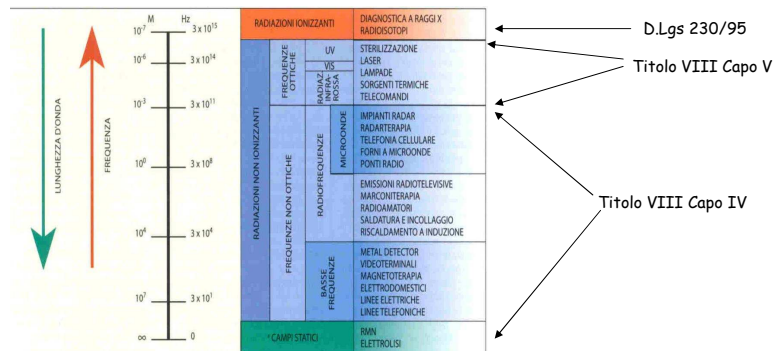


ESPERIENZE DI VALUTAZIONE E CONTROLLO DEGLI ULTRASUONI

Francesco Frigerio - Fondazione Salvatore Maugeri IRCCS- Centro Ricerche Ambientali, Pavia
francesco.frigerio@fsm.it

Riccardo Di Liberto - Fondazione IRCCS Policlinico S. Matteo, Pavia
 Andrea Di Buduo - Svantek Italia S.r.l. Melzo (MI)

D.Lgs 81/2008, agenti fisici "elettromagnetici"



...e quelli sonori ?

Art. 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.

Linea Guida per la valutazione del rischio tumore negli ambienti di lavoro

ALLEGATO N. 10

Guida all'esposizione ad ultrasuoni

1. Introduzione

Il problema dell'esposizione professionale ad ultrasuoni è rilevante. Nel nostro Paese le macchine che impiegano a livello industriale o artigianale sorgenti ultrasonore sono diacetrocentronulle, altretanti i lavoratori esposti, direttamente o indirettamente. Ai sensi dell'art. 3 del D. Lgs. 626/94 il rischio da ultrasuoni va quindi valutato.

2. Caratteristiche e percezione

Gli ultrasuoni, al pari delle altre emissioni acustiche, possono essere considerati come onde di compressione e di rarefazione delle particelle che costituiscono il mezzo (solido, liquido o gassoso) attraverso il quale le onde stesse si propagano.

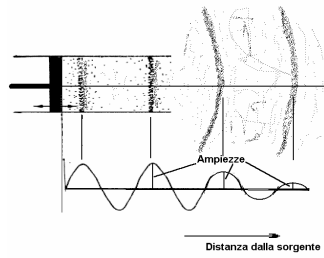
Nei settori industriale e artigianale la frequenza degli ultrasuoni è essenzialmente compresa tra 20 kHz e 50 kHz: essa è quindi pari o superiore al limite superiore di udibilità dell'orecchio umano (20 kHz).

Il campo di applicazione dei capi II e III non è definito mediante la frequenza

...esistono altre sorgenti di ultrasuoni,



ma andiamo con ordine...



$$P(t) = P_0 \cos(\omega t) \quad P_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt}$$

$$\lambda \cdot v = \frac{\lambda}{T} = v_m$$

Ricordiamo che mentre v dipende dalla sorgente, λ dipende dal mezzo

Definizione: impedenza acustica

$$Z = \rho \cdot v_m$$

dove ρ è la densità e v_m è la velocità di propagazione nel materiale.

L'unità di misura è $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$, unità detta Rayleigh (Rayl)

Mezzo	Impedenza acustica (Rayl)
Aria	4,00E-03
Acqua	1480
Fegato	1640
Muscolo	1700
Osso	7800

Il termine impedenza richiama l'analogia con i fenomeni elettromagnetici, possiamo per esempio definire l'intensità acustica come

$$I = \frac{P_{eff}^2}{Z}$$

Utile per calcolare i coefficienti di riflessione e trasmissione del suono all'interfaccia tra due mezzi diversi

$$R \equiv \frac{I_r}{I_i} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad T \equiv \frac{I_t}{I_i} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

Se Z_1 e Z_2 sono molto diverse R tende a 1 e T è molto piccolo; se viceversa i valori sono molto vicini (adattamento di impedenza), il coefficiente di riflessione tende a zero e l'intensità acustica rimane poco attenuata al passaggio della superficie di interfaccia.

Attraversando un mezzo omogeneo, il suono subisce comunque un'attenuazione, proporzionale a

$$R_F = 10^{-0,1\alpha v z}$$

dove α vale 0,3 dB/cm*MHz per i tessuti umani; z è lo spessore attraversato in cm e v la frequenza in MHz

Paragoniamo diverse applicazioni delle onde sonore, ricordando che

$$dB = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

dove $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa e $I_0 = 10^{-12}$ W/m²

Frequenza	Impiego	Intensità al punto di impiego		Possibile esposizione	Misure di prevenzione
		W/cm ²	dB re 1pW/m ²		
20 - 25 kHz	Lavaggio per cavitazione	1	160	Diffusione in aria, frequenza fondamentale e armoniche, 90-100 dB	Separazione e segregazione della sorgente
20 - 40 kHz	Saldatura materiali termoplastici	100	180	Diffusione in aria, frequenza fondamentale e armoniche, 90-100 dB	Separazione e segregazione della sorgente
30 - 50 kHz	Trattamenti estetici per cavitazione	10	170	Diffusione in aria, frequenza fondamentale e armoniche 40-60 dB	Controllo e manutenzione
100 kHz 10 MHz	Fisioterapia	3	165	Per contatto all'operatore	Controllo e manutenzione
1-20 MHz	Diagnostica per immagini	0,1	150	Solo per contatto paziente, possibile criticità esami doppler	Controllo di qualità

Valori limite e misure di prevenzione:

IRPA-INIRC 1984, lavoratori

Frequenza centrale della banda kHz	Limite dB (esposizione < 8 ore)	Limite dB (da 2 a 4 ore di esposizione)	Limite dB (da 1 a 2 ore di esposizione)	Limite dB (esposizione < 1 ora)
20	75	78	81	84
25	110	113	116	119
31,5	110	113	116	119
40	110	113	116	119
50	110	113	116	119
63	110	113	116	119
80	110	113	116	119
100	110	113	116	119

IRPA-INIRC 1984, popolazione

Frequenza centrale della banda kHz	Limite dB
20	70
25	100
31,5	100
40	100
50	100
63	100
80	100
100	100

Valori limite e misure di prevenzione:

ACGIH, lavoratori

Frequenza centrale della banda kHz	TLV-C dB	TLV-TWA 8 ore dB
10	105	88
12,5	105	89
16	105	92
20	105	94
25	110	--
31,5	115	--
40	115	--
50	115	--
63	115	--
80	115	--
100	115	--

Fisioterapia a frequenza > 100 kHz:

Il ministero della sanità Canadese ha pubblicato nel 1989, delle linee guida per l'utilizzo sicuro degli ultrasuoni che prevedono per gli apparati di terapia, una intensità massima di 3 W/cm², sulla base del fatto che *tale valore è stato riscontrato come massimo valore nominale per la maggior parte dei dispositivi e che intensità più elevate non sembrano essere richieste per l'efficacia.*

Vengono inoltre definite una serie di provvedimenti/procedure finalizzate a minimizzare l'esposizione dell'operatore:

- la parte attiva dell'applicatore non deve essere toccato quando emette ultrasuoni;
- l'operatore non deve immergere parti del suo corpo in acqua nel percorso diretto del fascio quando un dispositivo di terapia a ultrasuoni in bagno d'acqua è operativo;
- il dispositivo di terapia a ultrasuoni deve essere acceso solo quando l'applicatore è in accettabile contatto acustico con il paziente e l'operatore mantiene l'applicatore mediante l'impugnatura prevista, in questo modo si riduce anche la possibilità di danneggiamento termico dell'applicatore;
- per evitare che ultrasuoni riflessi o diffusi siano assorbiti dall'operatore durante l'applicazione del trattamento in acqua, può essere utilizzato un guanto soffice indossato sotto il guanto di gomma per ottenere una protezione aggiuntiva dovuta alla camera d'aria.

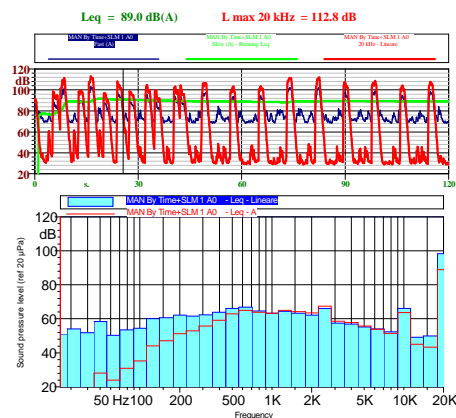
ECOGRAFIA DIAGNOSTICA > 1 MHz:

La combinazione di bassa potenza e alta frequenza evita qualunque tipo di rischio per l'operatore.

Per la sicurezza del paziente devono essere seguiti i protocolli clinici indicati dal costruttore della macchina in particolare per le apparecchiature a potenza più elevata come i dispositivi doppler.

Cosa possiamo già fare:

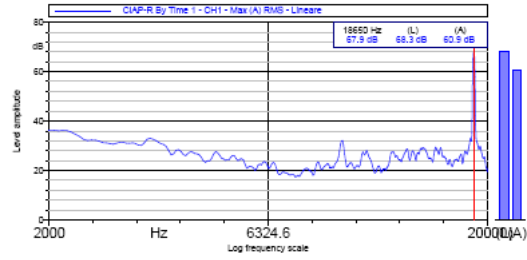
Confezionatrice con saldatura a ultrasuoni, misura eseguita con analizzatore real time in 1/3 d'ottava fino a 20 kHz



È necessario e sufficiente intervenire confinando la sorgente

Cosa possiamo già fare:

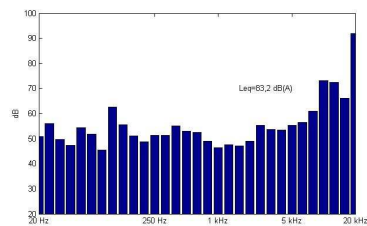
Apparecchiatura estetica a cavitazione 37 kHz, misura eseguita con analizzatore real time in FFT fino a 20 kHz



Serve qualche valutazione in più.....

Un passo un po' più in là:

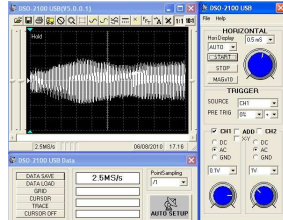
Bagno a ultrasuoni da laboratorio



Serve qualche valutazione in più.....

Un passo un po' più in là:

Acquisizione del segnale nel dominio del tempo



Elaborazione numerica:
il segnale da analizzare viene
suddiviso in N campioni
 X_k , con $k=1,2,\dots,N$

$$F_k = \sum_{j=1}^N X_j e^{-\frac{2\pi i(j-1)(k-1)}{N}}$$

Un passo un po' più in là:

Analisi spettrale limitata dalla banda passante della catena di misura

La funzione che rappresenta l'analisi spettrale del segnale X_k è

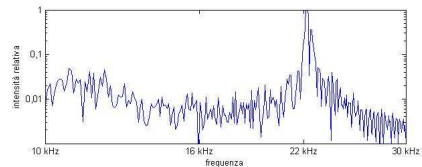
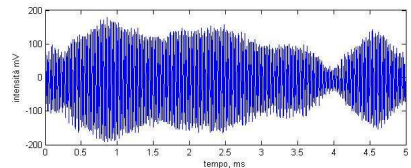
$$Y_n = \left| \frac{F_k}{L} \right|^2$$

$$L = Nf_s$$

dove L lunghezza del segnale campionato,

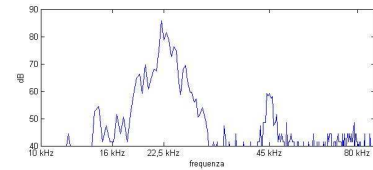
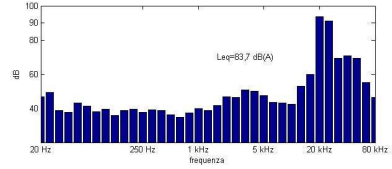
f_s frequenza di campionamento e
 $n=1,2,\dots,N/2$.

In pratica, la massima
frequenza valutabile è
 $f_s/2$.



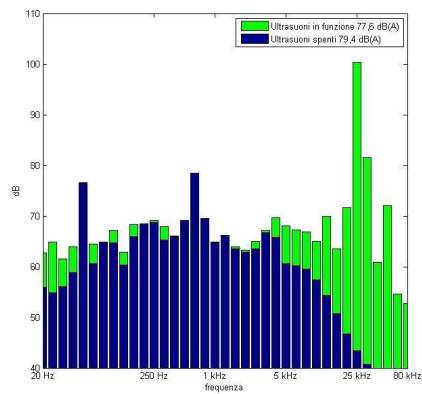
Con strumentazione dedicata:

Analisi spettrale fino a 90 kHz



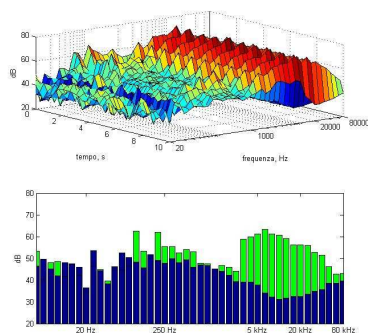
Con strumentazione dedicata:

Misura eseguita su lavatrice a ultrasuoni



Con strumentazione dedicata:

Misura eseguita su litotritore



Conclusioni:

- Con il termine "ultrasuoni" possono essere identificate sorgenti molto diverse per rischio potenziale e caratteristiche di interazione.
- Le esposizioni mediche richiedono una notevole attenzione e la messa a punto di procedure e metodi di controllo adeguati in quanto la continua evoluzione della tecnologia porta a sviluppare applicazioni sempre nuove che, non sempre vanno nella direzione della riduzione dell'invasività, in particolare quando dal campo clinico vero e proprio si passa all'ambito dei trattamenti estetici.
- Si ritiene necessaria la definizione di standard tecnici per la determinazione della intensità acustica emesse da sorgenti ad ultrasuoni di frequenze inferiori ai 500 kHz, senza i quali non sono possibili valutazioni o confronti sui possibili rischi a cui possono essere esposti i lavoratori che le impiegano che, come è noto, sono fortemente dipendenti da questo parametro.

Conclusioni:

Frequenza	Impiego	Intensità al punto di impiego		Possibile esposizione	Misure di prevenzione
		W/cm ²	dB re 1pW/m ²		
20 ÷ 25 kHz	Lavaggio per cavitazione	1	160	Diffusione in aria, frequenza fondamentale e armoniche, 90 ÷ 100 dB	Separazione e segregazione della sorgente
20 ÷ 40 kHz	Saldatura materiali termoplastici	100	180	Diffusione in aria, frequenza fondamentale e armoniche, 90 ÷ 100 dB	Separazione e segregazione della sorgente
30 ÷ 50 kHz	Trattamenti estetici per cavitazione	10	170	Diffusione in aria, frequenza fondamentale da valutare	Controllo e manutenzione
100 kHz ÷ 10 MHz	Fisioterapia	3	165	Per contatto all'operatore	Controllo e manutenzione
1 ÷ 20 MHz	Diagnostica per immagini	0,1	150	Solo per contatto paziente, possibile criticità esami doppler	Controllo di qualità



ESPERIENZE DI VALUTAZIONE E CONTROLLO DEGLI ULTRASUONI

... grazie per l'attenzione ...