



INAIL

**Seminario
Rischio ULTRASUONI
Aggiornamenti e strumenti operativi**

Metodiche e strumentazione per la misura degli Ultrasuoni

Ing. Raffaele Maricone

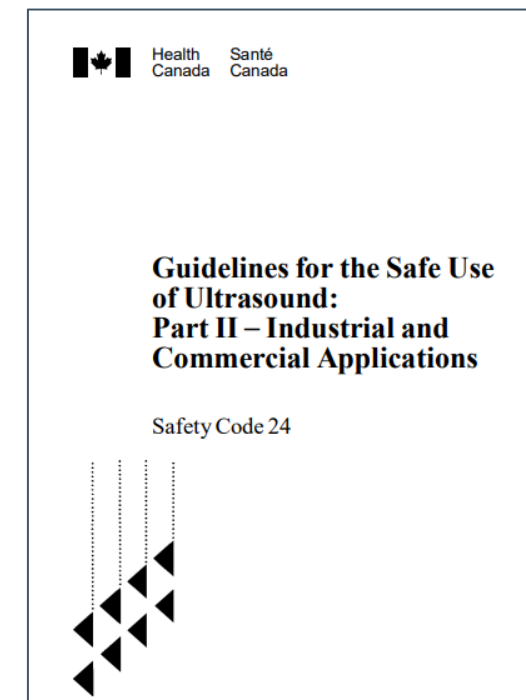
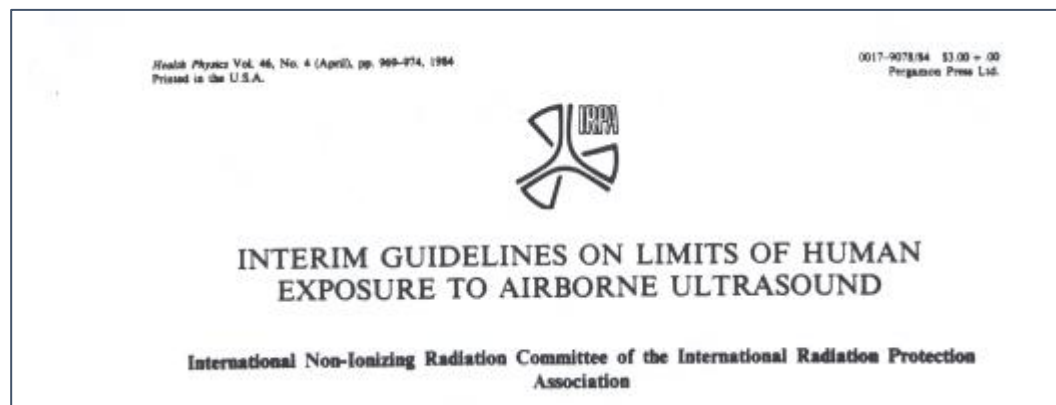
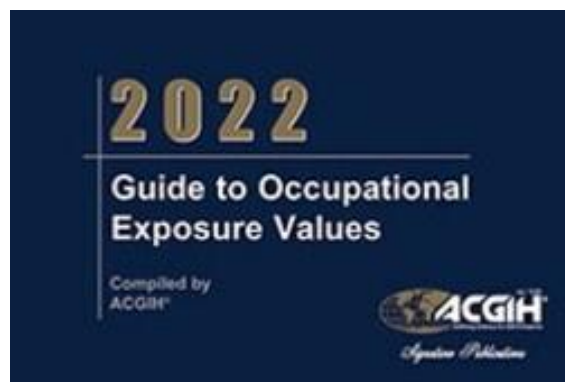
**Laboratorio VI – Valutazione dei rischi e degli strumenti per la
tutela del lavoratore**

3 aprile 2025

La valutazione del rischio

Gli ultrasuoni rientrano nel campo di applicazione del Titolo VIII del D. Lgs.81/08 in quanto elencati tra gli agenti fisici nel Capo I (Articolo 180) ma, a differenza dei campi elettromagnetici, del rumore, delle vibrazioni e delle radiazioni ottiche artificiali, non possiedono un capo specifico che indichi una metodica di valutazione e le conseguenti misure di prevenzione e protezione da applicare in ambiente di lavoro. Pertanto, si fa riferimento a quanto indicato al comma 1 dell'Articolo 181 - Valutazione dei rischi, in cui è riportato che *“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”*.

Per la valutazione del rischio ci si può quindi riferire a norme tecniche, raccomandazioni di Organismi Protezionistici, di Enti e Associazioni a livello nazionale e internazionale.



La normativa di riferimento a livello internazionale

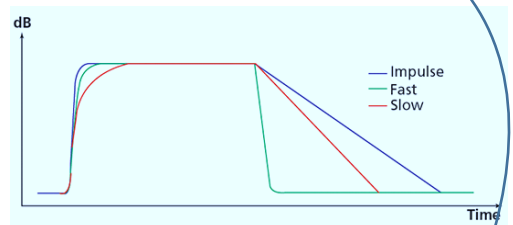
Criterio/ Organizzazione/ Nazione e anno	Massimi livelli ammissibili in bande di terzi di ottava (kHz)													
	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125
Giappone, 1971	90	90	90	90	90	110	110	110	110	110				
URSS, 1989					80	80 (90)	100	105	110	110	110	110	110	
Acton, 1975				75	75	75	110	110						
ACGIH, 2001			80	80	80	105	110	115	115	115				
ACGIH, 2021 (c)			105	105	105	105	110	115	115	115	115	115	115	
ACGIH, 2021			88	89	92	94								
Inghilterra, 1977				75						110				
Norvegia, 1978								120			120			120
Bulgaria, 1979				75	85	110	110	110	110	110	110	110	110	
Canada, 1980	80	80	80	80	80	80	110	110	110	110	110	110		
Canada, 1991					75	75	110	110	110	110				
Australia, 1981			75	75	75	75	110	110	110	110				
IRPA, 1981		80	80	80	80	80	110	110	110	110	110	110	110	
IRPA, 1984						75	110	110	110	110	110	110	110	
IRPA, 1984, (pop.)						70	100	100	100	100	100	100	100	
Svezia, 1992						105	115	115	115	115	115	115	115	115
Polonia, 2018			80	80	80	90	105	110	110					

La normativa di riferimento a livello internazionale

- ❑ Giappone: Circular of the Japanese Ministry of Labour, 1971.
- ❑ URSS: Standard GOST-12.1.001-89 The ultrasound. General safety requirements
- ❑ Acton W.I., Exposure criteria for industrial ultrasound. Ann. Occup. Hyg., 1975, 18, 267–268.
- ❑ USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) 2001
- ❑ USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) 2021
- ❑ Inghilterra: Sanitary regulations 1977
- ❑ Norvegia: Recommendations Utkast til Forskrifter om Stoj pa Arbeidsplassen, 1978 (assessment in octave bands)
- ❑ Bulgaria: Standard BDS-12.1.00.1-79
- ❑ Canada: Ordinance of the Minister of Health and Social Issues 1980
- ❑ Canada: Safety Code 24, Health Canada 1991
- ❑ Australia: Standard AS2243-1981
- ❑ IRPA: Preliminary recommendations of the International Radiation Protection Association, 1981
- ❑ IRPA: Preliminary recommendations of the International Radiation Protection Association, 1984
- ❑ Svezia: Recommendations of the National Labour and Health Protection Bureau in Sweden (AFS 992:10), 1992
- ❑ Polonia: Recommendation of the Minister of Family, Labour, and Social Policy of 12 June 2018 on maximum admissible concentration and intensities of agents hazardous to health in the work environment

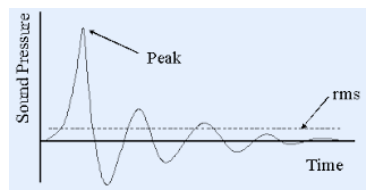
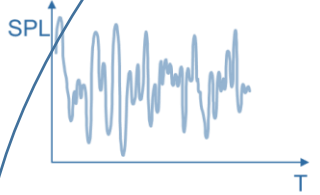
I possibili descrittori

Noise Metrics [dB]



Max values

$$L_{f\tau}(t) = 10 \log \left[\frac{(1/\tau) \int_{-\infty}^t P_f^2(\xi) e^{-(t-\xi)/\tau} d\xi}{P_0^2} \right] dB$$

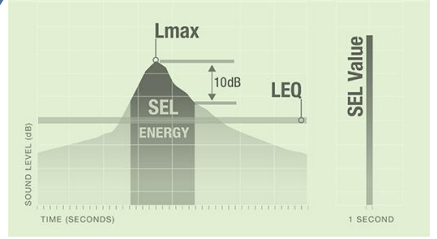


$$L_p = 10 \log \left(\frac{p_{rms}}{P_0} \right)^2$$

$P_0 = 20 \mu Pa$

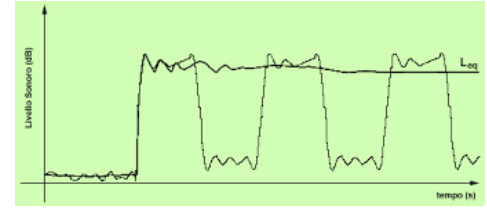
$$L_{peak} = 20 \log \left[\frac{P_{peak}}{P_0} \right]$$

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$



$$SEL = Leq + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

$T_0 = 1s$



$$Leq = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

$$L_{EX,W} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^m 10^{0,1 (L_{EX,8h})_k} \right]$$

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n T_i 10^{0,1 L_i} \right]$$

SPL
(continuous or frequency sampling dependent)

L_{peak}
(20-40 μs)

L_t
(t: l=35, f=125, S=1000 ms)

SEL
(1s)

Short Leq
(10ms-10s)

Leq,5m

Leq,T

L_{EX,8h}

L_{EX,W}

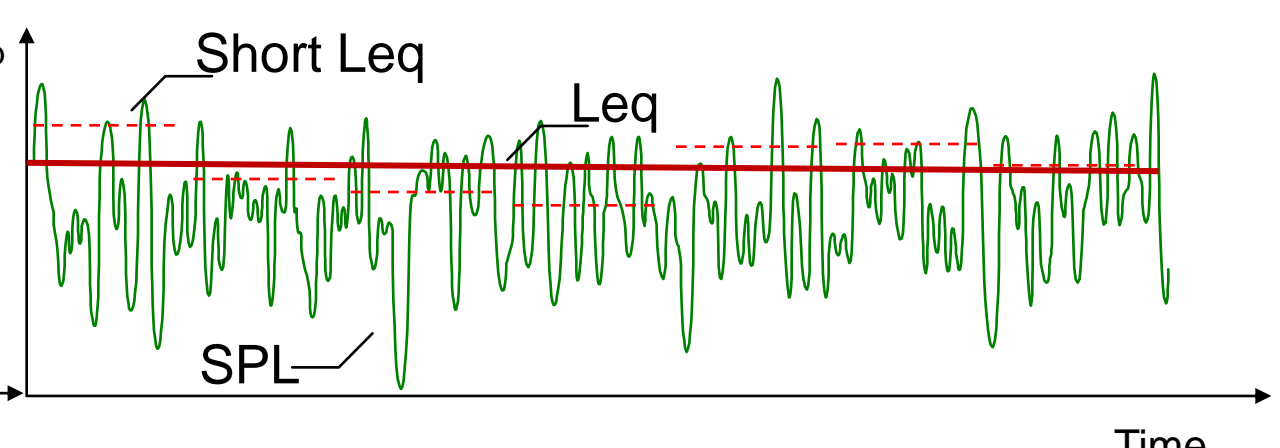
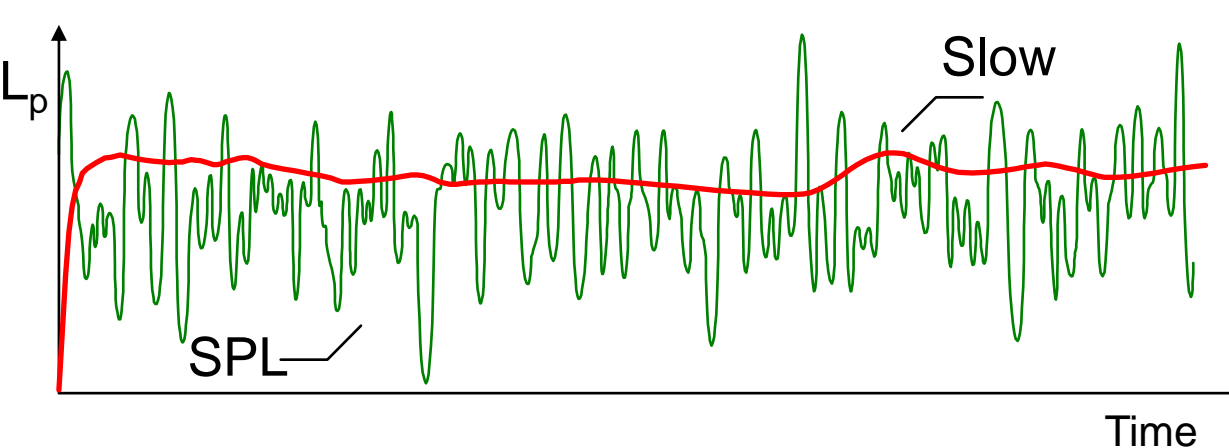
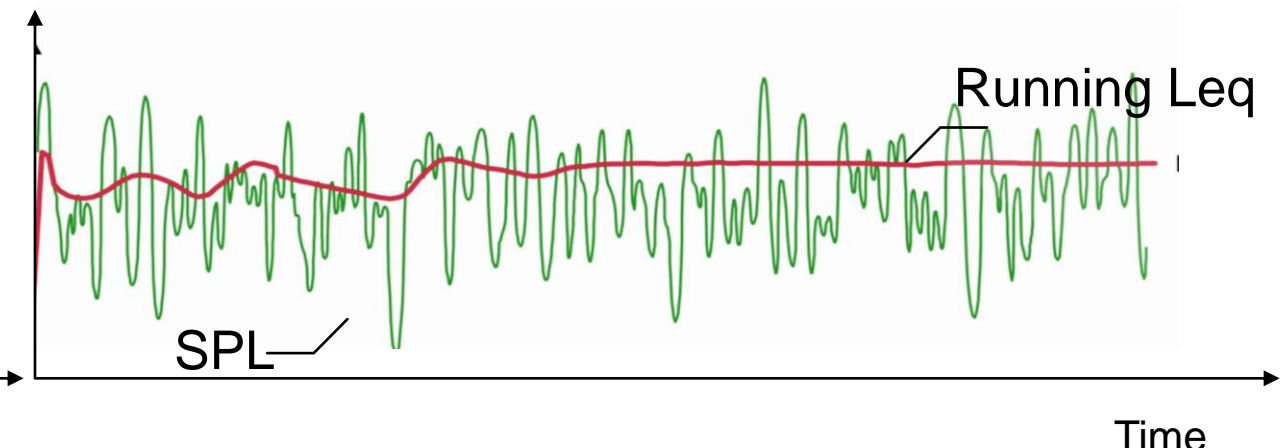
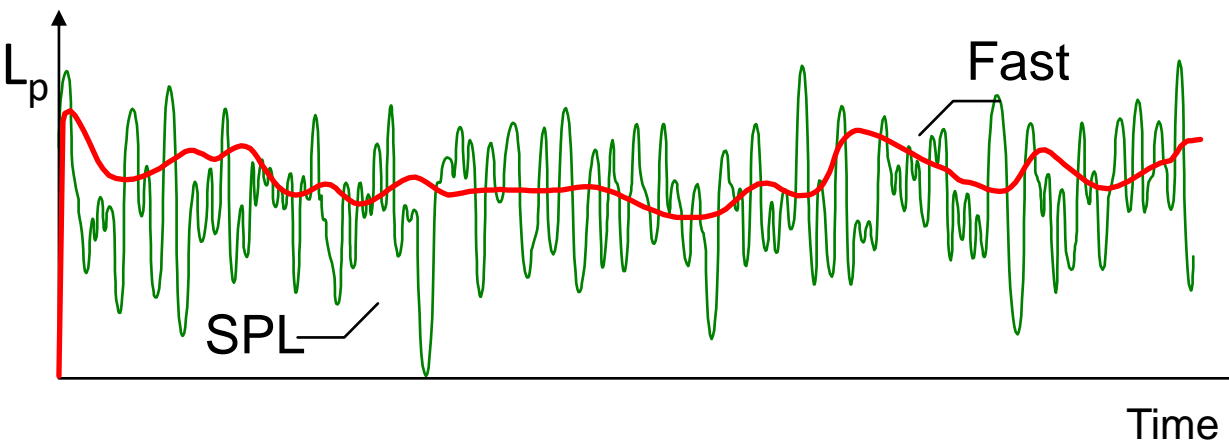


Instantaneous/Almost instantaneous

Time based

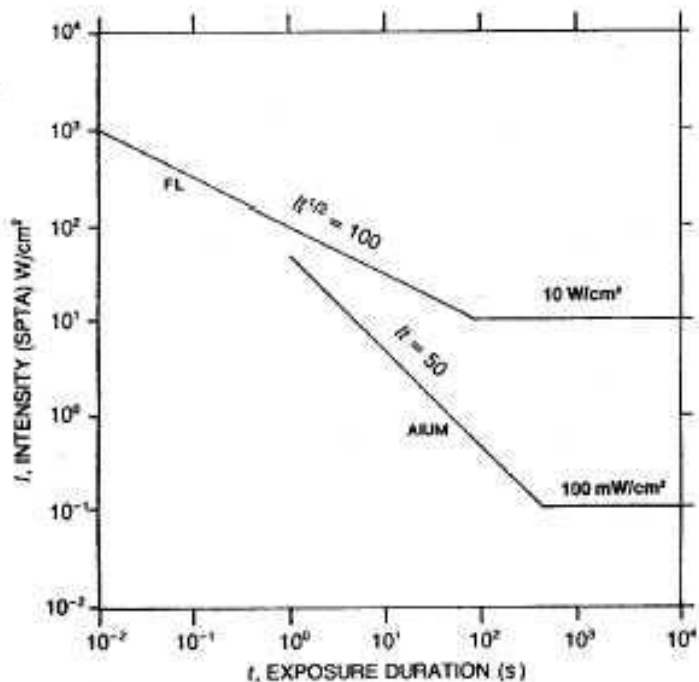
INAIL

I possibili descrittori



Limiti di esposizione e/o valori soglia raccomandati a livello internazionale per gli ultrasuoni che si propagano per contatto

Nelle applicazioni di fisioterapia a ultrasuoni, l'operatore può essere esposto per contatto con il manipolo che emette. La norma tecnica EN 60601-2-5 impone al produttore di limitare la densità di potenza trasmessa alla mano dell'operatore a 100 mW/cm^2 . Questo costituisce un utile riferimento in tutti i casi in cui l'operatore impugna un manipolo emittente, come ad esempio nel caso degli esami ecografici o nelle prove non distruttive.



Il grafico mostra le intensità al di sotto delle quali non sono stati osservati effetti biologici significativi nei tessuti dei mammiferi. Il grafico superiore (FL) si applica alle lesioni focali; le intensità sono valori in situ.

Il grafico inferiore (AIUM) è una rappresentazione grafica della dichiarazione sui bioeffetti nei mammiferi in vivo del Comitato sui bioeffetti dell'American Institute for Ultrasound in Medicine (AIUM). Le frequenze ultrasoniche sono comprese tra 1 e 10 MHz e le intensità, sono misurate in acqua.

Le FAQ ultrasuoni


COORDINAMENTO
TECNICO
INTERREGIONALE
DELLA PREVENZIONE
NEI LUOGHI DI LAVORO

Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome
Gruppo Tematico Agenti Fisici

Indicazioni operative per la prevenzione del rischio da Agenti Fisici ai sensi del Decreto Legislativo 81/08

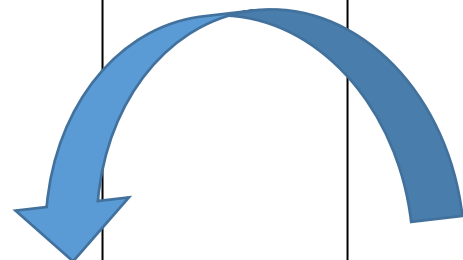
Parte 1: Titolo VIII Capo 1
Parte 2: Radiazione Solare
Parte 3: Microclima
Parte 4: Rumore
Parte 5: Vibrazioni

in collaborazione con:


ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO
INAIL - Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro


Istituto Superiore di Sanità

*Revisione 01: approvata dal sotto gruppo di lavoro tematico Agenti Fisici il 08/06/2021
approvata dal Gruppo Tecnico Interregionale Prevenzione Igiene e Sicurezza sui Luoghi di Lavoro il 21/07/2021*




COORDINAMENTO
TECNICO
INTERREGIONALE
DELLA PREVENZIONE
NEI LUOGHI DI LAVORO

Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome
Gruppo Tematico Agenti Fisici

Indicazioni operative per la prevenzione del rischio da Agenti Fisici ai sensi del Decreto Legislativo 81/08

Parte 7: ULTRASUONI


ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO
INAIL - Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro

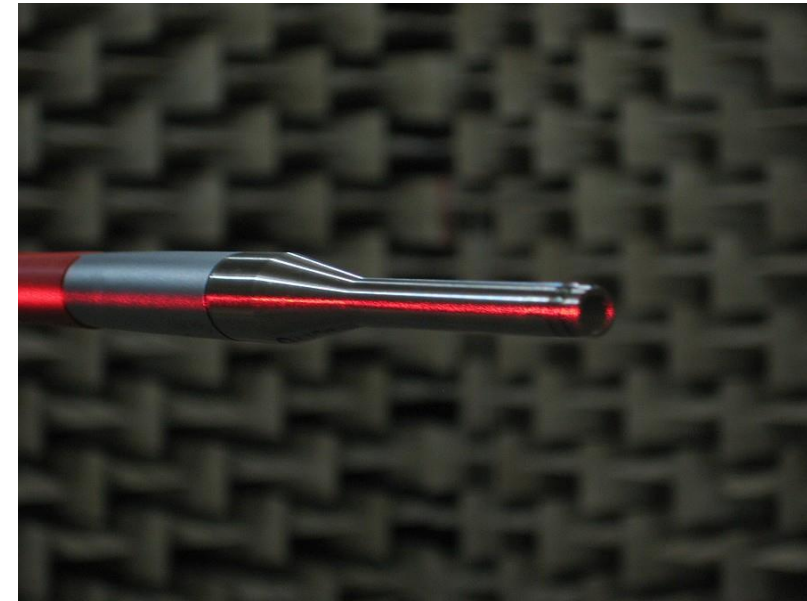
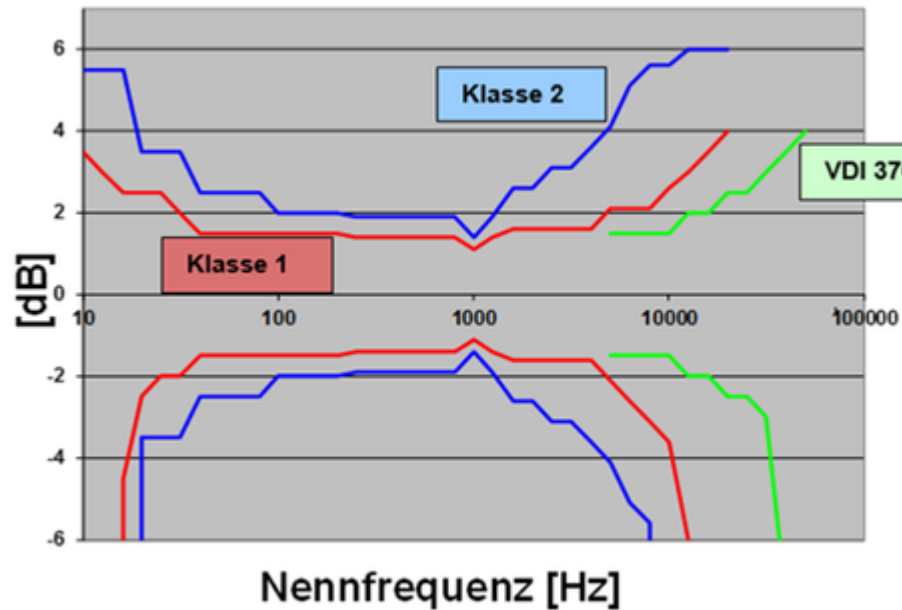

Istituto Superiore di Sanità

*Revisione 01: approvata dal gruppo di lavoro Agenti Fisici il 24/02/2022
approvata dal Gruppo Tecnico Interregionale Prevenzione Igiene e Sicurezza sui Luoghi di Lavoro il XXXX*

SEZIONE B <i>METODICHE E STRUMENTAZIONE PER LA MISURA DEGLI ULTRASUONI</i>		
B.1	Quali grandezze fisiche devono essere misurate o stimate per la valutazione del rischio da ultrasuoni in aria?	21
B.2	Con quale strumentazione devono essere effettuate le misure relative agli ultrasuoni in aria?	22
B.3	Quali fattori influenzano l'incertezza di misura?	24
B.4	Come definire una strategia di misura in termini di durata delle misure, numero di postazioni di misura e loro collocazione spaziale, per caratterizzare l'esposizione a ultrasuoni?	25

Le caratteristiche tecniche della strumentazione per la misura degli ultrasuoni in aria

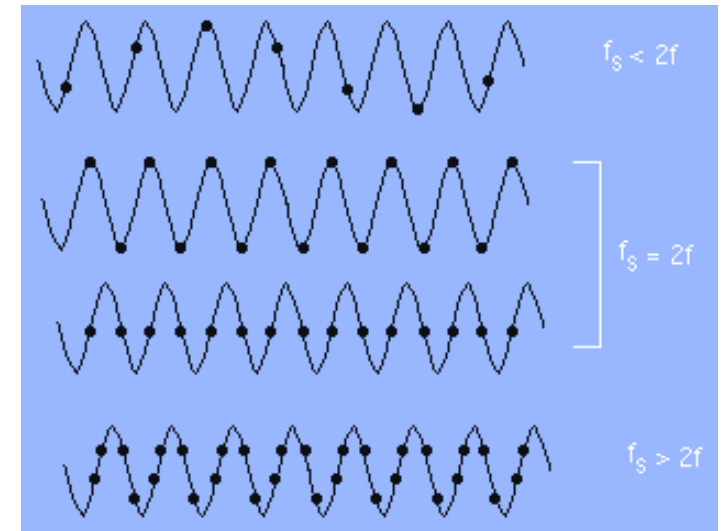
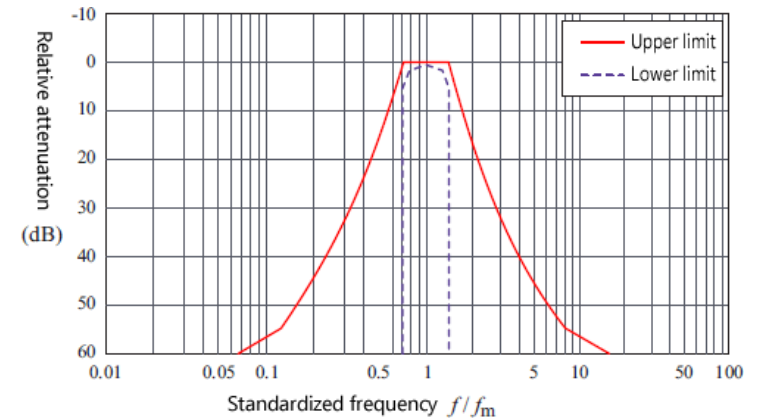
La strumentazione per la misurazione del livello di pressione sonora nella gamma delle frequenze ultrasoniche (a differenza della strumentazione per la misurazione del rumore), allo stato attuale, non ha standard internazionali che definiscano in maniera chiara ed univoca sia i requisiti stessi della strumentazione, che le procedure di calibrazione e le indicazioni riguardo la taratura periodica.



Le caratteristiche tecniche della strumentazione per la misura degli ultrasuoni in aria

In considerazione dei criteri di valutazione adottati a livello internazionale, si possono effettuare misurazioni con l'utilizzo di strumentazione con requisiti conformi alla classe 1 dei fonometri, dotata di microfono opportunamente selezionato per la gamma di frequenze da indagare e di filtri passa-banda in terzi d'ottava a condizione che:

- ❑ la risposta in frequenza della catena di misura copra l'intervallo di frequenze di interesse (in genere non superiore a 100 kHz)
- ❑ la frequenza di campionamento dello strumento digitale sia almeno il doppio della massima frequenza che si vuole misurare (2,56 volte)
- ❑ si abbiano a disposizione filtri in terzi di ottava conformi agli standard
- ❑ la frequenza centrale della banda di terzi di ottava più alta fra quelle disponibili nella strumentazione utilizzata sia superiore alla frequenza da misurare
- ❑ la gamma dinamica e la linearità dello strumento siano settate in funzione della sensibilità del microfono e sufficienti per la misurazione dei reali livelli di pressione sonora



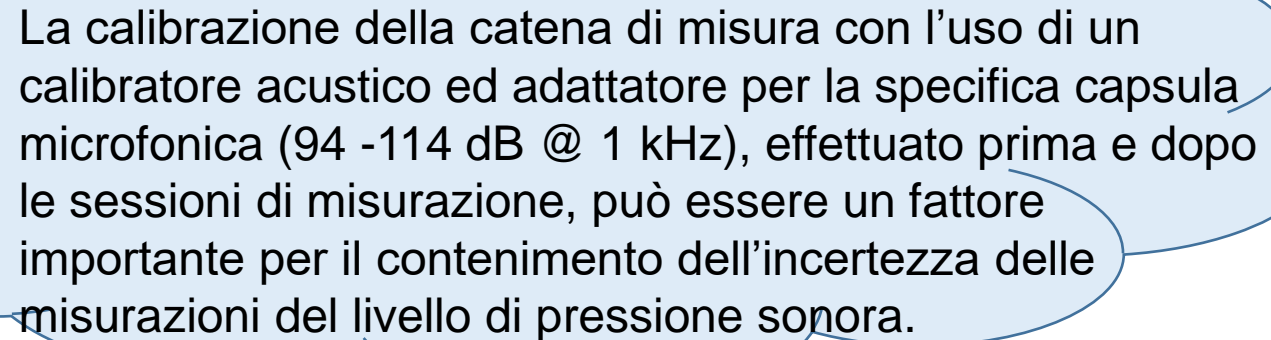
Le caratteristiche tecniche della strumentazione per la misura degli ultrasuoni in aria

Dato il range di frequenze da misurare nonché dei livelli di pressione sonora minimo e massimo osservati tipicamente e le proprietà elettroacustiche dei microfoni disponibili in commercio, la scelta ottimale ricade su microfoni per campo libero con un diametro nominale di 1/4" o 1/8".

Il microfono di misurazione, in combinazione con il misuratore/analizzatore, dovrebbe garantire una banda passante piatta fino alle frequenze massime di indagine.

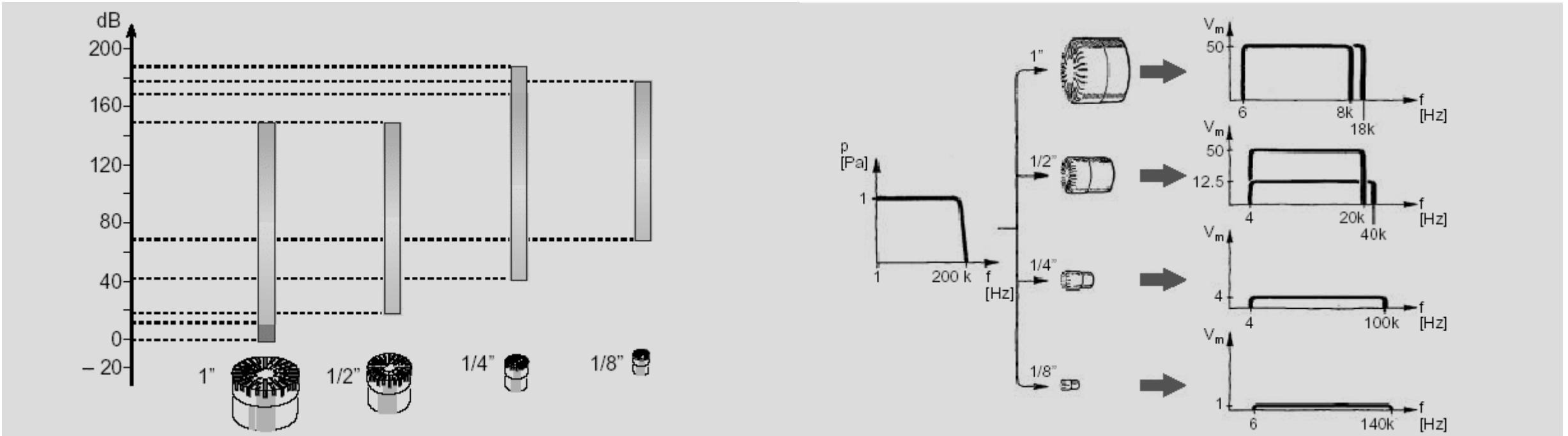
Vanno tenuti in conto:

- effetti della griglia di protezione della capsula
- effetti della protezione antivento, se impiegata
- effetti dell'utilizzo di cavi di prolunga
- effetti della direttività della capsula
- effetti del rumore intrinseco del microfono



La calibrazione della catena di misura con l'uso di un calibratore acustico ed adattatore per la specifica capsula microfonica (94 -114 dB @ 1 kHz), effettuato prima e dopo le sessioni di misurazione, può essere un fattore importante per il contenimento dell'incertezza delle misurazioni del livello di pressione sonora.

Le caratteristiche tecniche della strumentazione per la misura degli ultrasuoni in aria

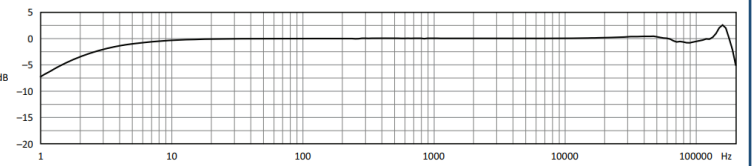
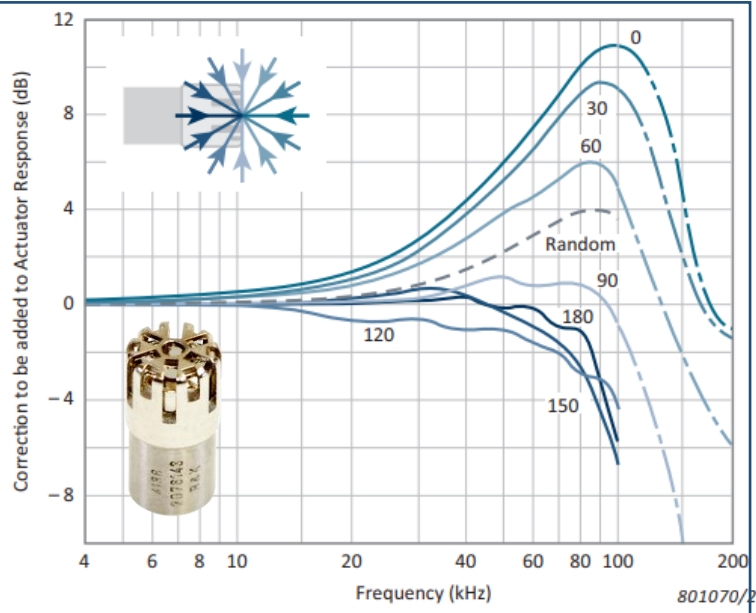


Range dinamico e dimensioni della capsula

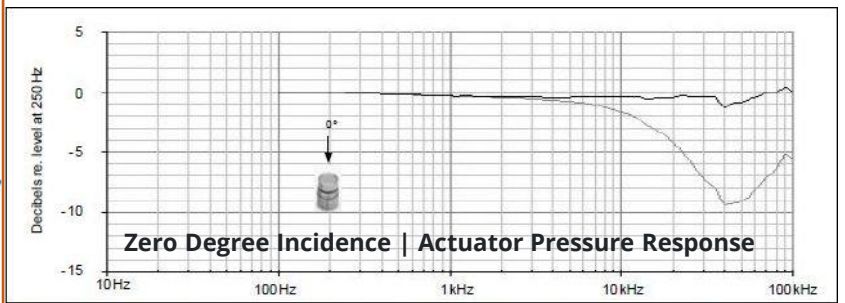
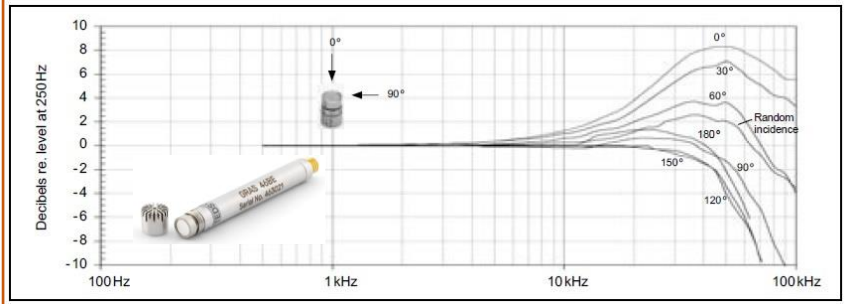
Sensibilità e risposta in frequenza in funzione delle dimensioni della capsula

In genere la maggior parte dei preamplificatori non costituiscono un problema nei riguardi della risposta in frequenza (banda passante >100kHz), al limite i problemi potrebbero derivare da eventuali sovraccarichi per livelli sonori elevati.

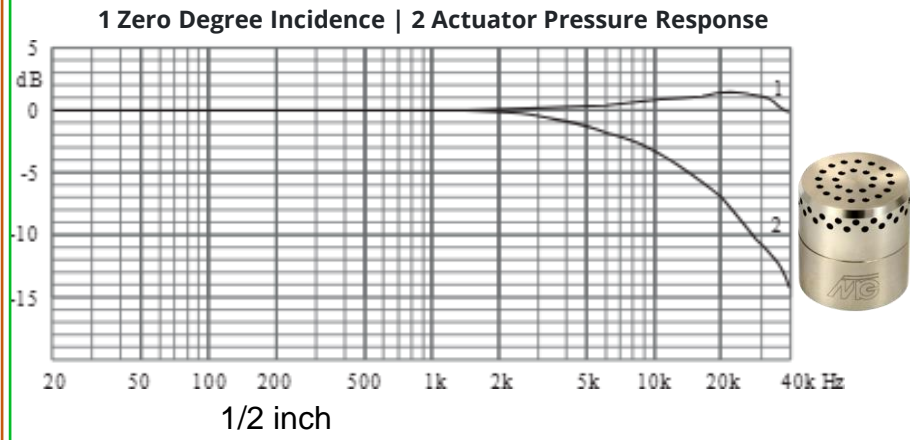
Le caratteristiche tecniche della strumentazione per la misura degli ultrasuoni in aria



Random-incidence and Pressure-field Response 6.5 Hz to 140 kHz: ± 2 dB
 Diaphragm Resonance Frequency: 160 kHz
 Sensitivity: 1 mV/Pa
 Cartridge Thermal Noise: 43 dB(A)
 Upper Limit of Dynamic Range (3% Distortion) >168 dB SPL
 Max. Sound Pressure Level: 171 dB (peak)



Frequency range (± 1 dB): 10 Hz to 40 kHz
 Frequency range (± 2 dB): 4 Hz to 80 kHz
 Frequency range (± 3 dB): 4 Hz to 100 kHz
 Set sensitivity @ 250 Hz (± 3 dB): 3.6 mV/Pa
 Lower limit: 35 dB(A)
 Upper limit : 160 dB



Frequency range (± 2 dB): 10 Hz to 40 kHz
 Open-circuit Sensitivity: 14 mV/Pa
 Inherent noise: 22 dB(A)
 Max. SPL for THD 3 % at 1 kHz: 158 dB

INAIL

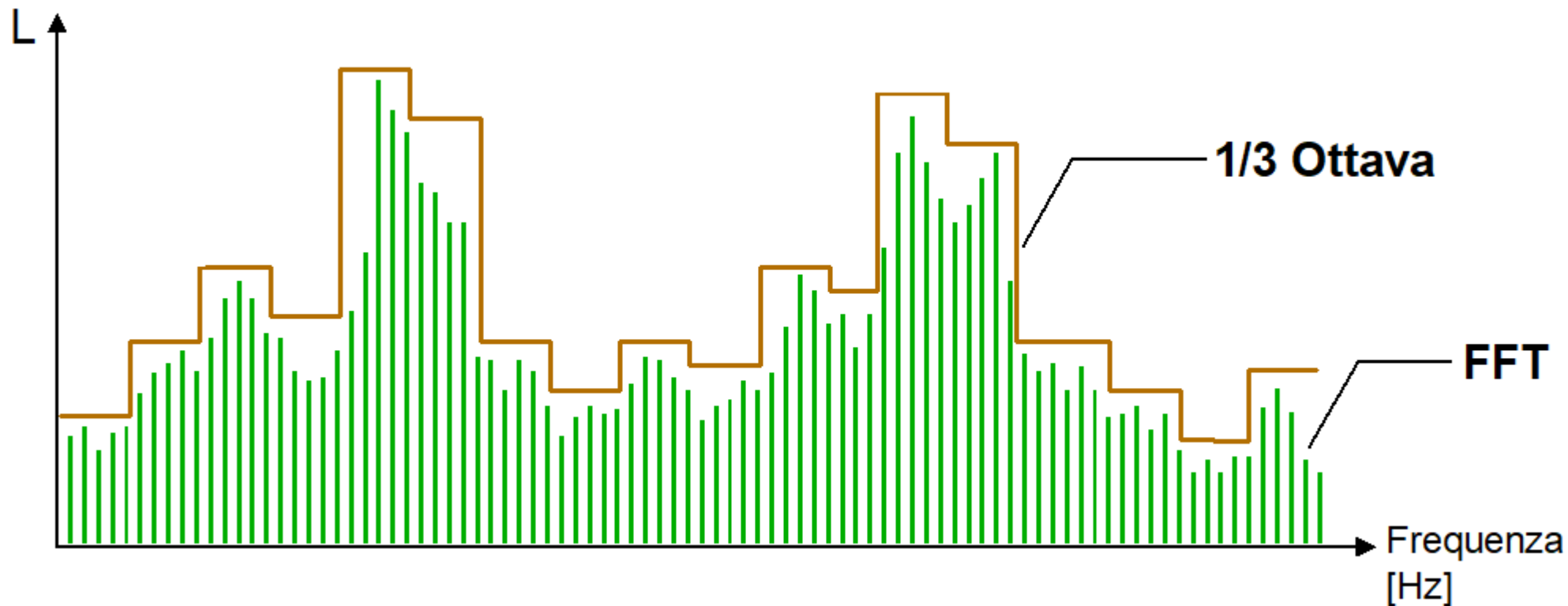
1/8"

1/4"

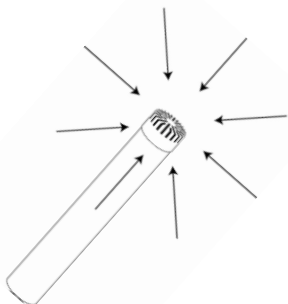
1/2"

Le caratteristiche tecniche della strumentazione per la misura degli ultrasuoni in aria

Quando risulta necessario individuare in maniera più precisa le frequenze emesse dalla sorgente ultrasonica, soprattutto quando queste si distribuiscono a cavallo di due bande di terzi di ottava, si può ricorrere ad analisi in banda di sottomultipli di ottava più strette ($1/6$, $1/12$, $1/24$ di ottava) oppure con un'analisi a larghezza di banda costante tramite FFT (Fast Fourier Transform).



Le caratteristiche tecniche della strumentazione per la misura degli ultrasuoni in aria



L'impiego del microfono con griglia di protezione è possibile quando è noto l'effetto di quest'ultima sulla risposta in frequenza del microfono: gli effetti della presenza della griglia potrebbero comportare incrementi fino a 5 dB per frequenze intorno a 40 kHz.

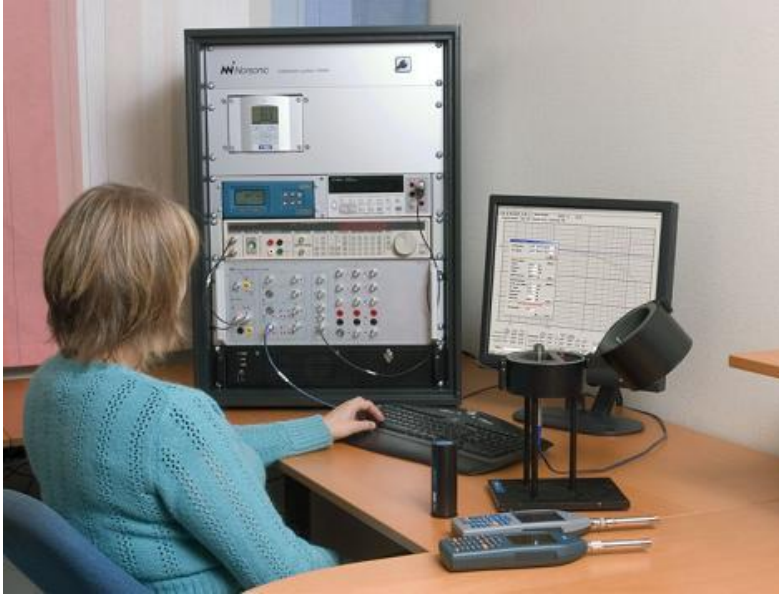


L'utilizzo della protezione antivento dovrebbe essere evitato, dato che gli effetti possono significativamente influire sul risultato della misurazione in termini di attenuazione dei livelli nelle diverse bande di frequenza ultrasoniche: fino a 5 dB di attenuazione per 40 kHz.



I cavi di prolunga microfonica possono influenzare il valore della tensione di uscita e la risposta in frequenza del sistema microfono-preamplificatore e possono insorgere interferenze da radiofrequenze elettromagnetiche sulle misure tramite il preamplificatore e altri componenti del sistema. Tuttavia, tali effetti sono trascurabili quando i cavi hanno lunghezza non superiore a 2 metri.

Le caratteristiche tecniche della strumentazione per la misura degli ultrasuoni in aria



Per garantire l'affidabilità dei risultati delle misurazioni, sarebbe opportuno che i requisiti della catena di misura fossero verificati, insieme a test di conformità di classe 1, da un laboratorio di taratura e le informazioni pertinenti dichiarate all'interno di un rapporto di prova (per l'intera catena di misura andrebbe eseguita una verifica periodica con cadenza biennale della conformità alle norme tecniche pertinenti. Tale verifica dovrebbe comunque avvenire dopo un evento traumatico che interessa uno o più elementi della catena di misura o dopo una riparazione degli stessi).

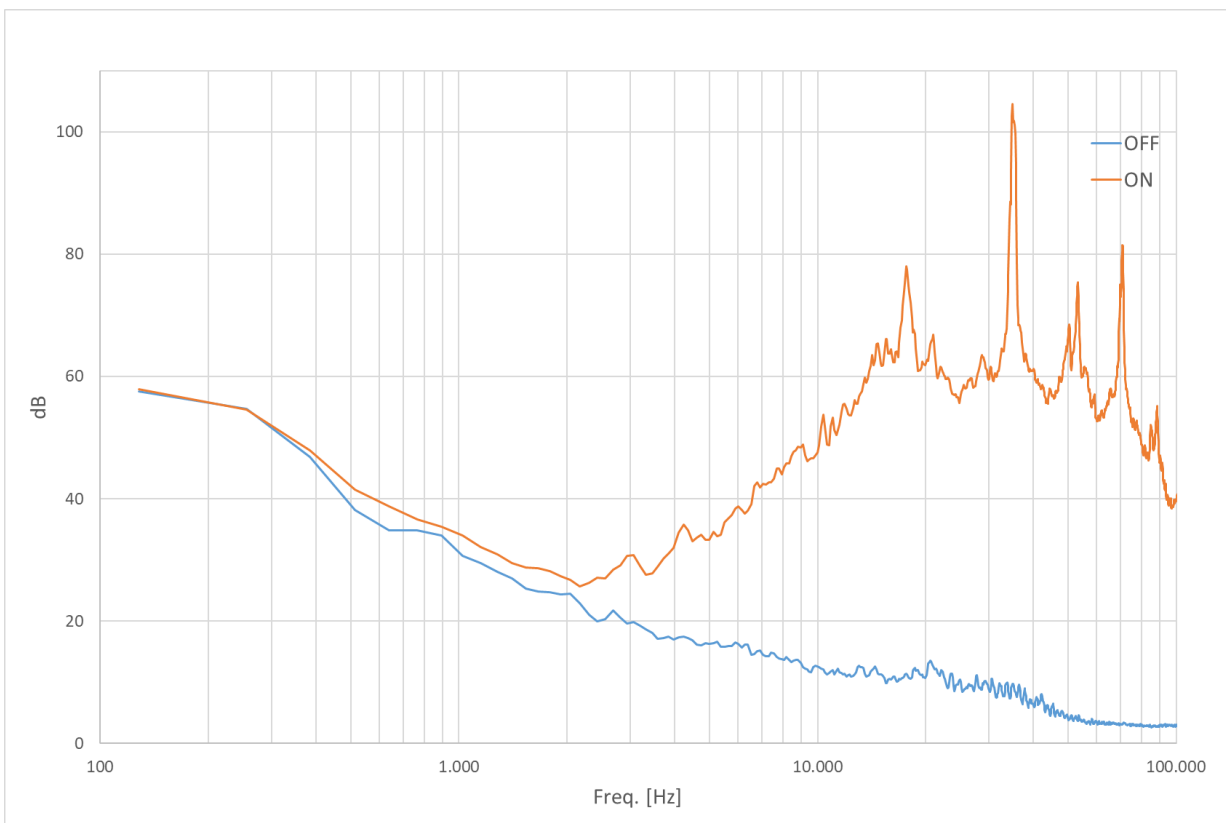
In ogni caso, la taratura da parte di un centro LAT della parte udibile, può rappresentare indice di buon funzionamento anche della parte ultrasonica.

Qualsiasi verifica periodica nella gamma delle frequenze pertinenti dovrebbe includere almeno:

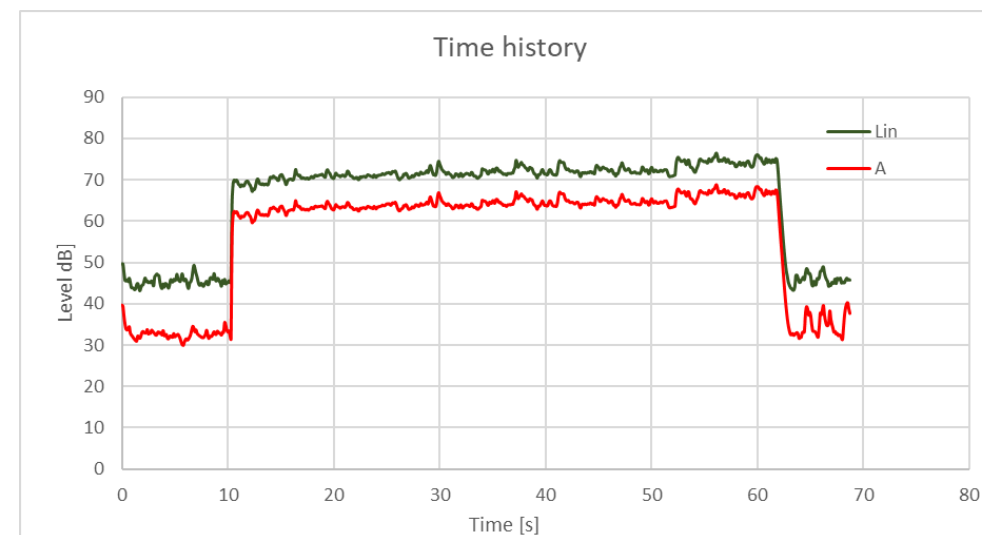
- la verifica del microfono con determinazione della sua risposta in frequenza in campo libero
- la verifica dei filtri passa-banda in terzi d'ottava (caratteristiche di attenuazione, errori e intervallo di linearità)
- la verifica del rumore intrinseco
- la determinazione degli errori dovuti alle medie lineare ed esponenziale.

Le caratteristiche della parte udibile generata dagli ultrasuoni

L'accensione di una sorgente ultrasonica (della tipologia bagni a ultrasuoni o sonicatori) provoca un apporto di energia acustica sul rumore presente prima dell'accensione a partire da circa 2000 Hz, con andamento crescente fino a 20000 Hz e, frequentemente, in questo intervallo spicca la presenza di uno o più picchi a frequenze sub-armoniche.

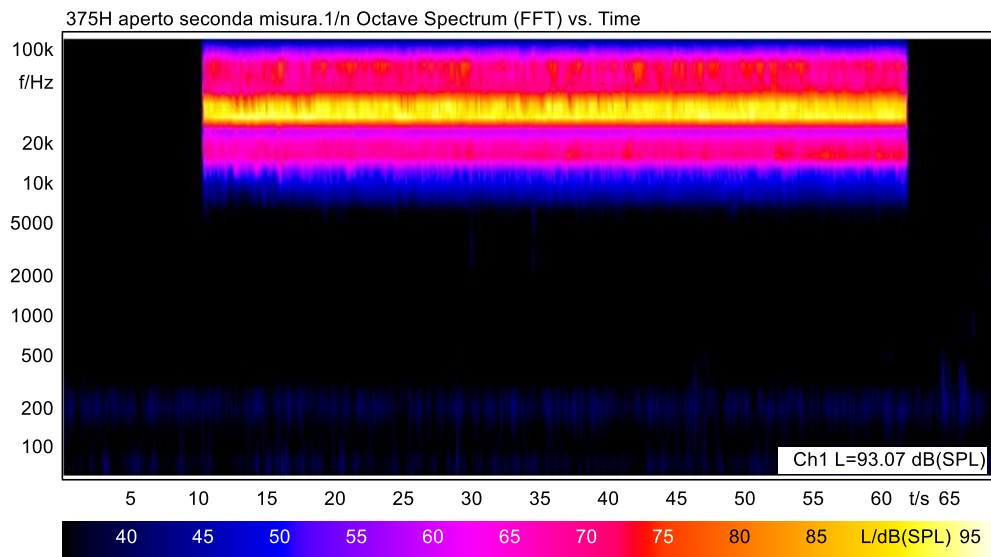


FFT 100 kHz

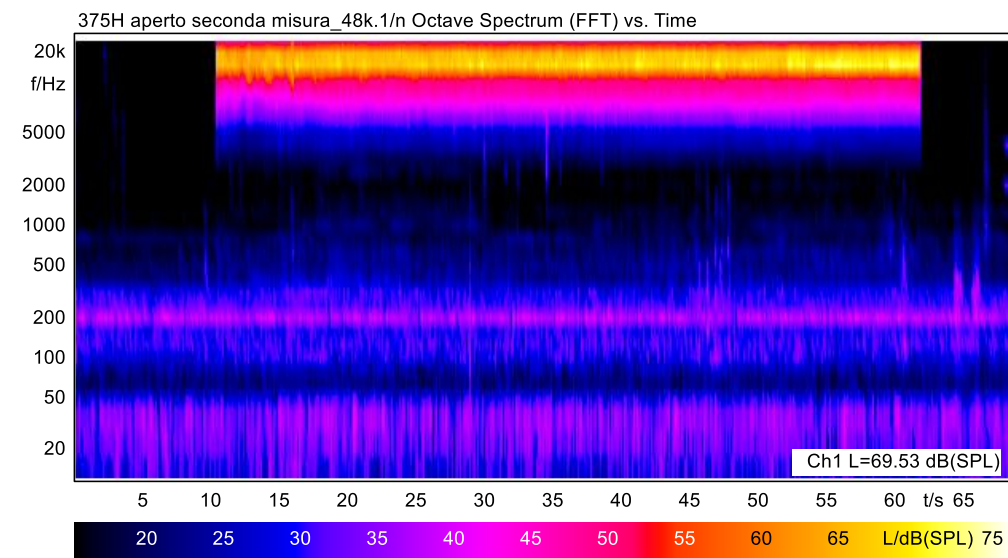
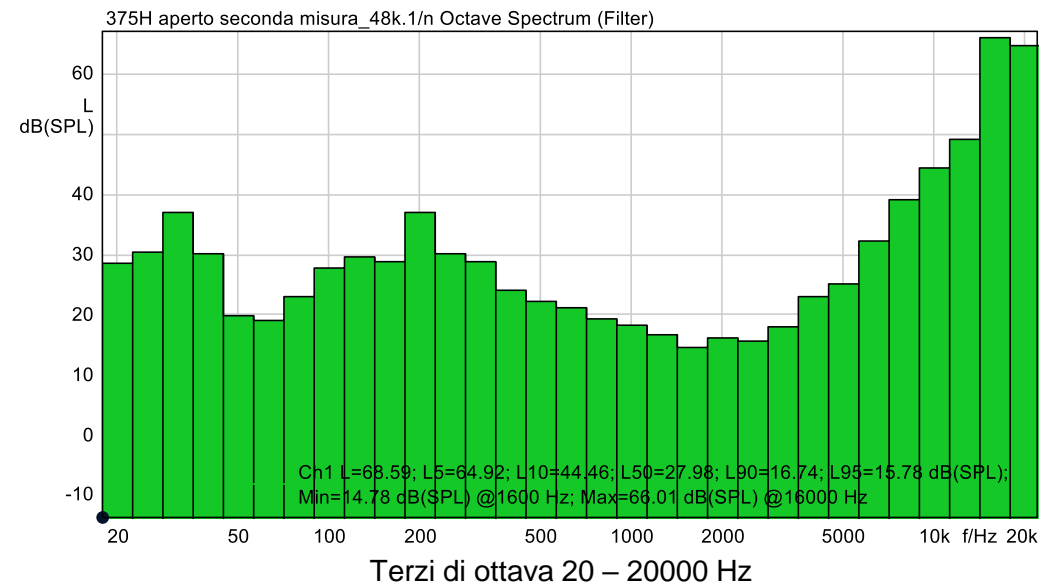


Time History 20 – 20000 Hz

Le caratteristiche della parte udibile generata dagli ultrasuoni

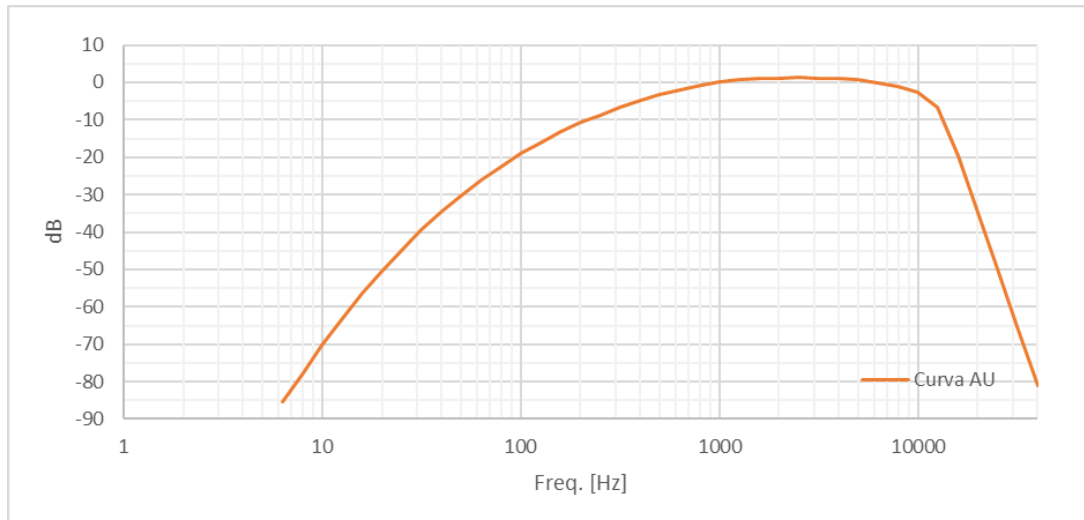
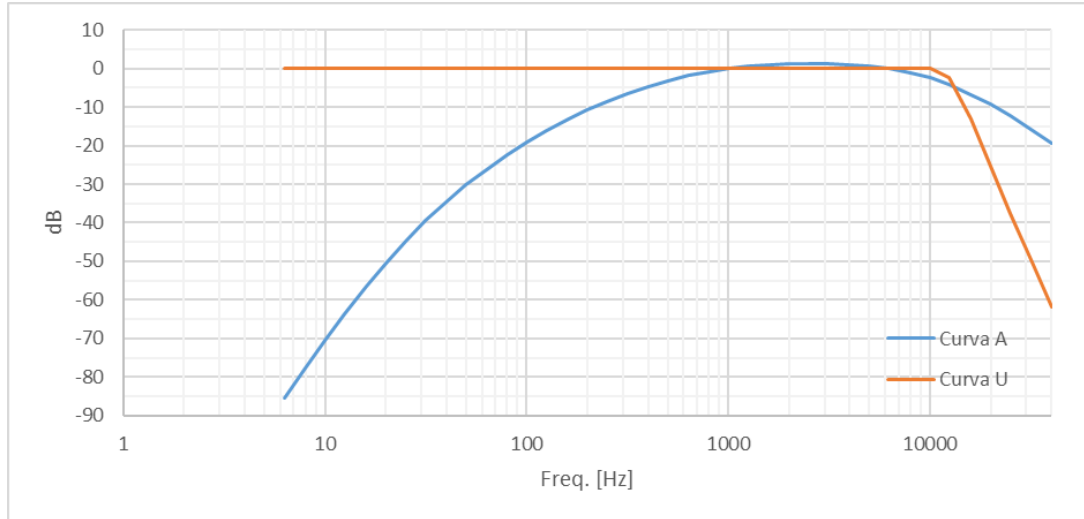


Sonogramma 100 kHz



Sonogramma 20 - 20000 Hz

La misura del contributo udibile generato dagli ultrasuoni



La ponderazione in frequenza AU può essere applicata per le misurazioni dei livelli sonori ponderati A relativamente al contributo udibile in presenza di una sorgente con componenti spettrali a frequenze superiori a 20 kHz.

- ❑ IEC 61012:1990, *Filters for the measurement of audible sound in the presence of ultrasound*
- ❑ 61672-1:2013, *Electroacoustics — Sound level meters Part 1: Specifications*
- ❑ VDI 3766:2012, *Ultrasound - Workplace - Measurement, assessment, judgement and reduction*

Posizionamento del microfono per la misura degli ultrasuoni in aria

Per le misure al posto dell'operatore il microfono va posto nella posizione della testa e direzionato verso la sorgente (entro +/- 20 gradi si ha una variazione minima dei valori misurati).

Per le misure in prossimità dell'orecchio maggiormente esposto, il microfono va direzionato verso la sorgente e ad una distanza dall'orecchio non superiore a 10 cm (per distanze maggiori si riscontrano forti variazioni dei livelli).

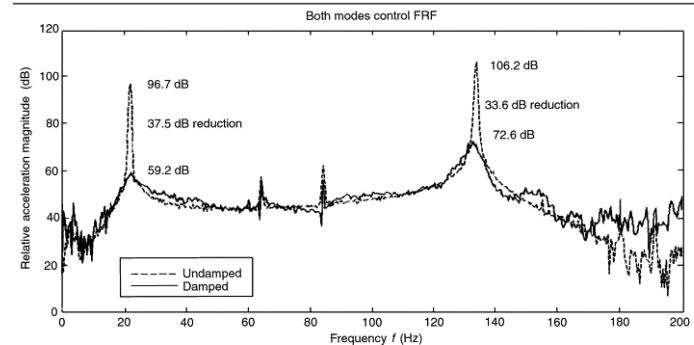
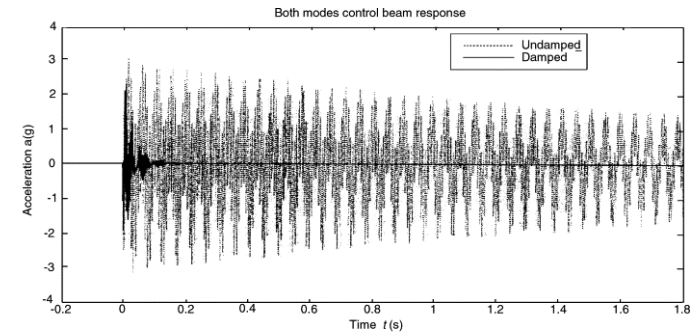
Per misure in altre posizioni avere sempre l'accortezza di direzionare il microfono verso la sorgente, possibilmente nella direzione di massima emissione.



Le metodiche di misura

Prima di effettuare una campagna di misura, si devono acquisire le informazioni sullo scenario espositivo, incluse le postazioni occupate e le modalità di lavoro degli operatori. Occorre quindi tener presente:

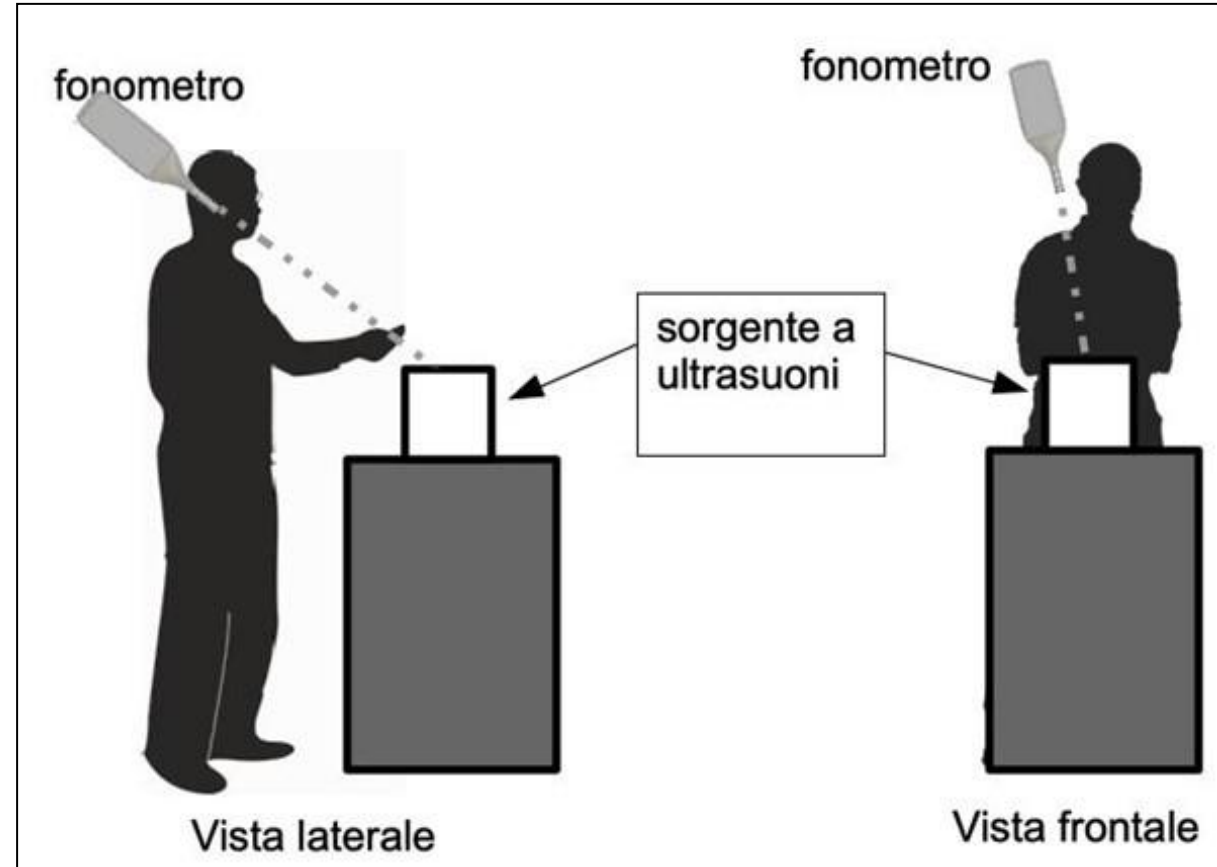
- ❑ le caratteristiche temporali dell'emissione ultrasonica (costante, fluttuante, impulsiva, ciclica, ecc.), di direttività ed il contenuto spettrale (monocromatico, banda larga, presenza di armoniche e sub-armoniche ecc.)
- ❑ le condizioni acustiche intorno alla postazione di misura, compresa la presenza di eventuali sorgenti interferenti
- ❑ i parametri microclimatici più significativi (temperatura, umidità, pressione, velocità dell'aria, ecc.) se possono influenzare i valori misurati e il corretto funzionamento degli strumenti utilizzati



Le metodiche di misura

Sulla base delle informazioni raccolte e/o fornite dal datore di lavoro devono essere pianificati: posizioni di misura, numero delle misure e tempi di misura, in modo da ottenere una rappresentazione significativa delle condizioni di esposizione dei lavoratori. Per quanto riguarda l'individuazione delle postazioni di misura, si suggerisce la seguente metodologia:

- ❑ misure intorno alla sorgente (atte a verificare la natura e la direttività ed individuare le direzioni in cui si ha massima emissione)
- ❑ mappatura dei livelli di esposizione nelle aree accessibili ai lavoratori al fine di identificare e segnalare eventuali zone ad accesso controllato
- ❑ misure in prossimità dell'orecchio maggiormente esposto, orientando il microfono verso la sorgente.



Le misure di prevenzione e protezione

Una volta stabiliti i livelli di esposizione ai quali potrebbero essere esposti gli operatori sul luogo di lavoro, si dovranno mettere in atto specifiche misure di tutela al fine di prevenire gli effetti avversi sulla salute e la sicurezza. Le emissioni di ultrasuoni dovranno essere eliminate alla fonte o ridotte al minimo ottenibile in base al progresso tecnologico, all'ottimizzazione delle metodiche di lavoro, alle informazioni fornite da produttore in termini di installazione, manutenzione ed utilizzo.

Le principali misure attuabili sono:

- segregazione della sorgente
- zonizzazione delle aree attorno alla sorgente con affissione di opportuna cartellonistica
- DPI uditivi (anche se le certificazioni delle attenuazioni non coprono la banda ultrasonica e bisogna tenere in conto gli effetti di una eventuale iperprotezione nel campo udibile)
- formazione e informazione dei lavoratori esposti.



DANGER





Grazie per l'attenzione

r.mariconte@inail.it

INAIL