



**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



**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
05/12/2022*

Il lettore è invitato a far pervenire eventuali segnalazioni o richieste di chiarimenti all'indirizzo info@portaleagentifisici.it

Legenda degli acronimi

ACGIH:	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
	dB: decibel
DPI-U:	Dispositivi di protezione individuale uditivi
IRPA-INIRC:	International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association
LAT:	Laboratorio taratura Accredia
SPL:	Sound Pressure Level, dB re 20 μ PA (micro pascal)
SS:	Sorveglianza sanitaria
US:	Ultrasuoni

INDICE

SEZIONE A		
<i>EFFETTI SULLA SALUTE E SORVEGLIANZA SANITARIA</i>		
A.0	Cosa sono gli ultrasuoni e quali sorgenti si trovano negli ambienti di lavoro?	9
A.1	Quali sono gli effetti sulla salute e sicurezza dovuti all'esposizione a ultrasuoni?	13
A.2	Quali sono le condizioni soggettive o i cofattori espositivi che incrementano il rischio da ultrasuoni? Come va effettuata la valutazione del rischio in tali casi?	14
A.3	Qual è il ruolo del medico competente per lavoratori esposti a ultrasuoni? Quando e con quali modalità attivare la sorveglianza sanitaria?	17
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
SEZIONE C		
<i>VALUTAZIONE DEL RISCHIO</i>		
C.1	Secondo quale metodologia deve essere effettuata la valutazione del rischio?	29
C.2	È sempre necessario effettuare la valutazione con misurazioni?	30
C.3.1	Esistono limiti di esposizione e/o valori soglia raccomandati a livello internazionale per gli ultrasuoni che si propagano in aria?	30
C.3.2	Esistono limiti di esposizione e/o valori soglia raccomandati a livello internazionale per gli ultrasuoni che si propagano per contatto?	34
C.4	Secondo quale metodologia si effettua il confronto con i valori limite?	35
C.5	In quali condizioni l'esposizione ad US può essere considerata "giustificabile"?	35

SEZIONE D		
GESTIONE DEL RISCHIO		
D.1	Quando è necessario attuare misure tecniche e/o organizzative per ridurre i rischi?	39
D.2	Quali interventi alla sorgente o lungo il cammino di propagazione adottare ai fini della riduzione del rischio da ultrasuoni?	39
D.3	Come deve essere strutturata e che cosa deve riportare la Relazione Tecnica dell'esposizione lavorativa a ultrasuoni?	40
D.4	Cosa deve contenere il documento di valutazione dei rischi?	42
D.5	Esistono dispositivi di protezione individuali certificati per gli ultrasuoni?	44
D.6	Informazione, formazione e addestramento: quando e con quali contenuti?	44
D.7	Quali sono le indicazioni su segnaletica e delimitazione delle aree a rischio?	45
SEZIONE E		
VIGILANZA ED ASPETTI MEDICO LEGALI		
E.1	Quali informazioni si devono trovare sul manuale d'uso e manutenzione di un apparecchio che emette ultrasuoni?	49
E.2	Quali informazioni il datore di lavoro deve chiedere in fase di acquisto dei macchinari che emettono ultrasuoni?	51
Allegato 1. Valori limite raccomandati dalla IRPA-INIRC (FAQ C3.1)		53
Bibliografia		55

SEZIONE A

EFFETTI SULLA SALUTE E SORVEGLIANZA SANITARIA

A.0 Cosa sono gli ultrasuoni e quali sorgenti si trovano negli ambienti di lavoro?

Gli ultrasuoni (US) sono onde acustiche ed al pari del rumore e degli infrasuoni sono oggetto, tra gli altri agenti fisici, del Titolo VIII del D.Lgs. 81/08. Gli US sono caratterizzati da frequenze al di sopra del limite superiore di udibilità per l'orecchio umano. Questo limite, soggettivo e variabile con l'età, è compreso nell'intervallo 16 kHz - 20 kHz. Le onde acustiche in questo intervallo di frequenze possono essere considerate "rumore" in presenza di uno spettro continuo di emissione a frequenze inferiori a 20 kHz, in tal caso può essere opportuno fare riferimento alle disposizioni del Capo II del Titolo VIII del D.Lgs. 81/08 dedicato al rumore; al contrario, in presenza di emissioni per lo più tonali a frequenze superiori a 16 kHz, si possono considerare "ultrasuoni" e può essere opportuno fare riferimento alle indicazioni operative riportate nel presente documento dedicato agli US.

Le onde acustiche sono onde meccaniche che, in quanto tali, richiedono un mezzo fisico per la loro propagazione. Le particelle del mezzo vengono messe in oscillazione attorno alla loro posizione di equilibrio e tali oscillazioni sono una perturbazione meccanica che si propaga nel mezzo trasportando energia e non materia.

Quando l'oscillazione delle particelle avviene lungo la direzione di propagazione dell'onda (onda longitudinale), si generano compressioni e rarefazioni del mezzo e l'onda ha le caratteristiche di un'onda di pressione. La pressione, la cui unità di misura è il pascal (Pa), è pertanto, una grandezza fisica rilevante per descrivere gli US.

Nei fluidi (liquidi e gas) l'onda acustica può essere solo longitudinale, mentre nei solidi elastici possono propagarsi anche onde trasversali, caratterizzate da una oscillazione delle particelle ortogonale alla direzione di propagazione dell'onda. In questo caso la grandezza fisica rilevante è lo sforzo di taglio ("*shear stress*"), la cui unità di misura è comunque la stessa della pressione, il pascal. Per quanto riguarda i tessuti che costituiscono il corpo umano, le onde trasversali possono propagarsi essenzialmente nei tessuti duri quali le ossa, mentre nei tessuti molli, dotati di un basso modulo di taglio, si propagano prevalentemente le onde longitudinali di pressione.

Durante l'attraversamento dei mezzi, le onde ultrasoniche sono soggette a fenomeni di attenuazione che agiscono in maniera dissipativa in modo differente a seconda del materiale. In relazione alla natura dei processi fisici che danno origine alla perdita di energia (ad esempio, perdite viscosive, conduzione termica, ecc.), l'energia acustica rimossa dall'onda per effetto dell'assorbimento viene depositata nel mezzo sotto forma di calore, dipendendo dalla frequenza dell'onda e dal materiale attraversato.

Nel caso di generazione e propagazione di US in un mezzo diverso dall'aria, la differenza di impedenza fra il mezzo in cui vengono generati (ad esempio l'acqua) e l'aria tipicamente comporta un'elevata riflessione all'interfaccia. Di conseguenza la quasi totalità dell'energia ultrasonica rimane confinata nel mezzo stesso. Tuttavia, in alcuni casi l'emissione di US in aria potrebbe essere rilevante.

Per frequenze superiori a circa 300 kHz, ai fini pratici si può affermare che gli US non si propagano in aria, in quanto i fenomeni di assorbimento diventano rilevanti in percorsi dell'onda dell'ordine del millimetro.

In ambiente di lavoro, gli US sono quasi sempre intenzionalmente generati in aria o in altro mezzo fluido (ad esempio acqua), per produrre specifici effetti.

Per quanto riguarda la generazione e propagazione degli US nei solidi, tra le applicazioni in ambito industriale ricordiamo i processi di trafilatura; incisione; saldatura di metalli e plastiche; controlli non distruttivi per la rilevazione dei difetti dei materiali che lavorano con US continui o impulsati; prove a fatica.

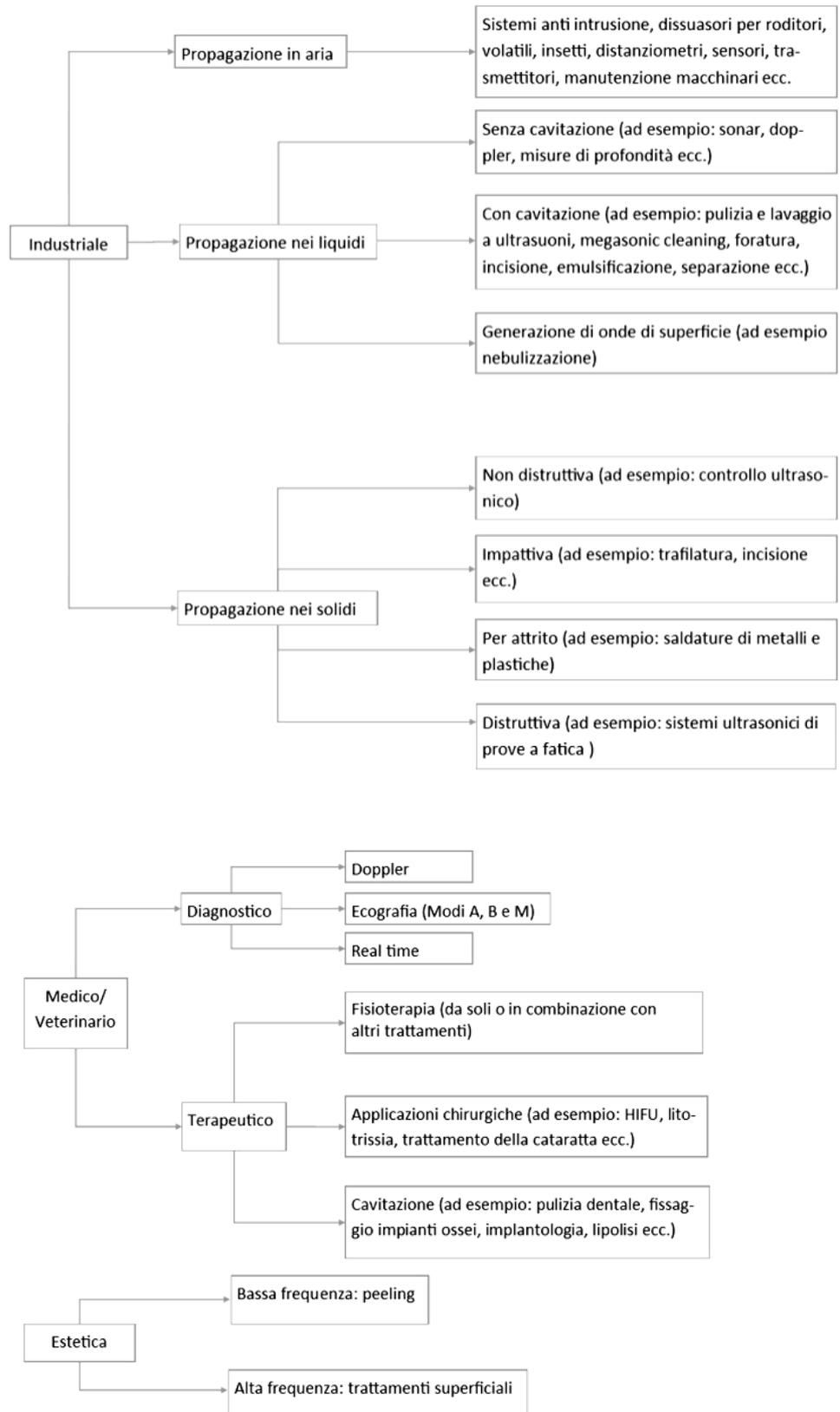
Alcuni esempi di possibili sorgenti di US sono:

- macchine e impianti con circolazione di gas ad alta pressione;
- macchine e impianti con parti rotanti o striscianti;
- lavatrici a US;
- bagni a US da laboratorio;
- saldatura in impianti di confezionamento;
- applicazioni mediche in diagnostica e terapia (ecografia, fisioterapia);
- applicazioni in ambito estetico e di medicina estetica.

Alcuni apparati possono essere causa di generazione non intenzionale di US, quali: caldaie, condensatori, sistemi di aria di controllo, valvole, scaricatori di condensa, motori, pompe, ingranaggi, ventilatori, compressori, convettori, quadri meccanici/elettrici, trasformatori, turbine gas/vapore, generatori, iniettori per lubrificazione.

Inoltre, poiché in natura alcune specie animali (es. pipistrelli, cani) hanno una sensibilità agli US maggiore di quella umana, sono stati sviluppati dispositivi di dissuasione basati su US il cui utilizzo in sicurezza potrebbe richiedere restrizioni per la popolazione inconsapevole.

Lo schema seguente riassume le principali applicazioni degli US.



Schema – principali applicazioni degli US.

Tabella A.1 – Dispositivi/applicazioni in cui si hanno emissioni ultrasoniche

Applicazione/dispositivi	Descrizione del processo	Intervallo di frequenza [kHz]	Mezzo di propagazione
Saldatura della plastica	Saldatura di plastica rigida o flessibile	20 - 40	ARIA
Saldatura metalli	Saldatura di metalli simili e dissimili	<10 - 63	ARIA
Tagliatrici al plasma	Pantografo per il taglio di lamiere	<10 - >40	ARIA
Lavorazioni meccaniche	Pialle per legno, fresatrici, smerigliatrici elettrico	<10 - 80	ARIA
Trapani elettrici	Foratura di materiali fragili	<10 - 20	ARIA
Trapani ultrasonici	Trapani con punta vibrante a frequenze ultrasoniche	25 - 40	ARIA
Smerigliatrici	Affilatura lame metalliche	<10 - 31,5	ARIA
Ugelli ad aria compressa	Asciugatori e pulitori ad aria compressa	<10 - >40	ARIA
Verniciatura tramite aerografo	Aerografo per deposizioni/verniciatura	<10 - 50	ARIA
Lavorazione legno, lapidei, metalmeccanica	Lavorazione rotativa, smerigliatura a impatto con fanghi abrasivi, foratura assistita da vibrazioni	<10 - >40	ARIA
Estrazione	Estrazione di essenze e succhi da fiori, piante e frutta per l'utilizzo in industria cosmetica	20	ARIA
Macchine tessili	Macchine con lavorazione ad alta velocità	<10 - 40	ARIA
Motori aereo	Zona gas di scarico	<10 - 30	ARIA
Dissuasori ultrasonici	Dispositivi per allontanare animali/insetti anche in zone ad accesso pubblico	10 – 63	ARIA
Scaccia zanzare	Applicazione per smartphone	20	ARIA
Avvitatore pneumatico	Avvitatore bulloni	<10 - 50	ARIA
Disintegratore ultrasonico	Disintegratore di solidi/corpuscoli non in acqua	<10 - 25	ARIA
Compressori aria	Generatori di aria compressa	<10 - 40	ARIA
Gruppo elettrogeno	Generatori elettrici con motore a scoppio	<10 - 25	ARIA
Generatori elettrici ad Inverter	Generatori elettrici a stato solido	20 - 50	ARIA
Turbina Vapore centrali elettriche	Turbine Vapore /Gas per la produzione energia elettrica	<10 - 40	ARIA
Alternatore di Potenza centrali elettriche	Alternatori di potenza per la produzione di energia elettrica	<10 - 40	ARIA
Riduttori di pressione impianti industriali	Turbo riduttore di pressione gas e valvole di sviato	<10 - 80	ARIA
Bisturi ad US	Chirurgia	40 - 60	ARIA
Ablatori ad US	Applicazioni odontoiatriche	20 - 60	ARIA
Umidificatori ad US	Umidificatore per ambienti interni	<60 - 80	ARIA

Dispersione ultrasonica di fanghi ceramici	dispersione e de-agglomerazione delle particelle ceramiche	18 - 20	LIQUIDI/ARIA
Laboratori industriali e di ricerca	Omogeneizzatori da laboratorio: accelerazione alcune reazioni chimiche; emulsificazione; dispersione; dissoluzione o rottura delle cellule; sonicatori	20-40	LIQUIDI/ARIA
Lavatrici ultrasoniche	Pulizia e sgrassaggio. La soluzione detergente pulisce le parti immerse attraverso il processo di cavitazione	20 - 63	LIQUIDI/ARIA
Diagnostica per immagini	Ecografia	1000 - 20 000	LIQUIDI
Terapie mediche	Litotrixxia percutanea	1000 - 3000	LIQUIDI
Nota: Le sorgenti sonore riportate in tabella posso avere uno spettro di emissione a larga banda o a banda stretta su frequenze diverse, variabili da dispositivo a dispositivo, che coinvolgono sia l'intervallo udibile che quello ultrasonico. Con il simbolo minore < e maggiore > si intende che le frequenze di emissione posso essere al di sotto o al di sopra del valore indicato. I valori riportati sono presi dalla letteratura o da misure sui dispositivi.			

A.1 Quali sono gli effetti sulla salute e sicurezza dovuti all'esposizione a ultrasuoni?

La caratteristica degli US di non essere percepiti dall'orecchio umano rende possibili molteplici applicazioni degli US stessi a livelli di intensità così elevati che alle frequenze udibili non sarebbero sopportabili da parte dell'apparato uditivo umano; d'altra parte, tali elevati livelli di intensità possono comportare rischi per la salute di soggetti la cui esposizione può anche essere inconsapevole.

In generale il rischio occupazionale da esposizione a US è legato principalmente alla possibilità che il lavoratore possa entrare accidentalmente a contatto diretto con gli US generati dalla sorgente, soprattutto nelle fasi manutentive.

L'esposizione a contatto avviene quando non vi è interposizione di aria o di un liquido tra la sorgente che genera US ed il tessuto esposto. L'esposizione per contatto diretto è in grado di trasferire la maggior parte dell'energia irradiata al tessuto esposto. Gli strati di aria o di liquido eventualmente interposti riducono l'esposizione. Ad esempio, se un operatore immerge accidentalmente le dita nel bagno d'acqua di un umidificatore ad US, l'energia trasferita alle ossa è approssimativamente il 65% di quella irradiata. Ma se le dita sono fuori dall'acqua, l'energia trasferita risulta essere vari ordini di grandezza inferiore.

Dispositivi che operano nell'intervallo di frequenze dei megahertz sono in grado di danneggiare i tessuti solo in caso di contatto diretto del corpo con la sorgente.

Nel caso di propagazione aerea gli operatori possono risultare esposti a livelli nocivi per l'apparato uditivo, come può avvenire nel caso di addetti a saldature o pulitrici o altri apparati ad US.

Gli US possono provocare:

Effetti sull'apparato uditivo. Tali effetti si riferiscono a US a bassa frequenza, fino circa a 100 kHz. Può verificarsi un innalzamento temporaneo della soglia uditiva che può portare nel tempo ad una perdita significativa dell'udito. Alcuni studi associano questi effetti alle subarmoniche nel campo dell'udibile generate da sorgenti di US.

Effetti soggettivi. La percezione di tali effetti può variare da individuo a individuo. Sono stati segnalati affaticamento eccessivo, cefalea, nausea, vomito, gastralgie, sensazione di occlusione e pressione nell'orecchio, ronzii, disturbi del sonno, perdita del senso di equilibrio, vertigini ecc. anch'essi presumibilmente dovuti alle componenti udibili di alta frequenza (sub armoniche delle emissioni ultrasoniche).

Inoltre, alcuni individui, in particolare i soggetti più giovani, possono percepire sensazioni uditive in presenza di US alle frequenze più basse (16-20 kHz) con possibile disagio.

Effetti di cavitazione in organi/tessuti contenenti gas anche disciolti. Tali fenomeni, di tipo meccanico, sono in genere determinati dall'applicazione degli US in ambito estetico e medico.

Effetti termici su organi e tessuti. Si riferiscono principalmente ad US a frequenze > 1 MHz. L'assorbimento localizzato o diffuso di energia può provocare il riscaldamento del tessuto interessato, con entità dipendente dalla frequenza ultrasonica. Il danno è funzione del calore accumulato e quindi della variazione di temperatura nel tessuto.

È opportuno segnalare che gli US potrebbero influire negativamente su dispositivi medici quali ad esempio protesi acustiche, lenti a contatto e pacemaker, determinando sui soggetti esposti effetti di tipo indiretto.

A.2 Quali sono le condizioni soggettive o i cofattori espositivi che incrementano il rischio da ultrasuoni? Come va effettuata la valutazione del rischio in tali casi?

Con riferimento all'articolo 183 del D.Lgs.81/08 (Lavoratori particolarmente sensibili), il datore di lavoro adatta le misure di cui all'articolo 182 (Disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi) alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio che, anche nel caso di esposizione ad US, includono i minori (L.977/67 e s.m.i.) e le lavoratrici in gravidanza (D.Lgs.151/2001).

Vanno inoltre annoverati i lavoratori che indossano protesi acustiche, lenti a contatto, pacemaker (soprattutto se di vecchia generazione), soggetti ipoacusici.

Per quanto riguarda gli effetti sull'apparato uditivo, alcuni individui possono risultare più suscettibili di altri all'insorgenza di disturbi per predisposizione individuale o altro.

I principali fattori che possono incrementare il rischio individuale sono:

- predisposizione individuale;
- età;
- patologie croniche come diabete ed ipertensione;
- fumo;
- patologie pregresse a carico dell'organo dell'udito;
- uso di farmaci ototossici (di seguito trattati);
- esposizione a sostanze ototossiche (di seguito trattate);
- esposizione a vibrazioni.

OTOTOSSICI

Sostanze ototossiche

Le sostanze chimiche, i solventi e i medicinali che possono causare danni all'udito permanenti o temporanei sono chiamate ototossine. Molti solventi industriali sono ototossici.

Le sostanze chimiche solitamente inalate o assorbite attraverso la pelle possono raggiungere l'orecchio interno attraverso la circolazione sanguigna.

Le sostanze chimiche e i solventi di cui è noto l'effetto ototossico comprendono: tricloroetilene, xilene, stirene, toluene, esano e disolfuro di carbonio.

Danni all'orecchio interno possono venire anche dall'ossido di carbonio, che causa un'ipossia generale dell'organismo.

Farmaci ototossici

L'uso di alcuni medicinali può anch'esso avere effetti ototossici.

Chi assume farmaci di cui è noto l'effetto ototossico non dovrebbe essere esposto agli US. Fra i medicinali che hanno un'influenza sull'udito si trovano alcuni antibiotici, i farmaci per il trattamento del cancro, diuretici e chinine. Non è stato provato un effetto combinato di medicinali e US sull'udito nonostante gli effetti individuali di molti farmaci sull'udito siano ben documentati.

In tabella A.2 si riportano gli agenti chimici che possono causare perdita dell'udito ed un elenco non esaustivo delle industrie maggiormente interessate dalla loro utilizzazione.

Non sono note curve dose risposta che consentano di quantificare l'incremento del rischio di esposizione agli US in presenza di dette sostanze.

Tabella A.2 - Elenco sostanze ototossiche e dei più comuni settori di impiego.

Tratta da Guida non vincolante di buone prassi per l'applicazione della direttiva 2003/10/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore).

Agente chimico	Industria
Tricloroetilene (usato solo in regime di autorizzazione)	Sgrassatori di metalli industriali e pulizie tessuti
Xilene	Settore chimico, petrolifero, trasporti, vernici, sanitario (anatomia patologica)
Stirene	Industrie di trasformazione (alimentare, chimica, gomma e materie plastiche, ecc.), commercio, servizi, trasporti, costruzioni
Toluene	Industria delle vernici, gomma e materie plastiche, stampa
Acido cianidrico	Industria estrattiva, galvanoplastica, industria chimica, acciaio, metallurgia, trasformazione (fibre sintetiche, plastiche, coloranti, pigmenti, nylon)
Disolfuro di carbonio	Industria tessile, agricoltura, laboratori chimici
Piombo	Settore minerario, elettricità, chimico
Ossido di carbonio	Trasporti (motori a scoppio), lotta antincendio, acciaio, metallurgia, pasta di cellulosa e carta

Interazione fra esposizione ad US e vibrazioni

In analogia a quanto avviene per esposizione al rumore possono verificarsi effetti sinergici tra esposizione a US ed esposizione a vibrazioni mano braccio o corpo intero. Non sono però disponibili relazioni dose risposta relative a tali interazioni. Al fine di garantire misure preventive, si assume che esposizioni a vibrazioni superiori a valori di azione debbano essere sempre considerate come in grado di incrementare il rischio espositivo a US.

Si sottolinea che per tutte le condizioni di incremento di rischio espositivo trattate, la valutazione del rischio è da effettuarsi caso per caso. E' consigliabile segnalare le aree nelle quali i livelli di esposizione sono superiori a quelli più restrittivi indicati per la popolazione dai riferimenti protezionistici internazionali, quali quelli stabiliti dall'IRPA/INIRC (FAQ C3, FAQ D8), tenendo presente che, in alcuni casi, essi potrebbero non essere sufficientemente protettivi.

Il personale qualificato che effettua la valutazione indicherà, in collaborazione con il medico competente, eventualmente in collaborazione con il Medico Specialista Audiologo/Otorinolaringoiatra, l'esigenza delle particolari tutele previste dai riferimenti protezionistici internazionali o dalla letteratura rispetto ai gruppi di lavoratori particolarmente sensibili.

A.3 Qual è il ruolo del medico competente per lavoratori esposti a ultrasuoni? Quando e con quali modalità attivare la sorveglianza sanitaria?

Per sorveglianza sanitaria (SS) si intende l'insieme degli atti medici di prevenzione atti a verificare la compatibilità tra la salute dei lavoratori e la esposizione ad un agente di rischio e la conseguente idoneità specifica al lavoro, la permanenza nel tempo delle condizioni di salute del lavoratore, la valutazione sulla efficacia delle misure di prevenzione intraprese, il rafforzamento della conformità su misure e comportamenti corretti. La SS consente inoltre di valutare l'opportunità di sottoporsi ad esami periodici anche successivamente alla cessazione delle attività lavorative.

Come per gli altri agenti fisici per i quali non è previsto un Capo specifico all'interno del Titolo VIII del D.Lgs. 81/08, l'obbligo di attivare la sorveglianza sanitaria nei confronti dei lavoratori esposti ad US scaturisce dai risultati della valutazione del rischio-specifico.

Il Medico Competente, che partecipa attivamente alla valutazione del rischio, dovrà tenere conto nell'effettuazione dell'attività di sorveglianza sanitaria, della presenza del rischio derivante dall'esposizione a US, soprattutto per quei lavoratori che, a seguito di patologie o di condizioni individuali, possano risultare particolarmente sensibili.

La sorveglianza sanitaria deve essere specifica per la prevenzione dei danni agli organi bersaglio, tipicamente l'orecchio per quanto riguarda gli effetti uditivi e andrà attivata quando i livelli di esposizione presenti nel luogo di lavoro sono tali, allo stato attuale delle conoscenze, da indurre effetti.

Qualora emergano potenziali rischi per l'apparato uditivo dovuti ad US, i protocolli sanitari potranno essere gli stessi di quelli adottati nel caso di esposizione a rumore.

Si rileva che ai sensi dell'art. 25 del D.Lgs. 81/08, il Medico Competente collabora con il datore di lavoro e partecipa alla programmazione del controllo dell'esposizione dei lavoratori i cui risultati gli sono forniti con tempestività, ai fini sia della valutazione del rischio e della sorveglianza sanitaria, da effettuarsi in considerazione sia degli indirizzi scientifici più avanzati, sia della predisposizione delle misure per la tutela della salute e della integrità psico-fisica dei lavoratori.

Con riferimento all'art. 41 del D.Lgs. 81/08 è in ogni caso prevista la possibilità di attivare la sorveglianza sanitaria qualora il lavoratore ne faccia richiesta al Medico Competente (ove già presente in azienda), nel momento in cui il Medico Competente la ritenga correlata ai rischi lavorativi o alle condizioni di salute del lavoratore suscettibili di peggioramento a causa dell'attività lavorativa svolta. Ciò presuppone che sia stata impartita un'efficace informazione/formazione aziendale sugli effetti dell'esposizione ad US che ha reso consapevole il lavoratore delle condizioni di rischio residuo e di suscettibilità individuale.

Il Medico Competente deve comunicare tutte le informazioni necessarie alla valutazione del rischio ed all'attuazione delle misure per tutelare la salute e l'integrità psicofisica dei lavoratori.

Tali informazioni comprendono sia le comunicazioni individuali al singolo lavoratore relative ad eventuali alterazioni apprezzabili del suo stato di salute, sia quelle relative ai risultati anonimi collettivi sullo stato di salute rilevato nel corso dei controlli, questi ultimi comunicati e formalizzati ufficialmente per iscritto in occasione delle riunioni periodiche, ex art. 35 D.Lgs. 81/08.

SEZIONE B

METODICHE E STRUMENTAZIONE PER LA MISURA DEGLI ULTRASUONI

In questa prima versione del documento vengono trattate le metodiche e la strumentazione di misura degli US che si propagano in aria, in quanto rappresentano la condizione espositiva maggiormente diffusa in ambito occupazionale.

B.1 Quali grandezze fisiche devono essere misurate o stimate per la valutazione del rischio da ultrasuoni in aria?

Ai fini della valutazione dell'esposizione ad US la scelta delle grandezze da misurare/stimare dipende dal mezzo di propagazione e dai livelli raccomandati da organismi internazionali (vedi FAQ C3) con i quali effettuare il confronto ai fini della verifica di conformità.

Per gli US che si propagano in aria, dove spesso le sorgenti presentano una natura emissiva essenzialmente di tipo tonale (monocromatica / sinusoidale, armonica), si procede misurandone i livelli di pressione acustica, espressi in dB (riferiti a 20 μPa), per ciascuna banda di terzi d'ottava (20 kHz, 25 kHz, 31.5 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 63 kHz, 80 kHz, 100 kHz), con ponderazione temporale Slow, in un intervallo di tempo rappresentativo del funzionamento ordinario della sorgente.

Questa scelta deriva dal fatto che buona parte dei limiti ammessi sono espressi in bande di terzi di ottava.

Non tutti gli strumenti in grado di misurare la banda ultrasonica arrivano a 100 kHz, comunque la banda dello strumento deve essere adeguata alle caratteristiche acustiche della sorgente (vedi FAQ B2).

Molto spesso è 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. In tal caso si può ricorrere ad analisi in banda percentuale costante più stretta (sottomultipli di terzi di ottava: 1/6, 1/12, 1/24 di ottava) oppure con un'analisi a larghezza di banda costante tramite FFT (Fast Fourier Transform).

Livello equivalente di pressione sonora

$L_{eq,T}$ è il valore del livello di pressione sonora (in banda larga o nella specifica banda di terzi di ottava) di un suono costante che, nel corso di un periodo specificato $T = T_2 - T_1$, ha la medesima pressione quadratica media del suono considerato, il cui livello varia in funzione del tempo [1]:

$$L_{eq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{\int_{T_1}^{T_2} P^2(t) dt}{P_0^2 T} \right] dB$$

Livello di pressione sonora con ponderazione temporale

Il valore è definito dalla seguente espressione [1]:

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

dove:

- f è il valore in kHz della banda di terzi di ottava considerata
 τ è la costante di tempo esponenziale espressa in secondi, per la ponderazione temporale F o S (F sta per Fast con costante di tempo = 125 ms, ed S sta per Slow con costante di tempo = 1000 ms)
 ξ è la variabile di integrazione nel tempo
 $P_f(\xi)$ è la pressione sonora istantanea, misurata nell'istante ξ
 P_0 è la pressione sonora di riferimento (20 μ Pa)

Livello di pressione sonora massimo con ponderazione temporale

$L_{f\tau\max}$ è il livello sonoro massimo misurato, nella banda f di terzi di ottava considerata e ponderazione temporale τ (F o S), entro un intervallo di tempo dato [1].

Il livello sonoro massimo con ponderazione temporale Slow per ogni banda di terzi di ottava è il valore che va confrontato con i limiti proposti (vedi FAQ C3 e C4).

B.2 Con quale strumentazione devono essere effettuate le misure relative agli ultrasuoni in aria?

A differenza delle misurazioni dei livelli di pressione sonora nella gamma delle frequenze udibili, che vengono eseguite utilizzando strumentazione per la quale sono specificati i requisiti da norme internazionali [1], purtroppo allo stato attuale non esistono norme internazionali che definiscono in maniera chiara ed univoca i requisiti della strumentazione per le misurazioni dei livelli di pressione sonora in aria all'interno dell'intervallo ultrasonico, nonché indicazioni per la loro taratura periodica. Tuttavia, ci sono standard nazionali che forniscono alcune utili informazioni (ad es. [2]).

La strumentazione di misura deve poter rilevare gli US, quindi il primo requisito è di avere una banda passante con frequenza superiore maggiore di 20 kHz e preferibilmente fino a 100 kHz. Maggiore è la banda passante dello strumento, maggiore sarà la tipologia di sorgenti che è possibile misurare.

La strumentazione comprende tutti i componenti della catena di misura, considerando: il fonometro (o sistema di acquisizione), il microfono, il preamplificatore, il cavo ed i programmi di visualizzazione, analisi ed elaborazione.

La strumentazione deve avere una risposta di banda piatta per tutta la banda ultrasonica da 20 kHz alla frequenza massima, ad esempio 100 kHz.

Le specifiche di classe 1 [1], sebbene non coprano la gamma degli US, possono costituire un valido punto di partenza per la scelta della strumentazione adeguata. Analizzando i diversi criteri esistenti di valutazione degli US in aria, una soluzione consiste nell'eseguire misurazioni usando uno strumento (misuratore/analizzatore) di classe 1 dotato di un microfono adatto per la gamma di frequenza di interesse [3] e filtri a bande di 1/3 di ottava [4], a condizione che:

- la risposta in frequenza dello strumento copra l'intervallo di frequenze di interesse;
- la frequenza di campionamento dello strumento digitale sia almeno il doppio della massima frequenza che si vuole misurare;
- la frequenza centrale della banda di frequenza più alta fra quelle accessibili mediante la strumentazione utilizzata sia superiore alla frequenza da misurare;
- la gamma dinamica e la linearità dello strumento siano regolate in funzione della sensibilità del microfono e sufficienti per la misurazione dei livelli di pressione sonora reali.

È opportuno che i requisiti siano 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 la strumentazione (tutta la catena di misura) deve essere eseguita la verifica periodica, con periodo non maggiore di 2 anni, della conformità alle norme tecniche pertinenti [1, 5, 6] (taratura), in base alla omologazione dello strumento effettuata dal produttore rispetto alla specifica edizione della norma tecnica. Tale verifica deve comunque avvenire dopo un evento traumatico per gli strumenti o dopo una riparazione degli stessi.

In questo caso, la taratura LAT della parte udibile, quale indice di buon funzionamento anche della parte ultrasonica, va allegata alla relazione.

Per la misura degli US in aria, risulta di particolare importanza il microfono impiegato. Per ragioni legate a fenomeni di diffrazione intorno alla capsula microfonica, fino a 40 kHz, è possibile utilizzare microfoni con capsule da 1/2" la cui banda passante risulti piatta fino a tale frequenza.

Per misurare frequenze superiori, è necessario impiegare microfoni più piccoli, da 1/4" o 1/8" fermo restando che la loro banda passante rimanga piatta fino alle frequenze massime di indagine; in questo caso, data la attuale carenza di centri LAT per la taratura nella gamma ultrasonica è preferibile allegare alla relazione il rapporto tecnico sul comportamento dello strumento nella banda ultrasonica.

Non solo il microfono ma l'intera catena di misura dovrebbe garantire una risposta in frequenza ragionevolmente piatta nell'intervallo di frequenze di misura utile. Gli effetti sulla risposta in frequenza della griglia di protezione del microfono e della risonanza della membrana dovrebbero essere noti e lo strumento dovrebbe avere la possibilità di compensarli.

Se possibile, 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 per 40 kHz) [8]. Tuttavia, qualora si verificasse la necessità di impiegare tale protezione (misure in presenza di flussi di aria ecc.), il comportamento del microfono con tale accessorio dovrebbe essere noto.

Quando sono impiegati cavi di prolunga microfonica, va tenuto in conto che i cavi:

- possono influenzare il valore della tensione di uscita e la risposta in frequenza del sistema microfono-preamplificatore;
- possono insorgere interferenze da radiofrequenze elettromagnetiche sulle misure tramite il preamplificatore e altri componenti del sistema

Tali effetti sono trascurabili quando i cavi hanno lunghezza non superiore a 2 metri.

La ponderazione in frequenza da utilizzare durante le misure è la Z definita dallo standard CEI EN61672-1 [1]. La ponderazione Z identifica la curva di risposta piatta dello strumento, o se vogliamo l'assenza di qualunque ponderazione.

B.3 Quali fattori influenzano l'incertezza di misura?

L'incertezza dipende da alcuni fattori quali:

- strumentazione utilizzata e calibrazione;
- condizioni operative di misura (posizionamento microfono, vicinanza a superfici riflettenti, distanza sorgente-ricettore, presenza di oggetti schermanti tra sorgente e microfono ecc.);
- tipologia di sorgente sonora (impulsiva, stazionaria, etc.);
- intervallo temporale di misura;
- condizioni climatiche/termoigrometriche;
- falsi contributi, per esempio dal vento, correnti d'aria o impatti sul microfono;
- contributi da sorgenti ultrasoniche interferenti;
- calcoli in differita sui dati registrati;
- tempi di esposizione.

Una valutazione dell'incertezza va effettuata per tutti i parametri utilizzati nel confronto con i livelli di riferimento prescelti.

La UNI CEI 70098-3 [9] "Incertezza di misura - Parte 3: Guida all'espressione dell'incertezza di misura", costituisce l'adozione, con trasposizione in norma nazionale, della Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM), ossia la vigente ISO/IEC Guide 98-3 [10].

Non essendo stata ancora emanata una normativa tecnica pertinente, come primo approccio per la stima dell'incertezza si raccomanda di considerare le prove ripetute (effettuare almeno tre misure in condizioni ripetitive) e l'incertezza dello strumento.

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?

Nell'intervallo di frequenze fino a 100 kHz, si possono considerare le postazioni di misura indicate dalle norme tecniche UNI 9432 e UNI EN ISO 9612 [11,12], in analogia alle misure di esposizione al rumore. Nello specifico, prima di effettuare delle misure di US, si devono acquisire le informazioni sullo scenario espositivo, incluse le postazioni occupate e le modalità di lavoro dell'operatore. Occorre quindi tener presente:

- le caratteristiche dell'emissione ultrasonica: costante, fluttuante, impulsiva, ciclico, ecc.;
- le condizioni acustiche intorno alla postazione di misura, compresa la presenza di eventuali sorgenti di interferenza;
- 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.

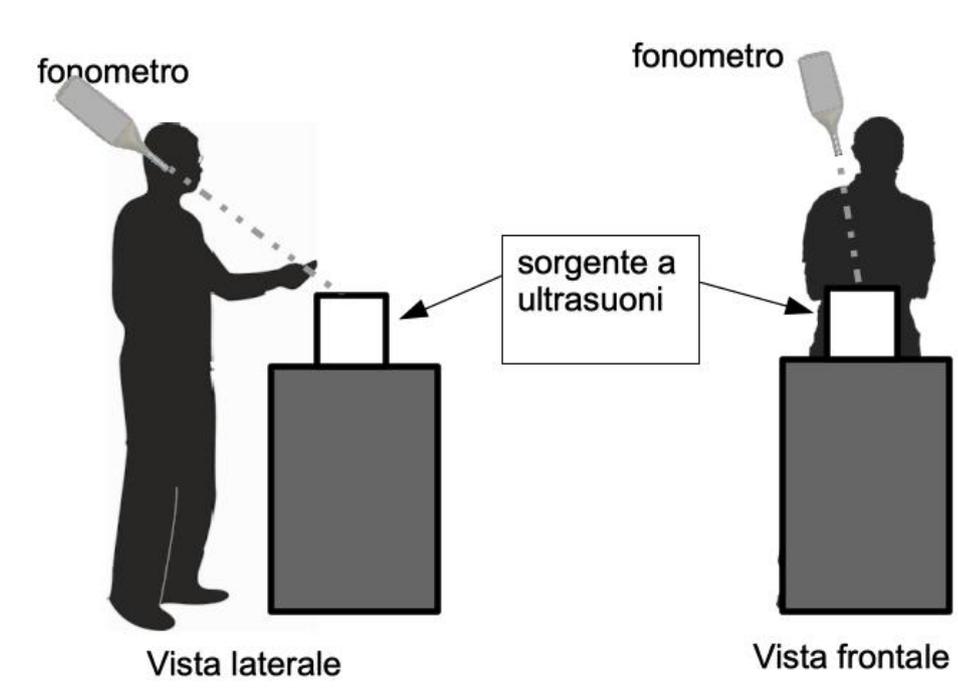
Sulla base delle informazioni raccolte e/o fornite dal datore di lavoro devono essere pianificati:

- le posizioni di misura
- il numero delle misure
- i tempi di misura

in modo da ottenere una rappresentazione significativa delle condizioni di esposizione dei lavoratori.

Per quanto riguarda le postazioni di misura, data la possibile direttività di questa tipologia di sorgenti, si suggerisce la seguente metodologia:

- 1) una campagna di misure intorno alla sorgente in modo da verificare la natura e la direttività della sorgente ed individuare la o le direzioni in cui si ha massima emissione;
- 2) una mappatura dei livelli di esposizione nelle aree accessibili ai lavoratori al fine di identificare e segnalare eventuali zone ad accesso controllato (vedi FAQ D8). Per questa tipologia di misura il microfono deve essere posizionato nelle aree che si prevede siano accessibili ai lavoratori;
- 3) per gli operatori addetti alla specifica sorgente che stazionano nelle vicinanze della stessa durante il suo funzionamento, al fine di quantificare il livello di esposizione, eseguire le misure in prossimità dell'orecchio maggiormente esposto (se individuabile), orientando il microfono verso la sorgente (entro +/- 20 gradi si ha una variazione minima dei valori misurati) ed ad una distanza dall'orecchio non superiore ai 10 cm (per distanze maggiori si riscontrano forti variazioni dei livelli) [23].



Schema – posizionamento fonometro rispetto al lavoratore esposto a US.

SEZIONE C

VALUTAZIONE DEL RISCHIO

C.1 Secondo quale metodologia deve essere effettuata la valutazione del rischio?

Con riferimento agli articoli 28 e 181 del D.Lgs.81/08, il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad US 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.

La valutazione del rischio da esposizione a US deve riguardare l'esposizione complessiva del lavoratore e pertanto, dovrà tenere in considerazione tutte le sorgenti a cui può essere esposto considerando tutti gli effetti conosciuti (vedi FAQ A1) e la eventuale presenza di lavoratori particolarmente sensibili al rischio.

Una volta individuate tutte le attrezzature e gli apparati sorgenti di US dovranno essere necessariamente consultati gli specifici manuali di uso e manutenzione, predisposti dai fabbricanti o dai distributori (FAQ E.1). Tali manuali possono contenere indicazioni in riferimento ai livelli di emissione dell'apparato nonché le misure di tutela per un utilizzo in sicurezza dell'apparato.

Per poter utilizzare correttamente le informazioni ed i dati forniti dai fabbricanti è indispensabile che le attrezzature/dispositivi siano utilizzati in conformità a quanto indicato dal costruttore, anche in riferimento alle procedure relative alla manutenzione preventiva e periodica.

Note le sorgenti e le rispettive informazioni fornite dal costruttore, prima di procedere ad effettuare misurazioni, è possibile consultare la banca dati disponibile sul portale degli agenti fisici al link www.portaleagentifisici.it nella sezione espressamente dedicata agli US. Per poter utilizzare correttamente le informazioni ed i dati forniti dalla banca dati US è indispensabile verificare che la macchina/dispositivo sia esattamente lo stesso e che le procedure operative adottate siano conformi a quanto riportato in banca dati. Il rapporto di valutazione del rischio deve prevedere espressamente che siano messe in atto le misure di tutela indicate in banca dati per lo specifico apparato.

Si raccomanda di consultare la banca dati anche qualora si decida di effettuare la valutazione dell'esposizione con misure, per verificare se le proprie valutazioni e misure di tutela siano congrue o meno con le indicazioni in essa fornite.

Il confronto con i dati di misura contenuti in banca dati può permettere anche di verificare se l'apparato oggetto di valutazione specifica presenti emissioni in eccesso rispetto a quelle riportate per la stessa tipologia di macchinario: in tal caso sarà necessario procedere all'individuazione delle cause ai fini della riduzione e del controllo del rischio.

Altre fonti utilizzabili per la valutazione del rischio sono:

- valutazioni del rischio effettuate presso aziende simili dello stesso comparto derivanti da indagini precedenti;
- norme tecniche;
- linee guida;

- dati di letteratura.

C.2 È sempre necessario effettuare la valutazione con misurazioni?

No. Con riferimento agli articoli 28 e 181 del D.Lgs. 81/08, il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione a US, ma questo non comporta necessariamente l'effettuazione di misurazioni.

Prima di procedere ad una attività metrologica è possibile infatti, utilizzare diverse fonti informative (FAQ C1) quali: dati relativi alle emissioni ed alla sicurezza forniti dal fabbricante o dal distributore dell'apparecchiatura sorgente; dati reperibili presso banche dati accreditate, quali quelli disponibili sul Portale Agenti Fisici; dati di letteratura, etc.

C.3.1 Esistono limiti di esposizione e/o valori soglia raccomandati a livello internazionale per gli ultrasuoni che si propagano in aria?

L'art. 180 del D.Lgs. 81/08 introduce gli US tra gli agenti fisici che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori. Ai sensi dell'art. 181 comma 1, la valutazione di tali rischi deve essere effettuata obbligatoriamente dal datore di lavoro nell'ambito della valutazione dei rischi generale di cui all'art. 28 e deve essere tale da "identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica e alle buone prassi". A differenza di altri agenti fisici, per i quali sono previsti capi specifici riportanti valori limite di esposizione, gli US non sono però oggetto di un capo specifico, né è attualmente vigente alcuna altra normativa nazionale che definisca valori limite di esposizione cogenti a cui debba riferirsi il datore di lavoro nella valutazione del rischio. Si sottolinea inoltre l'assenza di un inquadramento normativo di riferimento a livello UE. Per rispondere agli obblighi di legge è possibile comunque riferirsi ad orientamenti protezionistici internazionali.

Si riportano di seguito nelle Tabelle C1 e C2, i limiti raccomandati per i lavoratori e per la popolazione dall'International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (IRPA-INIRC) nelle Linee Guida del 1984 "*Interim guidelines on limits of human exposure to airborne ultrasound*" [13].

I limiti raccomandati dall'IRPA-INIRC sono stati stabiliti sulla base dei potenziali effetti soggettivi come nausea, mal di testa, affaticamento, acufeni riportati in letteratura e sono basati sull'assunto che l'esposizione avvenga in aria e che non si verifichi mai il contatto diretto del soggetto esposto con la sorgente.

Si suppone che tali limiti siano protettivi anche nei riguardi di effetti più rilevanti, in quanto esposizioni fino a questi livelli normalmente non causano un innalzamento momentaneo della soglia uditiva, effetto che, ripetuto nel tempo può portare ad un deficit del sistema uditivo.

Poiché praticamente tutti gli effetti avversi riportati si riferiscono a frequenze inferiori a 100 kHz, e quasi sempre inferiori a 50 kHz, i limiti IRPA-INIRC sono definiti per bande di terzi di ottava con frequenze centrali da 20 kHz a 100 kHz.

In Tabella C1 si riportano i limiti stabiliti da IRPA-INIRC nel caso di esposizione dei lavoratori (esposizione continuativa di 8 h) e della popolazione (esposizione continuativa \leq 24 h).

Tabella C1 - Limiti IRPA-INIRC per esposizione dei lavoratori (continuativa per 8 h) e della popolazione (continuativa \leq 24 h) per US in aria

Frequenza centrale della banda in terzi d'ottava (kHz)	Esposizione lavoratori SPL - Livello di pressione sonora (dB re: 20 μ Pa)	Esposizione popolazione SPL - Livello di pressione sonora (dB re: 20 μ Pa)
20	75	70
25	110	100
31,5	110	100
40	110	100
50	110	100
63	110	100
80	110	100
100	110	100

I limiti riportati in Tabella C1 sono espressi in termini di livelli di pressione sonora (Sound Pressure Level SPL) in decibel (dB), a loro volta definiti in base al valore rms (o valore efficace) della pressione acustica (Allegato 1). I limiti IRPA-INIRC tengono conto della durata complessiva dell'esposizione quando questa è inferiore alle 4 ore giornaliere modificando i limiti per i lavoratori riportati in Tabella C1 come indicato nella seguente Tabella C2.

Tabella C2 - Modifica dei limiti di esposizione professionale indicati nella Tabella C1 per la durata dell'esposizione non superiore a 4 ore al giorno

Modifica dei limiti di esposizione professionale per durata di esposizione non superiore a 4 ore al giorno	
Durata esposizione (h)	Correzione (dB)
2-4	+3
1-2	+6
0-1	+9

Le linee guida Canadesi del 1991 "*Guidelines for the Safe Use of Ultrasound: Part II Industrial and Commercial Applications*" [14] a cura dell'Health Canada indicano limiti di esposizione per le esposizioni lavorative identici a quelli IRPA-INIRC tra 20 e 50 kHz (Tabella C3), massima frequenza considerata, ed esplicitamente sono indipendenti dal tempo di esposizione in quanto gli effetti soggettivi possono verificarsi

immediatamente. Si tratta quindi esplicitamente di "ceiling values", inoltre non è previsto nessun aumento dei limiti per esposizioni inferiori alle 4 ore come invece previsto dall'IRPA-INIRC.

Tabella C3 - Limiti (SPL in banda di 1/3 di ottava) raccomandati dalle Canadian Exposure Guidelines per esposizione dei lavoratori per US in aria

Frequency (kHz)	SPL (dB)
16	75
20	75
25	110
31.5	110
40	110
50	110

Si evidenzia che i limiti stabiliti dall'IRPA-INIRC per l'esposizione della popolazione sono più bassi di quelli fissati per i lavoratori in quanto devono essere prese in considerazione le seguenti argomentazioni:

- potrebbero riscontrarsi esposizioni con durate considerevoli, fino a 24 ore al giorno;
- non è prevista una sorveglianza sanitaria;
- non sarebbe opportuno richiedere l'utilizzo di dispositivi di protezione per mantenere i livelli ultrasonori entro i limiti;
- oltre ai possibili effetti uditivi bisogna considerare anche effetti di fastidio, stress ecc.;
- all'interno della popolazione possono esserci persone particolarmente suscettibili agli effetti degli agenti fisici, compresi gli US.

In ambiente di lavoro i livelli di protezione stabiliti per la popolazione sono rilevanti nel caso di esposizione di soggetti particolarmente sensibili al rischio, nonché nella definizione delle sorgenti giustificabili (FAQ C.5).

Si riportano in Tabella C4 i limiti stabiliti dall'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) per esposizione occupazionale a US che si propagano in aria riportati nel documento *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices* [15]. Questi limiti rappresentano le condizioni al di sotto delle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori non sperimenti un innalzamento temporaneo della soglia uditiva. I valori Time Weight Average (TWA) per 8 ore sono un'estensione dei limiti per il rumore, ovvero 85 dB per 8 ore.

I Threshold Limit Values (TLV) proposti dall'ACGIH rappresentano le condizioni al di sotto delle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa essere ripetutamente esposto senza effetti avversi sulle loro capacità di udire e comprendere una normale conversazione.

Tabella C4 - Limiti ACGIH per esposizione dei lavoratori

Frequenza centrale della banda di 1/3 di ottava (kHz)	Misurati in aria in dB Riferiti a 20 µPa; testa in aria	
	Valori Limite di soglia (Ceiling)	TWA (8 h)
10	105 ^(A)	88 ^(A)
12,5	105 ^(A)	89 ^(A)
16	105 ^(A)	92 ^(A)
20	105 ^(A)	94 ^(A)
25	110 ^(B)	-
31,5	115 ^(B)	-
40	115 ^(B)	-
50	115 ^(B)	-
63	115 ^(B)	-
80	115 ^(B)	-
100	115 ^(B)	-

- (A) Disturbo soggettivo e disagio possono verificarsi, in alcuni individui, a livelli compresi tra 75 e 105 dB per frequenze comprese tra 10 kHz e 20 kHz specialmente se di natura tonale. Possono essere necessarie protezioni individuali o interventi ingegneristici per prevenire effetti soggettivi. Suoni tonali di frequenza inferiore a 10 kHz dovrebbero pure essere ridotti a 80 dB.
- (B) Questi limiti presuppongono che il soggetto sia a contatto con acqua o con altro mezzo. Questi limiti possono essere aumentati di 30 dB quando non vi è possibilità che l'ultrasuono agisca sul corpo per contatto con l'acqua o altri mezzi. Quando la sorgente di US viene in contatto diretto con il corpo, i valori della tabella non sono validi. E' necessario usare il valore del livello di vibrazione sull'osso mastoide. E' necessario evitare valori di accelerazione di 15 dB superiori al riferimento di 1g rms riducendo l'esposizione o isolando il corpo a contatto con la sorgente (g = accelerazione dovuta alla forza di gravità, pari a 9,80665 m/s²; rms = root mean square, valore quadratico medio o valore efficace).

Esposizioni anche brevi a livelli superiori a 105 dB portano ad un innalzamento temporaneo della soglia uditiva.

Nell'intervallo di frequenze tra 25 kHz e 100 kHz, se l'unico mezzo di propagazione fra la sorgente ultrasonica e la testa dell'operatore è l'aria, un livello superiore a 145 dB anche per pochi secondi, porta ad un innalzamento momentaneo della soglia uditiva [16].

Se invece la testa dell'operatore è immersa in acqua insieme alla sorgente, allora l'innalzamento della soglia uditiva si manifesta per livelli superiori a 115 dB (riferiti a 20 µPa in aria). Livelli inferiori a 145 dB

(testa in aria) o 105 dB (testa in acqua), possono comunque portare ad un graduale deterioramento dell'udito nelle frequenze superiori a 8 kHz.

I limiti di esposizione raccomandati a livello internazionale, e a livello nazionale in vari Paesi, sono notevolmente diversi tra loro, e in assenza di una normativa nazionale italiana che fissi limiti di esposizione cogenti, l'indicazione che è possibile dare in questa sede ai datori di lavoro è la seguente. In un'ottica cautelativa si consiglia di fare riferimento in primo luogo all'impostazione delle linee guida canadesi che tra 20 e 50 kHz riportano limiti di esposizione per i lavoratori identici a quelli previsti dall'IRPA-INIRC, esplicitamente considerati come "ceiling values", senza nessun aumento dei limiti per le esposizioni di più breve durata: sono pertanto, da utilizzare i limiti di esposizione previsti dalla Tabella C1, compresi quelli previsti per la popolazione per quanto riguarda i soggetti particolarmente sensibili e la definizione delle sorgenti giustificabili.

Nella banda dei 20 kHz, in caso di superamento del limite e qualora non sia possibile ridurre i livelli di esposizione, va attivato un sistema di prevenzione e protezione per livelli tra 75 dB e 105 dB, in particolare per gli effetti soggettivi, come suggerito dall'ACGIH nella nota alla Tabella C4. Nel caso di superamento dei 105 dB nella banda dei 20 kHz e nel caso di superamento dei 110 dB per le bande superiori, se non è possibile ridurre i livelli di esposizione in aria, il lavoratore deve essere protetto in particolare fornendo dispositivi di protezione individuale uditivi (DPI-U, FAQ D.6) che riportino l'esposizione del lavoratore al di sotto di questi valori, ed è inoltre necessario attivare la sorveglianza sanitaria (FAQ A.3).

Si evidenzia che nel presente documento sono trattate principalmente sorgenti emittenti US in aria fino alla frequenza di 100 kHz. Per frequenze superiori a 100 kHz in aria non si hanno indicazioni su quali limiti adottare.

C.3.2 Esistono limiti di esposizione e/o valori soglia raccomandati a livello internazionale per gli ultrasuoni che si propagano per contatto?

Nelle applicazioni di fisioterapia a US, l'operatore può essere esposto per contatto con il manipolo che emette US. La norma tecnica EN 60601-2-5 [7] impone al produttore di limitare la densità di potenza trasmessa alla mano dell'operatore a 100 mW/cm². Questo costituisce un utile riferimento in tutti i casi in cui l'operatore impugna un manipolo emittente US, come ad esempio nel caso degli esami ecografici o nelle prove non distruttive.

C.4 Secondo quale metodologia si effettua il confronto con i valori limite?

In questo documento si considerano per il confronto con i limiti specifici per ogni banda di terzi di ottava (FAQ C3) i corrispondenti valori di $L_{fS\ max}$, (Livello di pressione sonora massimo con ponderazione temporale Slow nella banda di frequenza f) secondo le metodiche descritte nella FAQ B4.

I valori utilizzati per il confronto devono tener conto dell'incertezza di misura, considerando l'estremo superiore dell'intervallo monolaterale corrispondente a un livello di confidenza del 95% (FAQ B3).

Il superamento anche di un solo valore è sufficiente a fare scattare le misure di prevenzione e protezione previste.

C.5 In quali condizioni l'esposizione ad US può essere considerata "giustificabile"?

Si definisce situazione "giustificabile" (art.181 comma 3 D.Lgs. 81/08) la condizione prevista dalla normativa generale sugli agenti fisici secondo cui il datore di lavoro può concludere il processo di valutazione del rischio anche in una fase preliminare qualora si riscontri l'assenza di rischio, o una sua palese trascurabilità, considerando anche i soggetti particolarmente sensibili.

Per poter definire un'esposizione lavorativa "*giustificabile*" questa dovrebbe essere tale da non dare luogo nel tempo ad alcuna situazione potenzialmente pericolosa. Pertanto, una condizione giustificabile non necessita dell'attuazione di specifiche misure di controllo e gestione del rischio (es. procedure di manutenzione, acquisto/sostituzione attrezzature, tutela soggetti sensibili etc.).

Quindi una situazione può essere considerata giustificabile nel caso in cui ricorrano le due condizioni:

- a) i livelli di esposizione prodotti siano al di sotto dei livelli di riferimento stabiliti a livello internazionale per la protezione della popolazione;
- b) sia garantito nel tempo il mantenimento della condizione a basso rischio riscontrata. Ad esempio, qualora siano presenti macchinari la cui emissione può variare considerevolmente in caso di sostituzione della sorgente, o per carenze manutentive, o per procedure di impiego non appropriate, la condizione espositiva non può essere considerata "giustificabile". Dovranno essere comunque previste specifiche misure organizzative tese al controllo della gestione e manutenzione dell'apparecchiatura.

Si può fare riferimento in tal senso ai limiti previsti dall'IRPA (Tabella C1 FAQ C3.1) per la protezione della popolazione intesi come valori massimi istantanei non superabili.

SEZIONE D

GESTIONE DEL RISCHIO

D.1 Quando è necessario attuare misure tecniche e/o organizzative per ridurre i rischi?

Con riferimento all'articolo 181 comma 3 del D.Lgs. 81/08, il datore di lavoro nella valutazione dei rischi precisa quali misure di prevenzione e protezione devono essere adottate tenendo conto anche dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio e di qualsiasi rischio dovuto a effetti indiretti.

In ogni caso, con riferimento all'articolo 182 comma 1 del D.Lgs. 81/08, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte (ad esempio sostituzione di macchine obsolete con macchine di nuova generazione che comportino emissioni più basse o incapsulamento/schermatura dell'apparato) i rischi derivanti dall'esposizione agli US sono eliminati alla fonte o ridotti al minimo.

Inoltre, se dall'esito della valutazione dei rischi sono stati riscontrati superamenti dei limiti considerati, il datore di lavoro elabora ed applica un programma di azione che comprenda misure tecniche e/o organizzative volte a prevenire qualsiasi rischio per i lavoratori, tenendo anche conto dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio.

D.2 Quali interventi alla sorgente o lungo il cammino di propagazione adottare ai fini della riduzione del rischio da ultrasuoni?

Gli US possono essere attenuati mediante cabine o schermi realizzati con materiali di massa contenuta.

Dati di letteratura [17] hanno evidenziato che alcuni materiali, come lastre trasparenti di policarbonato di spessore pari a 5 mm, possono essere utilizzate a questo scopo.

Nel caso delle saldatrici, ad esempio, una cabina, se realizzata a regola d'arte, con tali lastre garantisce una attenuazione che può arrivare oltre i 30 dB. Per una buona schermatura è bene che alcuni pannelli della cabina siano rivestiti internamente con materiale fonoassorbente in modo da evitare che all'interno i livelli si elevino eccessivamente. Nel caso di impiego di soli schermi, la lastra deve presentare sufficienti dimensioni (larghezza 1 m, altezza 1,5 m) e deve essere dotata di una feritoia per l'inserimento dei pezzi da saldare (il più possibile spostata verso il basso rispetto all'asse gruppo vibrante - orecchio dell'addetto); in questo caso l'attenuazione della lastra può risultare superiore a 20 dB. Nel caso di utilizzo di una lastra priva di feritoia ma di larghezza tale da consentire l'accesso del braccio dell'operatore (circa 0,40 m), l'attenuazione risulta superiore a 10 dB a causa della maggiore diffrazione ai bordi della lastra.

Nel caso di lavatrici ultrasoniche l'uso del coperchio, che ha anche lo scopo di evitare emissione di particelle di soluzioni detergenti o materiali, può ridurre l'emissione di US verso l'operatore. Ulteriore schermatura può essere fornita dall'uso dell'apparato all'interno di cappe aspiranti, in

quanto il vetro di protezione può contribuire a ridurre i livelli di esposizione.

D.3 Come deve essere strutturata e che cosa deve riportare la Relazione Tecnica dell'esposizione lavorativa a ultrasuoni?

La Relazione Tecnica sull'esposizione professionale agli US, redatta da personale qualificato (vedi FAQ 1.11, Capo I su personale qualificato), dovrebbe contenere almeno gli elementi di seguito descritti:

- obiettivo della valutazione;
- luogo e data della valutazione / professionisti responsabili della valutazione;
- luogo / reparto di lavoro;
- caratterizzazione del luogo di lavoro con individuazione degli apparati in grado di emettere US e delle posizioni di lavoro (layout, tipo di sorgente, fabbricante della macchina/dispositivo, etc.);
- definizione delle principali caratteristiche delle sorgenti di US, potenza e frequenza di emissione, mezzo di propagazione e in particolare informazioni relative alla sicurezza ed al corretto impiego riportate nei manuali di istruzioni ed uso secondo le pertinenti direttive comunitarie;
- lista degli eventuali standard riferibili agli apparati/sorgenti;
- eventuale dimostrazione di *giustificazione* della sorgente o del sistema che la contiene;
- descrizione delle condizioni di utilizzo della sorgente: processo di lavoro, tempi di esposizione, posizione del lavoratore rispetto alla sorgente durante le fasi che comportano o possono comportare esposizione a US;
- fonti informative dei singoli dati utilizzati (dati del fabbricante, buone prassi, dati di letteratura, banche dati);
- elenco delle mansioni dei lavoratori esposti per ragioni professionali o di gruppi omogenei;
- valutazione della presenza di fattori espositivi che incrementano il rischio (ototossici, vibrazioni);
- indicazioni inerenti le misure di tutela da mettere in atto tratte ad esempio da:
 1. Portale Agenti Fisici (citando riferimenti pertinenti ed evidenze reperibili)
 2. manuale di istruzioni ed uso del fabbricante da utilizzarsi obbligatoriamente in tutti i casi in cui Direttive comunitarie di prodotto prevedano specifici contenuti ai fini della valutazione dei rischi (le indicazioni fornite dal fabbricante, se presenti nel manuale di istruzioni, devono necessariamente essere prese in considerazione ai sensi del D.Lgs. 81/08).

Devono essere indicati anche:

Nel caso siano effettuate misure:

- descrizione delle condizioni di utilizzo della sorgente: processo di lavoro, tempi di esposizione, posizione del lavoratore rispetto alla sorgente durante le fasi che comportano esposizione a US;
- caratteristiche della strumentazione di misura e riferimenti dell'ultima taratura;
- indicazione in planimetria dei punti di misura (layout);
- condizioni della sorgente durante la misura: le misure devono essere effettuate nelle condizioni di utilizzo della sorgente più sfavorevoli nelle diverse modalità operative;
- durata delle misure;

Le condizioni in cui sono state prese le misure (posizione dell'operatore, posizione degli altri lavoratori oltre l'operatore, tempo di permanenza nelle postazioni, operazioni, ecc.) devono essere descritte con il massimo dettaglio.

Nel caso vengano effettuate stime tramite calcoli:

- software e/o algoritmi utilizzati completi dei dati di input;
- norme tecniche, buone prassi, linee guida o altri documenti pertinenti a cui ci si è riferiti per l'effettuazione delle valutazioni e dei calcoli.

Risultati della Relazione Tecnica

- tipologia di esposizione (frequenze; mezzo di propagazione, livelli misurati);
- incertezze associate ai livelli di esposizione utilizzati ai fini del confronto con i VLE (solo nel caso in cui siano state effettuate misure);
- tempo di superamento dei limiti nella postazione dell'operatore, se riscontrato;
- tempo di permanenza dell'operatore di ciascun gruppo omogeneo identificato;
- distanze di sicurezza.

Conclusioni con indicazione delle misure di prevenzione e protezione proposte

Le conclusioni devono almeno contenere:

- a) le distanze di sicurezza;
- b) i lavoratori esposti a rischio US e i livelli di rischio identificati con riferimento ai VLE previsti;
- c) le specifiche condizioni espositive ove siano riscontrabili superamenti dei VLE o incrementi espositivi rilevanti in relazione alla tutela di soggetti particolarmente sensibili;
- d) gli interventi che si propone siano messi in atto dall'azienda, con indicazione dei soggetti preposti all'attuazione ed al controllo degli stessi ed in particolare:

- gli interventi strutturali, tecnici e/o procedurali ai fini della riduzione e del controllo del rischio di esposizione a US anche sulla base di quanto riportato nel manuale di istruzioni ed uso del macchinario e/o nella sezione US del Portale Agenti Fisici (banca dati e documentazione);
 - le procedure di corretta installazione e manutenzione del macchinario o delle sorgenti in relazione alla riduzione ed al controllo dell'esposizione a US, inclusi i protocolli di manutenzione preventiva e periodica e/ o di sostituzione delle sorgenti, se di interesse ai fini del controllo dell'esposizione a US;
- e) le caratteristiche dei DPI-U che si propone siano adottati per le differenti condizioni espositive o mansioni omogenee, le procedure di utilizzo degli stessi, le modalità di acquisto e manutenzione degli stessi;
- f) l'indicazione delle aree ove si riscontra il superamento dei VLE che necessitano di delimitazione e le modalità di delimitazione delle stesse. Indicare se l'accesso all'area è "ad accesso limitato"; indicare la segnaletica da apporre all'ingresso delle aree ad accesso limitato;
- g) presenza di fattori di criticità inerenti il possibile incremento del rischio US nel tempo e modalità di controllo /gestione degli stessi (es. sorgenti mobili, turn over personale, guasti sistemi sicurezza presenti etc.);
- h) gli interventi previsti per il miglioramento nel tempo degli standard di sicurezza;
- i) scadenza/periodicità della valutazione del rischio professionale da esposizione a US in relazione all'entità del rischio riscontrato e delle misure di tutela predisposte. Ad esempio, se la valutazione del rischio prevede l'installazione di barriere, sistemi di controllo accessi etc. sarà effettuata una nuova valutazione in sede di verifica della corretta installazione dei sistemi di sicurezza previsti, rimodulando conseguentemente le procedure di gestione del rischio cui ai punti c) e f) ridefinendo nuova scadenza e periodicità.

D.4 Cosa deve contenere il documento di valutazione dei rischi?

La valutazione del rischio da esposizione a US è supportata dalla Relazione Tecnica redatta dal personale qualificato (vedi FAQ D.3 e 1.13 del Capo I), da allegare al Documento di Valutazione dei Rischi aziendale.

La valutazione del rischio dovuto all'esposizione a US deve tener conto delle sorgenti, della loro ubicazione, delle loro caratteristiche di emissione, delle caratteristiche dell'ambiente di lavoro, delle condizioni di esposizione e deve riportare le mansioni o i gruppi omogenei cui il rischio è associato, elementi che dovrebbero essere già contenuti anche nella Relazione Tecnica (Vedi FAQ D.3). Il Documento deve riportare, oltre quanto contenuto nella Relazione Tecnica, le misure di prevenzione e protezione già in essere e indicare il programma delle misure atte a garantire nel tempo il mantenimento e miglioramento dei livelli di salute e sicurezza con

le relative procedure aziendali ed i soggetti in possesso di adeguate competenze/formazione che vi debbono provvedere. Per garantire il mantenimento dei livelli di protezione un ruolo fondamentale lo gioca l'attuazione di un efficace programma di manutenzione ordinaria e straordinaria degli apparati.

La valutazione del rischio va effettuata e riprogrammata almeno ogni quattro anni e ogni qual volta si verificano mutamenti che potrebbero renderla obsoleta (ad es. sostituzione dei macchinari, interventi di mitigazione, ecc), ovvero quando i risultati della sorveglianza sanitaria o l'aggiornamento della normativa rendano necessaria la sua revisione (Vedi FAQ 1.14).

Nel documento di valutazione del rischio da esposizione a US vanno indicati quanto meno i seguenti elementi:

1. data di effettuazione della valutazione dell'esposizione, con o senza misurazioni;
2. dati identificativi delle figure aziendali che hanno partecipato alla valutazione del rischio (DL, RSPP, MC, RLS, ecc.);
3. criteri utilizzati per la valutazione del rischio;
4. eventuale giustificazione del datore di lavoro secondo cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata ai sensi dell'Art. 181 comma 3 (FAQ 1.12 capo I);
5. elenco delle mansioni/gruppi omogenei a rischio;
6. valutazione del rischio di effetti diretti e indiretti;
7. valutazione dei rischi legati alla presenza di lavoratori particolarmente sensibili al rischio;
8. programma delle misure organizzative, tecniche e procedurali al fine di eliminare o ridurre il rischio da esposizione a US, con l'indicazione della tempistica, delle modalità e delle figure aziendali preposte alla loro attuazione;
9. valutazione dell'efficienza e dell'efficacia degli eventuali dispositivi di protezione collettivi e individuali;
10. zonizzazione, delimitazione e segregazione delle aree, se pertinenti;
11. nominativi di coloro che sono autorizzati ad accedere alle aree ad accesso regolamentato;
12. indicazioni sull'eventuale necessità di sorveglianza sanitaria;
13. data e firma di coloro che hanno partecipato alla valutazione.

D.5 Esistono dispositivi di protezione individuali certificati per gli ultrasuoni?

Allo stato attuale non esistono DPI certificati per US.

Per quanto riguarda i DPI uditivi (DPI-U), questi non sono certificati per gli US in quanto gli standard di prodotto per i DPI uditivi non prevedono prove al di fuori dell'intervallo di frequenza udibile.

Tuttavia, come evidenziato anche dalla letteratura scientifica [18-22] i tradizionali DPI (inserti, cuffie o archetti) hanno generalmente nella banda tra 10 e 20 kHz un'attenuazione che varia tra i 20 ed i 40 dB, con un andamento dell'attenuazione crescente con la frequenza e quindi efficaci anche per la protezione da US considerando per difetto un'attenuazione costante pari all'attenuazione riportata nel certificato del DPI per la banda di frequenza più alta.

L'impiego dei DPI-U per la protezione dagli US deve comunque essere considerato una misura di protezione aggiuntiva e non un vero e proprio DPI ai sensi del d. lgs. 17/2019.

Nell'utilizzo dei DPI-U come protezione dagli US, inoltre vanno valutate eventuali problematiche relative all'iperprotezione in campo udibile, facendo riferimento alle misure di rumore per la valutazione del rischio specifico se presente, oppure eseguendo delle misure del rumore presente.

Per ulteriori approfondimenti sui DPI-U si faccia riferimento alle specifiche FAQ rumore.

D.6 Informazione, formazione e addestramento: quando e con quali contenuti?

In base agli artt. 36 e 37 del D.Lgs. 81/08, ai relativi Accordi Stato Regione sulla formazione tutti i lavoratori devono essere sempre informati e formati in merito ai rischi generici presenti in azienda.

Ai sensi dell'art. 184 del D.Lgs. 81/08, il datore di lavoro provvederà affinché i lavoratori esposti a rischi specifici derivanti da US e i loro rappresentanti vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi.

Pertanto, l'informazione e la formazione devono essere attivate ogni qual volta la valutazione del rischio non può essere conclusa con la giustificazione.

L'articolo 184 fornisce anche indicazioni circa i contenuti essenziali dell'attività di informazione e formazione relativa agli agenti fisici che il datore di lavoro deve fornire ai lavoratori e ai loro rappresentanti.

In particolare, per esposizione a US la formazione e informazione deve riguardare:

- gli effetti diretti ed indiretti dell'esposizione agli US;
- l'entità e al significato dei valori limite di esposizione adottati nella valutazione del rischio nonché ai potenziali rischi associati all'esposizione agli US;
- la possibilità di rischi specifici nei confronti di lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio;
- i risultati della valutazione dei livelli di esposizione agli US;
- le circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria e agli obiettivi della stessa;
- le procedure di lavoro per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione;
- l'adozione di dispositivi di protezione collettiva e loro eventuale modalità d'uso;
- l'uso corretto, tramite eventuale addestramento, dei dispositivi di protezione individuale e alle eventuali indicazioni e controindicazioni sanitarie all'uso;
- le misure di tutela di tipo organizzativo-tecnico-procedurale adottate;
- la descrizione di tutte le aree eventualmente oggetto di restrizioni particolari all'accesso.

D. 7 Quali sono le indicazioni su segnaletica e delimitazione delle aree a rischio?

Come riportato nella FAQ D1, il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad US in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione. Inoltre, se dall'esito della valutazione dei rischi sono stati riscontrati superamenti dei limiti adottati, il datore di lavoro elabora ed applica un programma di azione che comprenda misure tecniche e/o organizzative volte a prevenire qualsiasi rischio per i lavoratori, tenendo anche conto di qualsiasi rischio dovuto a effetti indiretti e dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio.

Una misura efficace può consistere nella individuazione, delimitazione e segnalazione delle aree di superamento dei livelli di esposizione adottati, riferibili a una o più sorgenti. In particolare, per i soggetti particolarmente sensibili ci si può riferire ai limiti adottati per la protezione della popolazione (FAQ C3). Allo scopo può essere adottato il pittogramma riportato nella FAQ E1.

SEZIONE E

VIGILANZA

E.1 Quali informazioni si devono trovare sul manuale d'uso e manutenzione di un apparecchio che emette ultrasuoni?

La progettazione e costruzione dei macchinari che emettono ultrasuoni deve essere tale da limitare qualsiasi emissione a quanto necessario al loro funzionamento. Nel manuale d'uso il fabbricante deve pertanto, riportare le indicazioni necessarie per un utilizzo sicuro dell'apparato.

Il manuale di uso e manutenzione deve obbligatoriamente accompagnare la macchina per tutto il suo ciclo di vita e deve essere redatto, per legge, nella lingua dello Stato acquirente, nel nostro Paese, in italiano.

Il manuale d'uso deve pertanto, riportare i requisiti di sicurezza di cui alla valutazione del rischio e in particolare dovrebbe includere:

- la frequenza di lavoro espressa in MHz o kHz;
- principio di funzionamento (applicazione degli US in aria, nei liquidi, a contatto);
- le istruzioni per la messa in servizio, l'utilizzo in sicurezza della macchina e, le istruzioni per la formazione degli operatori;
- le istruzioni sulle misure di protezione, inclusi, se del caso, dispositivi di protezione individuale che devono essere forniti all'utilizzatore;
- le caratteristiche essenziali degli utensili che possono essere montati sulla macchina;
- le controindicazioni nell'uso della macchina che potrebbero presentarsi;
- la descrizione delle operazioni di regolazione e manutenzione che devono essere effettuate dall'utilizzatore nonché le misure di manutenzione ordinaria da rispettare;
- indicazioni per evitare interferenza con componenti elettronici quali ad esempio, condensatori elettrolitici e batterie o dispositivi medici impiantabili attivi (adozione delle corrette procedure di impiego e distanze di sicurezza);
- indicazioni per evitare un uso improprio dell'apparato e, in particolare, un contatto diretto o indiretto attraverso un mezzo solido o liquido con la sorgente emettitrice di US quando attiva;
- informazioni sulla cartellonistica di rischio, unitamente all'indicazione delle misure di tutela da adottare.

Secondo il D. Lgs 17/2010, recepimento della Direttiva 2006/42/CE relativa alle macchine *Possono essere immesse sul mercato ovvero messe in servizio unicamente le macchine che soddisfano le pertinenti disposizioni del presente decreto legislativo e non pregiudicano la sicurezza e la salute delle persone ... (OMISSIS)..... mantenute in efficienza e utilizzate conformemente alla loro destinazione o in condizioni ragionevolmente prevedibili. Le macchine devono essere atte a funzionare, ad essere azionate, ad essere regolate e a subire la manutenzione senza che tali operazioni esponano a rischi le persone, se effettuate nelle condizioni previste tenendo anche conto dell'uso scorretto ragionevolmente prevedibile.*

I requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine, sono riportati nell'Allegato I -Principi generali- del D.Lgs.17/2010 e prevedono che il fabbricante, o il suo mandatario, *deve garantire che sia effettuata una valutazione dei rischi per stabilire i requisiti di sicurezza e di tutela della salute che concernono la macchina.*

Analoghe indicazioni riguardano i costruttori degli apparati ad uso medico che sono tenuti a rispettare i requisiti di sicurezza stabiliti dalla Direttiva Dispositivi Medici 2007/47/CE prima e, a partire da maggio 2020, dal Regolamento Dispositivi Medici 2017/745 e sue successive modifiche.

I dispositivi medici fabbricati in conformità a norme tecniche armonizzate comunitarie e alle norme tecniche nazionali che le recepiscono, peraltro, si presumono conformi ai requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute stabiliti dal Regolamento 2017/745.

Ad esempio, per gli apparecchi ad US ad uso medico in fisioterapia la conformità alla norma CEI EN 60601-2-5 [22] impone la presenza di indicazioni su:

- la frequenza di lavoro espressa in MHz o kHz;
- la forma d'onda: continua, modulata in ampiezza o pulsata;
- se modulata o pulsata, una descrizione o una raffigurazione della forma d'onda, compreso di durata e frequenza di ripetizione degli impulsi e *duty factor* per ogni configurazione possibile;
- la potenza nominale di uscita del manipolo in W, l'area di emissione efficace in cm², il rapporto di non-uniformità del fascio, il tipo di fascio.

Devono inoltre essere fornite indicazioni sulla manutenzione periodica (calibrazione, ispezione del manipolo, dei cavi e dei connettori).

Per gli altri apparati sorgenti di US che non rientrano nelle sopracitate categorie, le informative sui rischi devono essere fornite dal costruttore ai sensi della Direttiva Bassa Tensione 2014/35/UE ovvero del Codice del Consumo D.Lgs. 206/2005.

Si segnala infine che qualsiasi apparato ad uso industriale, medico o bene di consumo, deve essere conforme alla pertinente norma tecnica di prodotto, se presente. In assenza di una norma tecnica applicabile, il produttore deve in ogni caso indicare i rischi associati per un utilizzo dell'apparato in sicurezza, incluso l'utilizzo di apposita segnaletica/cartellonistica. Un esempio è riportato in Fig.E1.

Sul portale agenti fisici, alla sessione normativa è riportata la lista aggiornata delle norme armonizzate applicabili per le differenti categorie di apparati (www.portaleagentifisici.it).



DANGER

Fig. E1 – Pittogramma di pericolo US

E.2 Quali informazioni il datore di lavoro deve chiedere in fase di acquisto dei macchinari che emettono ultrasuoni?

Al fine di ottemperare alle disposizioni contenute agli artt. 28, 71 e 181 del D.Lgs. 81/08, il datore di lavoro dovrà richiedere all'atto dell'acquisto di nuovi macchinari/attrezzature, specifiche informazioni in merito alle emissioni di US e alla prevenzione dei rischi associati.

A tal fine in fase di acquisto è necessario richiedere in primo luogo le informazioni inerenti i rischi di esposizione a US riportate nel manuale di istruzioni ed uso del macchinario, considerato che l'obbligo per i costruttori o loro mandatari di fornire tale informazione rientra tra i Requisiti Essenziali di Sicurezza di cui alla Direttiva Macchine, Direttiva Elettromedicali, Direttiva Bassa Tensione (vedi FAQ E.1).

Premesso quanto sopra, in fase di acquisto andrebbero richieste le informazioni di seguito indicate:

- le frequenze di lavoro del dispositivo;
- il principio di funzionamento del dispositivo (applicazione degli US in aria, nei liquidi, a contatto);
- le controindicazioni/limitazioni all'uso ed alla permanenza in prossimità del dispositivo per i soggetti portatori di dispositivi medici impiantabili attivi e/o passivi, nonché per le donne in stato di gravidanza e per i soggetti sensibili;
- le informazioni utili per permettere un uso sicuro dell'apparato.

Nel caso in cui queste informazioni non siano presenti nel manuale di istruzioni ed uso del macchinario, le stesse possono essere fornite con documento integrativo sottoscritto dal produttore dell'apparato.

Una volta acquisite tali informazioni il datore di lavoro sarà in grado di:

- a) orientare correttamente la scelta verso quelle apparecchiature che producano il minore rischio di esposizione a US, a parità di prestazioni offerte;
- b) evitare l'acquisto di apparati che non forniscano le informazioni sul rischio US conformemente a quanto richiesto dalle pertinenti norme di prodotto, e pertanto, non conformi ai requisiti previsti dalla marcatura "CE";
- c) predisporre la collocazione ottimale e le appropriate misure di prevenzione in fase di installazione del macchinario/attrezzatura nel luogo di lavoro.

Allegato 1. Valori limite raccomandati dalla IRPA-INIRC (FAQ C3.1)

Nel documento IRPA-INIRC non vi sono indicazioni sui tempi di media su cui calcolare i valori rms, che passando da un estremo all'altro potrebbero essere i tempi di risposta degli strumenti oppure la durata complessiva dell'esposizione: nel primo caso i limiti di esposizione potrebbero essere considerati "ceiling values" da non superare mai durante la giornata lavorativa di 8 ore (o durante le 24 ore nel caso della popolazione), nel secondo caso si tratterebbe di valori medi (TWA) sulle 8 ore (24 ore).

Mentre nel caso ideale di un'esposizione costante durante tutto l'intervallo temporale di riferimento non vi sarebbe differenza tra le due modalità di calcolo degli SPL, nel caso reale in cui l'emissione di una sorgente non è costante nel tempo e/o in cui il soggetto esposto non è continuamente nella stessa posizione rispetto alla sorgente, la differenza tra i valori SPL calcolati con le due modalità di calcolo sarebbe del tutto rilevante.

Si sottolinea però che mentre un'esposizione che durante la giornata lavorativa (o durante le 24 ore) fosse sempre al di sotto dei valori riportati in Tabella C1 rispetterebbe i limiti anche se questi andassero intesi come valori TWA, al contrario un'esposizione che rispettasse i limiti in termini di valori TWA potrebbe, in alcuni momenti della giornata, non rispettare i limiti se questi andassero intesi come "ceiling values". Per questo motivo, l'adozione di un criterio cautelativo imporrebbe di considerare comunque i limiti di esposizione in Tabella C1 come "ceiling values".

BIBLIOGRAFIA¹

- [1] CEI EN 61672-1: 2014. Elettroacustica - Fonometri parte 1: Specifiche.
- [2] VDI 3766: 2012. Ultrasound - Workplace - Measurement, assessment, judgement and reduction.
- [3] CEI EN 61094: 1997. Microfoni di misura. Parte 4: Specifiche dei microfoni campione di lavoro.
- [4] CEI EN 61260-1: 2017. Elettroacustica - Filtri a banda di ottava e frazione di banda d'ottava. Parte 1: Specifiche di prestazione.
- [5] CEI EN IEC 60942: 2018. Elettroacustica - Calibratori acustici
- [6] CEI EN 60651: 2002. Misuratori di livello sonoro: fonometri ²
- [7] CEI EN 60601-2-5: 2016. Apparecchi elettromedicali Parte 2: Prescrizioni particolari relative alla sicurezza fondamentale e alle prestazioni essenziali delle apparecchiature per la terapia ad ultrasuoni.
- [8] Radosz J and Pleban D. Ultrasonic noise measurements in the work environment. The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2532 (2018). <https://doi.org/10.1121/1.5063812>.
- [9] CEI UNI 70098-3: 2016. Incertezza di misura. Parte 3: Guida all'espressione dell'incertezza di misura.
- [10] ISO/IEC Guide 98-3:2008: Uncertainty of measurement-- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
- [11] UNI 9432: 2011. Acustica. Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro.
- [12] UNI EN ISO 9612: 2011. Acustica. Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro. Metodo tecnico progettuale.
- [13] International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Associations (IRPA - INIRC). INTERIM GUIDELINES ON LIMITS OF HUMAN EXPOSURE TO AIRBORNE ULTRASOUND. Health Physics Vol.46, No.4 (April), pp.969-974, 1984.
- [14] Health Canada. Guidelines for the Safe Use of Ultrasound: Part II - Industrial and Commercial Application. Environmental Health Directorate Health Protection Branch Published by authority of the Minister of National Health and Welfare. EHD-TR-158, 1991. ISBN 0-660-13741-0.

¹ Le norme tecniche fanno riferimento all'ultima edizione pubblicata al momento della redazione del presente documento. Nella loro applicazione si consiglia di riferirsi sempre all'ultima edizione disponibile

² La norma è annullata ed è stata sostituita dalle norme, CEI EN 61672-1:2003 e CEI EN 61672-2:2004. L'ultima edizione disponibile di entrambe le norme è del 2014.

- [15] The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Guide to Occupational Exposure Values, 2021.
- [16] Health and Safety Executive (HSE). Damage to human hearing by airborne sound of very high frequency or ultrasonic frequency. Institute of Sound and Vibration Research University of Southampton Highfield Southampton SO17 1BJ United Kingdom, 2001. ISBN 0 7176 2019 0.
- [17] Damongeot A, Andrè G. Noise from Ultrasonic Welding Machines: Risks and Prevention. Applied Acoustics 25 (1988) 49-66.
DOI:10.1016/0003-682X(88)90112-0.
- [18] Acton W I. Exposure to industrial ultrasound: hazards, appraisal and Control, J. Soc. Occup. Med. (1983) 33, 107-113.
DOI:10.1093/occmed/33.3.107.
- [19] Kozłowski E, Młyński R. Measurement of Earmuffs Attenuation at High Audible Frequencies, Archives of Acoustics Vol. 42, No. 2, pp. 249–254 (2017). DOI: 10.1515/aoa-2017-0027.
- [20] Crabtree RB, Behar A. Measurement of hearing protector insertion loss at ultrasonic frequencies. Applied Acoustics 59 (2000) 287–299.
DOI: 10.1016/S0003-682X(99)00003-1.
- [21] Lawton B W. Damage to human hearing by airborne sound of very high frequency or ultrasonic frequency, HSE Crown copyright 2001, ISBN 0 7176 2019 0.
- [22] Berger E H. Protection for Infrasonic and Ultrasonic Noise Exposure. E•A•RLog® Aearo Company. Copyright 1996. First printing 1984.
- [23] Radosz, Jan. Methodology issues of ultrasonic noise exposure assessment Noise Control Engineering Journal 60(6): 645-65 November 2012.

CREDITS

*Il testo è stato redatto dal Gruppo Tematico Agenti Fisici del
Coordinamento Tecnico Interregionale - INAIL*

coordinatrice Iole Pinto

GRUPPO DI LAVORO ULTRASUONI composto da:

Coordinatori: Rosaria Falsaperla (INAIL); Alessandro Polichetti (ISS)

Si ringraziano gli esperti che hanno fattivamente contribuito alla stesura ed alla revisione del documento:

Componenti istituzionali: Diego Annesi (INAIL)
Andrea Bogi (Azienda USL Toscana Sud Est)
Laura Filosa (INAIL)
Claudia Giliberti (INAIL)
Raffaele Maricone (INAIL)
Pietro Nataletti (INAIL)
Roberta Pozzi (ISS)

Componenti esterni: Luca Basso Ricci (ENI)
Matteo Cavalli (Audio Plus)
Simone Falsoni (ENI)
Francesco Frigerio (ICS Maugeri, Padova)
Sergio Iarossi (CNR)
Fabio Lo Castro (CNR)

Referenti Regione Toscana: Giovanna Bianco, Elisabetta De Melis, Vincenzo Di Benedetto,
Trofimen Galibardi