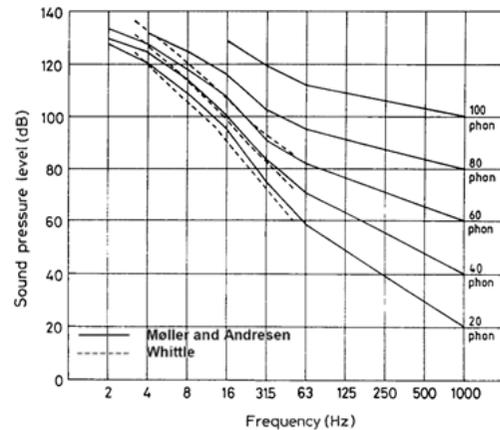
[Moller 2004]



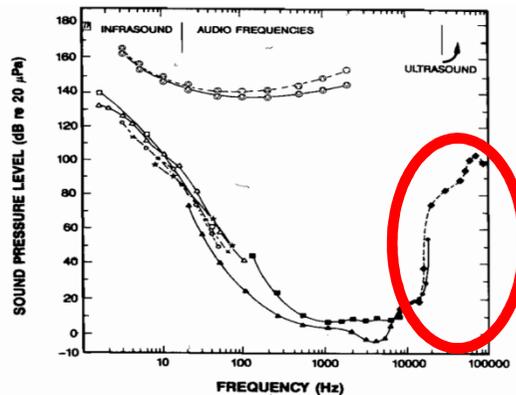
[Johnson 1980]



INFRASUONI: Soglia del dolore



ULTRASUONI udibili per alti livelli e per conduzione ossea



Valori riportati da
Corso 1963 sottratti 60 dB

Beranek 2006 ; Corso 1963 – studi sulla conduzione ossea.

EFFETTI SULLA SALUTE

Disturbi uditivi ed extra-uditivi

Frekuensi Hz	Livello dB	Sintomo	Riferimento
1÷8	>166	Problemi respiratori, necessità uso di maschera respiratoria	[Johnson 1980]
<20	>150	rottura del timpano e danni all'orecchio medio	[Johnson 1980]
<20	>140	Innalzamento della soglia uditiva a partire da 125 Hz	[French 1966] [Johnson 1975]
4÷20	140	Innalzamento della soglia uditiva di 10 dB intorno ai 1000Hz	[Nixon 1973]
4÷20	>132	Vibrazione dei polmoni ed dell'addome;	[Johnson 1980]
<20	>130	Disturbi alla comunicazione dovute alla modulazione della voce	[Johnson 1980]
<20	125÷130	Dolore all'orecchio, sensazione di pressione all'interno dell'orecchio	[Landstrom 2000] [Johnson 1974]

Uditivi

Extra uditivi

ULTRASUONI EFFETTI SULLA SALUTE

I sintomi uditivi, le indicazioni che appaiono in letteratura non sono univoche. Secondo alcuni ricercatori non c'è evidenza che gli ultrasuoni costituiscano un rischio per l'udito. Secondo la maggior parte degli studiosi, invece, gli ultrasuoni determinano deficit alle alte frequenze udibili. Tali deficit sono dovuti alle sub-armoniche generate dal timpano quando stimolato con livelli di pressione sonora elevati [Dallos 1966]

EFFETTI UDITIVI ED EXTRA UDITIVI PRESENTI IN LETTERATURA

Parti esposte	Effetti	Frequenza [kHz]	Durata stimolo	Livello [dB]
Pelle	Lieve surriscaldamento	>20	-	140
Pelle	Bruciature	-	istantaneo	165
Testa	Mal di testa	20-40	8 ore	90
Sistema cardiovascolare e nervoso	Palpitazioni, frequenza cardiaca, pressione	21	-	110
Udito	Spostamento temporaneo della soglia uditiva	17 ÷ 37	5 minuti	148 ÷ 154
Intero corpo	Nessun effetto riscontrato	20.6	1 ora	100

Specie	Effetti	Frequenza [kHz]	Livello/tempo	riferimento
Uomo	Morte	20-30	180 dB / 50 minuti (stimato)	[ACTON 74]
Topo	Morte	30	150-160 dB	[Eldredge 1949]
Coniglio	Morte	22.5 - 25	165 dB / pochi minuti	[Romani 1957]

STATI CON LEGISLAZIONE IN MATERIA DI INFRASUONI ED ULTRASUONI IN ARIA



Canada, Germania, Polonia, Danimarca, Svezia, Russia, Giappone, Queensland (Australia)

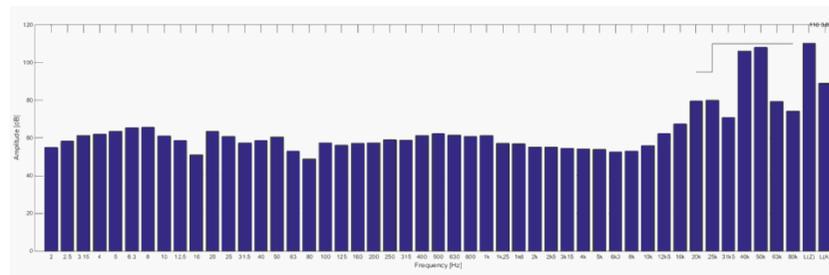
INDICATORI di Valutazione del rischio

Tre sono gli indicatori principali:

1) Il livello equivalente di pressione sonora pesato

$L_{eq}=92.1 \text{ dB(X)}$

2) Lo spettro del Livello di pressione non pesato

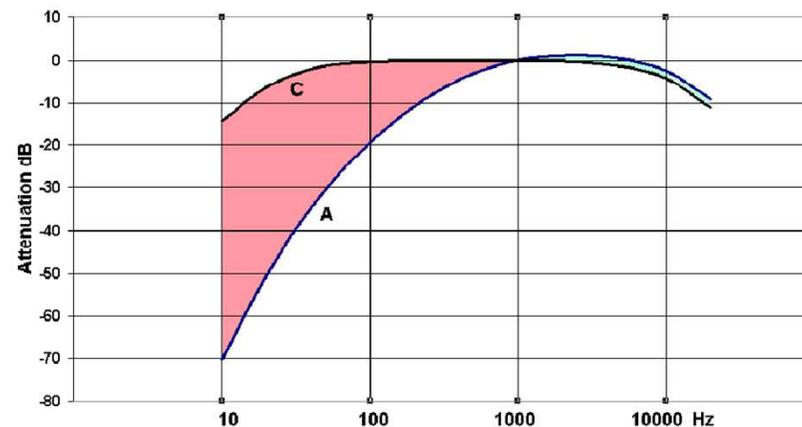


3) Il livello di picco della pressione sonora

$L_{peak}=121.7 \text{ dB(X)}$

CRITERI DI VALUTAZIONE PER GLI INFRASUONI:

CRITERIO $L_C - L_A$



Secondo l'ente svedese per l'ambiente, differenze dell'ordine dei 15-20 dB, sono indice della presenza delle basse frequenze. Valori al di sopra dei 25 dB possono indurre fastidi (annoyance), come in presenza di sistemi HVAC.

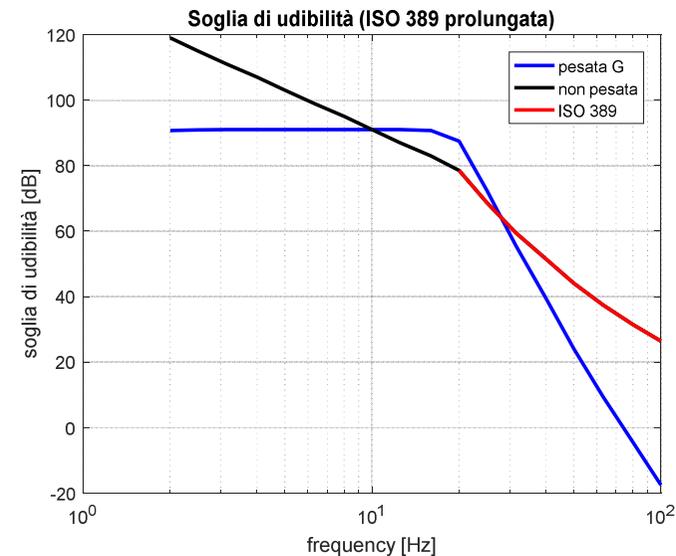
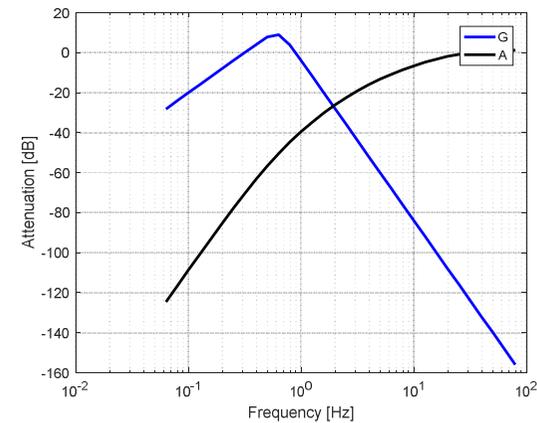
Valori leggermente diversi sono dati dalla normativa tedesca, secondo la quale quando la differenza $L_{p,C} - L_{p,A}$ è maggiore di 20 dB è possibile ipotizzare una loro presenza. Restano comunque necessari ulteriori accertamenti, come la valutazione dei livelli spettrali per ogni singola banda di terzi di ottava

CRITERI DI VALUTAZIONE PER GLI INFRASUONI:

CRITERIO: CURVA di ponderazione G

L'introduzione della curva di pesatura G [ISO 7196] da parte dell' International Organization for Standardization (ISO) è stata dettata dalla necessità di supplire alla inefficacia della curva di pesatura A per la valutazione del rumore con forti componenti spettrali a bassa frequenza [WHO 1999].

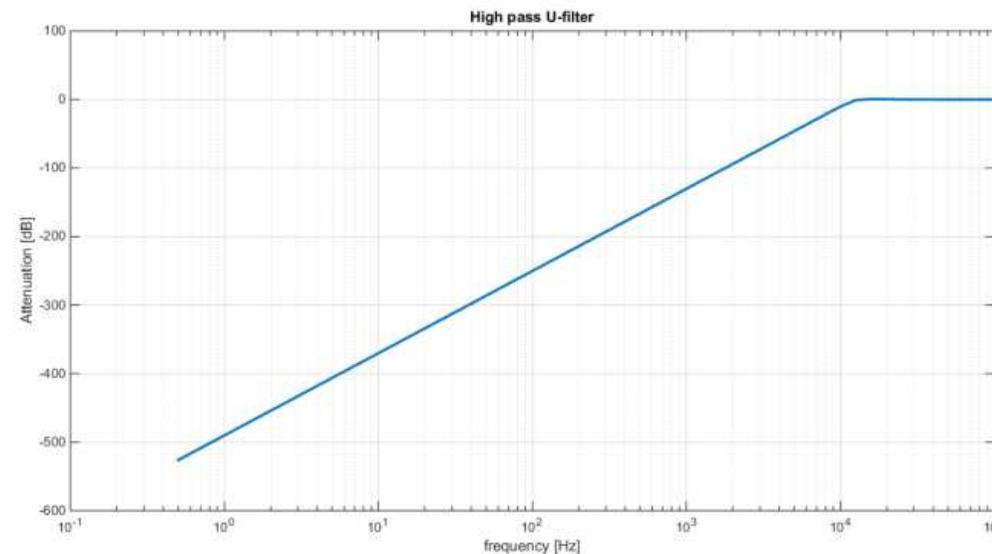
La curva G ha una pendenza di 12 dB per ottava da 2 Hz a 20 Hz



CRITERI DI VALUTAZIONE PER GLI ULTRASUONI

CRITERIO: CURVA di ponderazione V

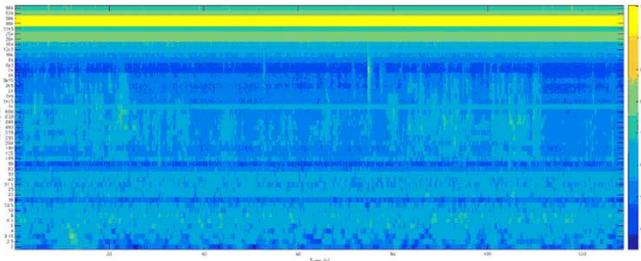
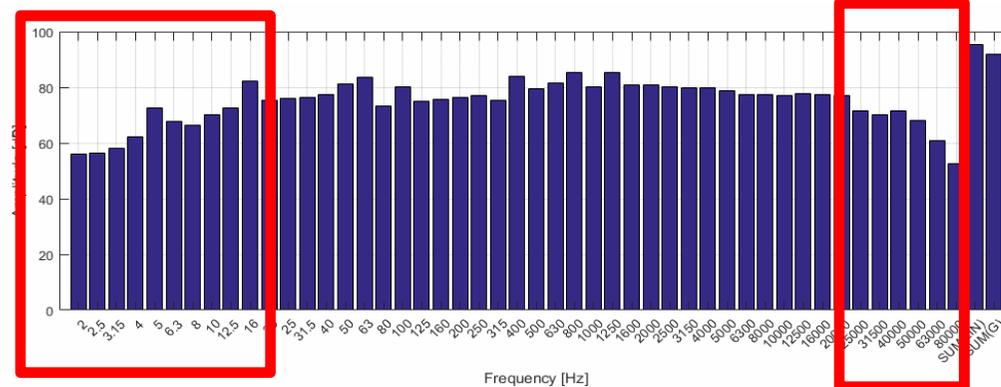
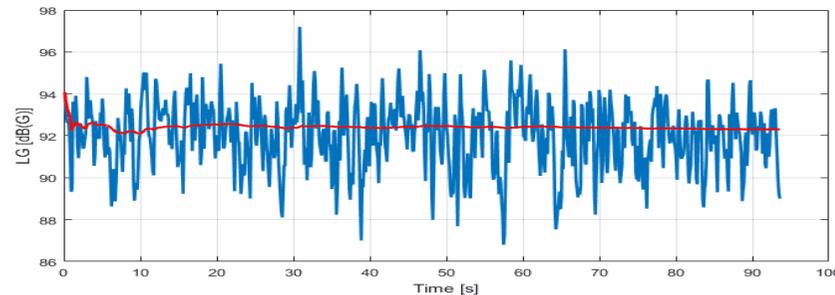
Filtro V da noi definito per evidenziare la parte ultrasonica
frequenze da 20 kHz a 100 kHz



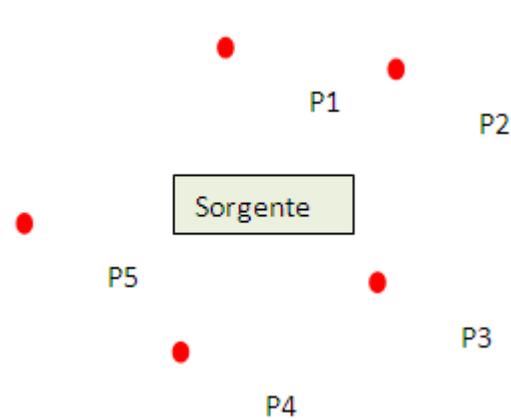
METODOLOGIA: SORGENTI

SORGENTI INFRASUONI: movimenti di masse d'aria, trasformatori, motori a scoppio, compressori, sistemi di ventilazione e riscaldamento, piani vibranti, apparati rotativi che creano vorticosità in aria ad esempio, eliche, generatori eoliche, turbine .

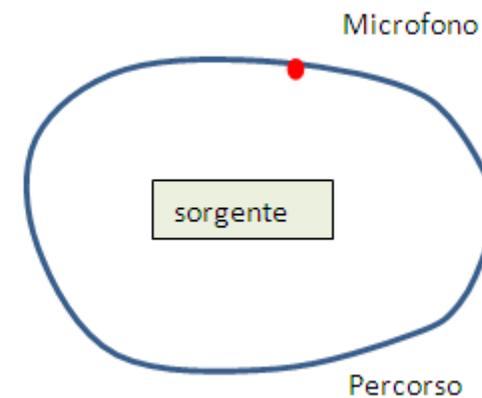
SORGENTI ULTRASUONI: Vasche pulitrici, saldatrici, seghe, motori, pompe, compressori, iniettori, ingranaggi, quadri meccanici/elettrici, trasformatori, isolatori, turbine, cuscinetti, caldaie, condensatori, valvole,



Metodologia: RICETTORI



Valori singoli o mediati spazialmente, valutati tramite misure in differenti punti fissi P1...P5



Valore unico tramite media spaziale valutata tramite un microfono in movimento lungo un percorso prestabilito che segue il lavoratore

VALUTAZIONE RISCHIO INFRASUONI: Proposta CNR - ENI

Tale proposta considera i livelli più bassi a livello internazionale, abbassandoli ulteriormente a titolo precauzionale

Livelli massimi ammissibili alle frequenze infrasoniche 2Hz ÷ 20Hz per varie tipologie di ambienti.

Ambienti	Livelli globali massimi consentiti $L_{G_{eq}}$ [dB(G)]	Tempi di permanenza [ore]
Zone residenziali in aperto	85	24
Interno abitazioni in zone residenziali ed uffici	85	24
Locali in zone produttive non adibiti ad attività industriali	90	8

Nota: i valori indicati comprendono il contributo dovuto all'incertezza

Livelli massimi di esposizione (8 ore) per i lavoratori alle frequenze infrasoniche 2Hz ÷ 20Hz

Livello di esp. (8 ore) [dB(G)]	Azioni
$L_{EX,8h} < 90$	Nessuna azione
$90 \leq L_{EX,8h} \leq 99$	Si suggerisce di effettuare azioni integrative. Attuare misure idonee che assicurino il mantenimento dei livelli entro i limiti riportati a fianco, ad esempio monitoraggio periodico delle sorgenti, valutare modifica degli scenari espositivi.
$L_{EX,8h} > 99$	Intraprendere provvedimenti atti a ridurre i livelli di esposizione giornalieri affinché rientrino nei valori accettabili, come la riduzione dei tempi di permanenza

Nota: In aggiunta alle condizioni riportate sopra si rende necessario rispettare un livello di picco (L_{picco}) inferiore a 135 dB(Lin) in caso contrario sarà necessario intraprendere provvedimenti atti a ridurre il livello di picco.

VALUTAZIONE RISCHIO ULTRASUONI: Proposta CNR - ENI

Tab. 1 – Livelli massimi di esposizione (8h) proposti ed utilizzati per gli ultrasuoni

Frequenza	20	25	31.5	40	50	63	80	100	kHz
Livello LpV	95	110	110	110	110	110	110	110	dB(Lin)
L_{picco}	< 137								dB(Lin)

Nota: i valori indicati comprendono il contributo dovuto all'incertezza

Tab. 2 – Livelli al disotto dei quali non è richiesta alcuna nessuna azione.

Frequenza	20	25	31.5	40	50	63	80	100	kHz
Livello LpV	90	105	105	105	105	105	105	105	dB(Lin)
L_{picco}	< 137								dB(Lin)

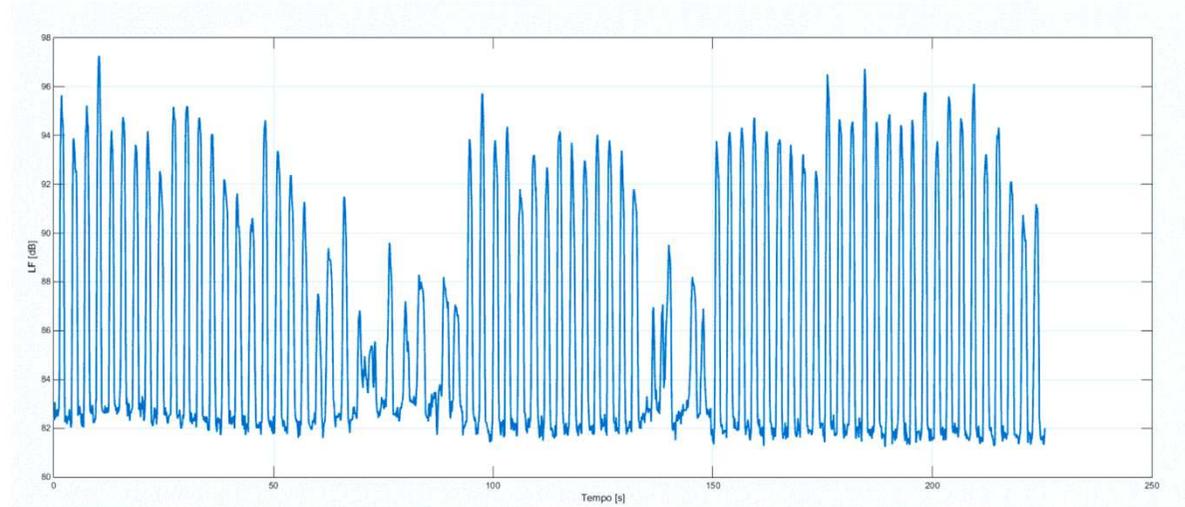
Nota: i valori indicati comprendono il contributo dovuto all'incertezza

Tab. 3 – Livelli massimi di esposizione (8h) per i lavoratori alle freq. ultrasoniche 20kHz ÷ 100 kHz

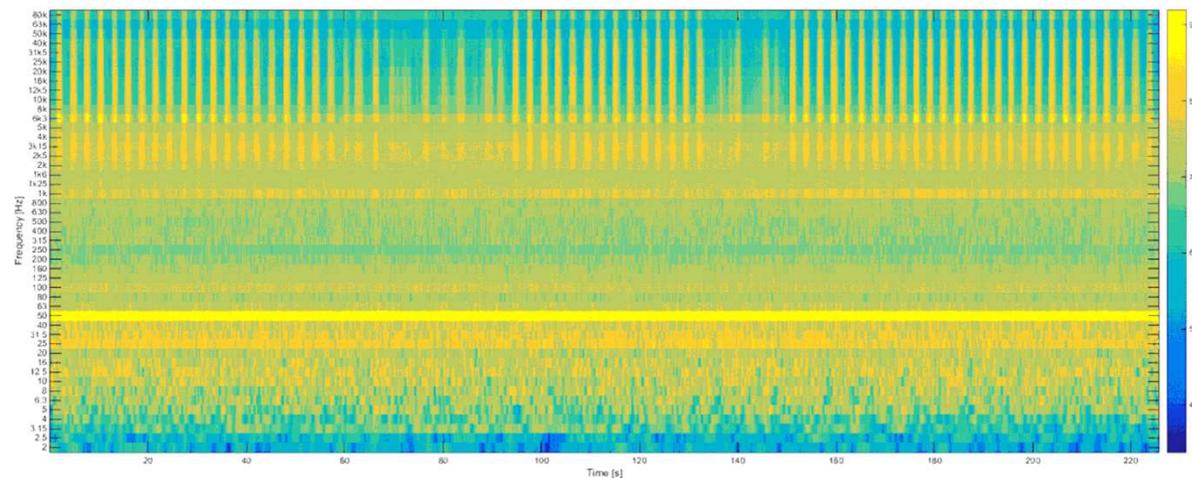
Livello di esp. 8 h [dB(V)]	Azioni
$L_{EX,8h} < \text{livelli Tab.2}$	Nessuna azione
$\text{livelli Tab.2} \leq L_{EX,8h} \leq \text{livelli Tab. 1}$	Si suggerisce di effettuare azioni integrative. Attuare misure idonee che assicurino il mantenimento dei livelli entro i limiti riportati a fianco, ad esempio monitoraggio periodico delle sorgenti, valutare modifica degli scenari espositivi.
$L_{EX,8h} > \text{livelli Tab 1}$	Livello di esposizione non accettabile. Intraprendere provvedimenti atti a ridurre i livelli di esposizione giornalieri affinché rientrino nei valori accettabili, come ridurre i tempi di permanenza o uso di schermature della sorgente.

Nota: In aggiunta alle condizioni riportate sopra si rende necessario rispettare un livello di picco (L_{picco}) inferiore a 137 dB(Lin) in caso contrario sarà necessario intraprendere provvedimenti atti a ridurre il livello di picco.

ESEMPI DI VALUTAZIONE: Valvola di sfiato



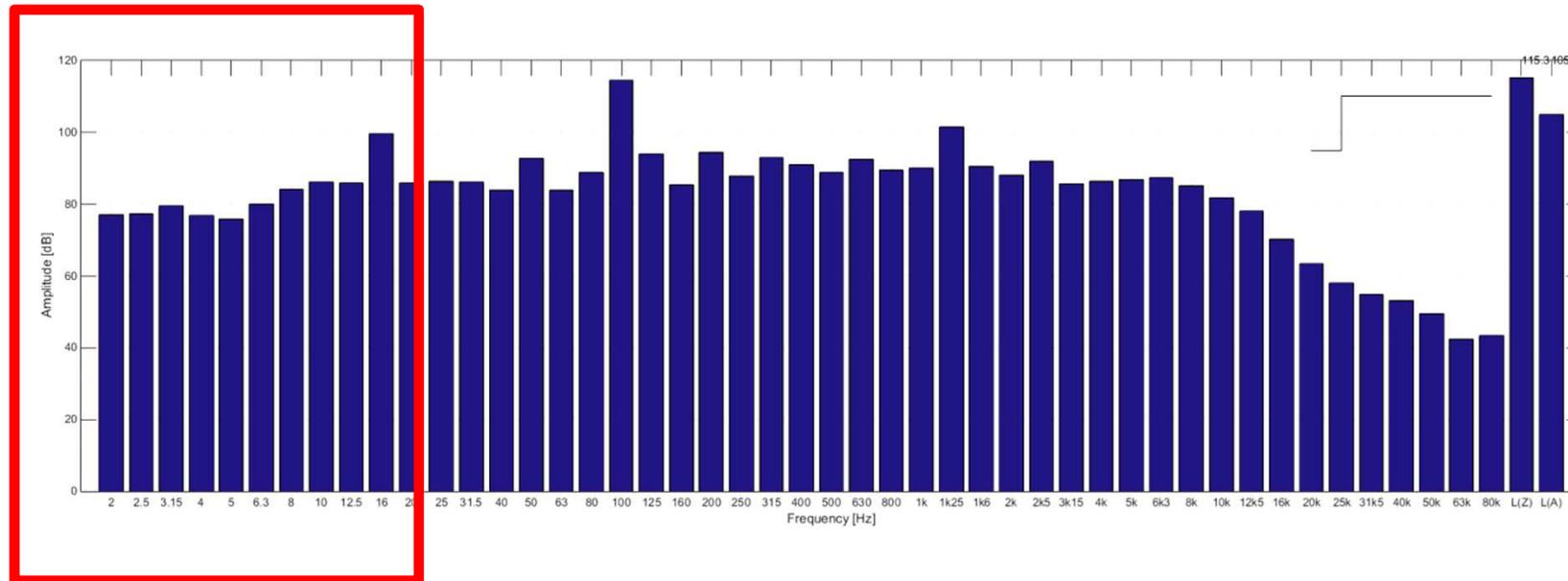
Infrasuni
 $Leq(G)=91.8 \text{ db(G)}$ ed
ultrasuoni
 $67.3 < LeqV(f) < 76.4 \text{ dB}$



ESEMPI DI VALUTAZIONE: Alternatore



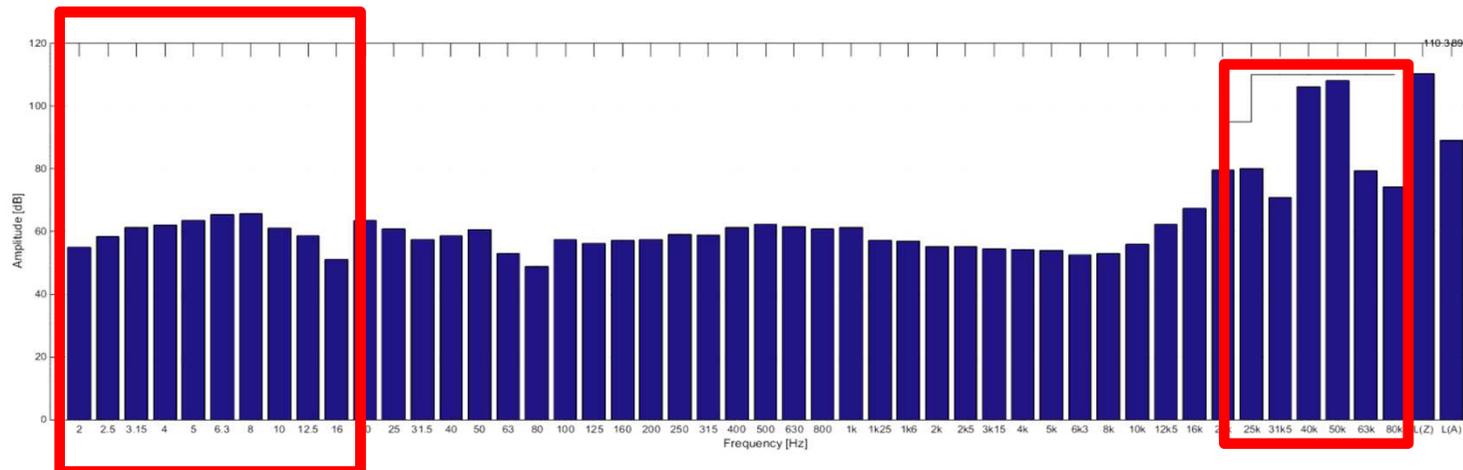
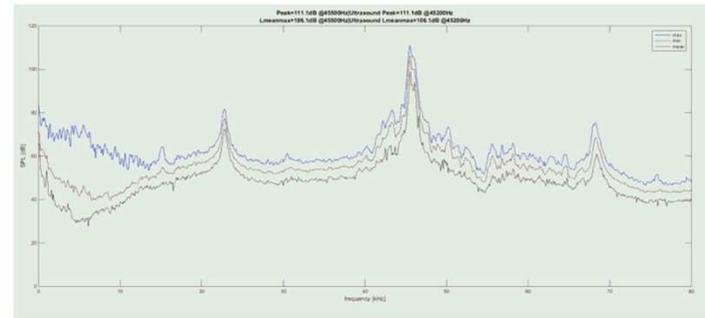
All'interno del cabinato che contiene l'alternatore sono presenti livelli di ultrasuoni $Leq(G) = 110.8$ dBG.



ESEMPI DI VALUTAZIONE: Vasca ultrasonica



Portante $f=45\text{kHz}$ $Leq(50\text{kHz}) = 110.9 \text{ dB}$, valore al di sopra della soglia consentita. L'uso della vasca all'interno di una cappa aspirante, con vetro di protezione, riduce i valori al ricevitore a $Leq(50\text{kHz}) < 88.6 \text{ dB}$ al di sotto dei valori di attenzione.



Conclusioni

- Il dlgs 81/2008 non specifica come misurare i livelli di infrasuoni e ultrasuoni e valutarne il rischio.
- A livello internazionale vi sono alcuni esempi in diverse nazioni, ma non vi è assoluta convergenza tra di essi.
- In assenza di legislazione italiana il CNR-INM e l'ENI hanno adottato e proposto un metodo per la loro misura e valutazione, basato su esempi internazionali e scegliendo i criteri più stringenti per la protezione del lavoratore.
- Si è creata una sinergia tra CNR-INAIL-ASL SIENA,ISS per lo studio delle metodiche più idonee per la valutazione del rischio infrasuoni ed ultrasuoni

GRAZIE
DELL'
ATTENZIONE