PuntoSicuro

ARTICOLO DI PUNTOSICURO

Anno 25 - numero 5340 di Mercoledì 01 marzo 2023

# Il rischio ultrasuoni, le sorgenti e gli effetti

***E' disponibile online sul sito PAF una nuova sezione dedicata agli Ultrasuoni. La sezione è in continuo sviluppo ed aggiornamento e fornisce una panoramica sulla letteratura internazionale in materia e sui criteri di valutazione del rischio.***

## Descrizione del Rischio

Gli Ultrasuoni sono onde acustiche caratterizzate da frequenze al di sopra del limite superiore di udibilità per l'orecchio umano. Questo limite, soggettivo e variabile con l'età, può essere approssimativamente fissato tra i 16 kHz e i 20 kHz.

Le onde acustiche sono onde meccaniche e pertanto richiedono un mezzo fisico per la loro propagazione. Le particelle del mezzo vengono messe in oscillazione attorno alla loro posizione di equilibrio, generando compressioni e rarefazioni del mezzo stesso (solido, liquido o gassoso). La perturbazione meccanica prodotta ha le caratteristiche di un'onda di pressione che trasporta energia. 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 è longitudinale, in quanto l'oscillazione delle particelle attorno alla loro posizione di equilibrio coincide con la direzione di propagazione dell'onda. Nei solidi elastici possono propagarsi anche onde trasversali, caratterizzate da una oscillazione delle particelle ortogonalmente alla direzione di propagazione dell'onda.

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, 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 generale, l'intensità ultrasonora decade esponenzialmente con la distanza in modo differente a seconda del materiale.

In relazione alla natura dei processi fisici che danno origine alla perdita di energia (ad esempio perdite viscose, 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 in cui l'onda ultrasonora è stata generata benchè in alcuni casi l'emissione di US in aria potrebbe essere apprezzabile.

In aria, per frequenze superiori a circa 300 kHz gli ultrasuoni non si propagano, in quanto i fenomeni di assorbimento diventano rilevanti in percorsi dell'onda dell'ordine del millimetro.

Infine nel caso di generazione e propagazione degli US in acqua diventa rilevante il fenomeno della cavitazione che si basa sulla formazione, crescita ed eventuale collasso di microbolle all'interno del fluido. Nella cosiddetta cavitazione stabile o non inerziale vengono indotte oscillazioni sia nel mezzo che della stessa bolla senza comportarne la rottura. Al contrario la cosiddetta cavitazione instabile o inerziale è caratterizzata dal rapido collasso e implosione delle bolle, con rilascio di una notevole quantità di energia sotto forma di calore e onde d'urto.

Pubblicità
<#? QUI-PUBBLICITA-SCORM1-[EL0818] ?#>

# Sorgenti

I principali ambiti di applicazione degli ultrasuoni possono essere suddivisi in medico, industriale, commerciale ed estetico.

Nel settore medico, si trovano applicazioni sia in ambito diagnostico che terapeutico. Per il settore diagnostico, l'ecografia rappresenta la principale applicazione. Circa il 20% delle procedure di imaging diagnostico utilizza ultrasuoni, per il costo relativamente basso dell'attrezzatura e anche per il fatto che la tecnica è generalmente percepita e considerata sicura. Il range di frequenze per questo utilizzo è 1-20 MHz, con intensità limitata generalmente a 100 $mW/cm^2$, ad eccezione dei sistemi Doppler dove le intensità possono raggiungere 1 $W/cm^2$.

Molto diffusi nel settore terapeutico sono gli ablatori a ultrasuoni, ampiamente utilizzati in ambito odontoiatrico per la rimozione dell'accumulo di placca e tartaro. Gli ablatori funzionano in genere a basse frequenze, 20?30 kHz, e utilizzano un applicatore (punta dell'ablatore) che viene messo in vibrazione sull'area interessata. Un irrigante (generalmente acqua) viene applicato attraverso la punta dello strumento, assicurando che il riscaldamento del dente per attrito sia ridotto al minimo.

Sempre nel settore terapeutico, la tecnica denominata High Intensity Focused Ultrasound (HIFU) si basa sulla focalizzazione degli ultrasuoni ad alta potenza sulla zona da trattare e viene impiegata prevalentemente per la cura dei tumori. In questo caso le frequenze utilizzate vanno da 0.5 a 5 MHz e le intensità coprono il range 1000 ? 10000 $W/cm^2$.

Un'ulteriore interessante applicazione medica nel settore chirurgico è il bisturi a ultrasuoni, per ottenere dissezione, taglio e coagulo dei tessuti molli. La frequenza di utilizzo in questo caso è intorno ai 55 kHz.

In ambito estetico, gli ultrasuoni sono impiegati per il peeling (asportazione delle cellule morte superficiali della pelle) e per trattamenti di ringiovanimento cutaneo (rassodamento). Per il peeling, la frequenza di utilizzo tipica è 25 kHz, mentre nel secondo caso le frequenze vanno da 0.8 e 3.5 MHz.

Le applicazioni industriali possono essere suddivise in applicazioni a bassa e ad alta potenza.

Tra le applicazioni a bassa potenza rientrano le tecniche non distruttive passive (emissione acustica) per la rilevazione di crepe o difetti invisibili, o attive, in cui un impulso acustico viene inviato in una struttura per monitorare i cambiamenti nella sua integrità, lo spessore o le prestazioni delle strutture stesse. Nella stessa categoria sono compresi anche i pulitori ad ultrasuoni, generalmente utilizzati a frequenze comprese tra 20 e 40 kHz per la pulizia di un'ampia varietà di oggetti: gioielli, lenti e altre parti ottiche, orologi, strumenti dentali, strumenti chirurgici, vetreria, ecc. Tali dispositivi funzionano principalmente attraverso la cavitazione acustica, che si verifica all'interno del recipiente riempito di fluido (generalmente a base d'acqua), con generazione di getti microscopici in prossimità della superficie da pulire.

Nelle applicazioni industriali ad alta potenza, l'uso degli ultrasuoni ha l'obiettivo di esporre il pezzo in lavorazione a un'energia vibratoria di intensità sufficiente per provocarne un cambiamento fisico permanente. Tale condizione si verifica nel caso della saldatura/incollaggio di materiali plastici, per la realizzazione di imballaggi, componenti automobilistici, giocattoli, ecc. Quando

il dispositivo vibrante emittente ultrasuoni (generalmente intorno ai 20-40 kHz) incontra tali materiali, le catene di molecole all'interno del materiale stesso vengono messe in vibrazione, sfregandosi l'una sull'altra, producendo calore per attrito e provocando la fusione. Dopo un breve tempo durante il quale viene applicata una pressione ai due pezzi di materiale a contatto, gli stessi vengono saldati a livello molecolare nella zona di giunzione.

Quindi, con riferimento alla propagazione in aria, le principali sorgenti sono costituite da sistemi antintrusione, dissuasori per roditori, volatili, insetti, distanziometri ecc.; nei liquidi da sonar, doppler, misure di profondità, pulizia e lavaggio a ultrasuoni, megasonic cleaning, foratura, incisione, emulsificazione mentre nei solidi le applicazioni si riferiscono a controlli non distruttivi, trafilatura, incisione, saldature di metalli e plastiche, prove a fatica ecc.

La Tabella 1 riporta esempi di applicazioni industriali che utilizzano ultrasuoni ad alta potenza, con indicazione delle frequenze e delle intensità tipiche di utilizzo.

**Tabella 1 ?** Sorgenti industriali di ultrasuoni ad alta potenza

| **Applicazione** | **Descrizione del processo** | **Frequenza [kHz]** | **Intensità [W/cm$^2$]** |
|---|---|---|---|
| Pulizia e sgrassaggio | La soluzione detergente pulisce le parti immerse per cavitazione | 20-50 | ~1-6 |
| Saldatura plastica | Saldatura della plastica morbida e rigida | 20 | ~100 |
| Saldatura metalli | Saldatura metalli simili o differenti | 10-60 | ~2000 sulla punta dell'applicatore |
| Lavorazioni meccaniche | Lavorazione rotativa, rettifica, foratura | 20 | |
| Estrazione | Estrazione di profumi e di succhi da fiori, piante e frutta | 20 | ~500 |
| Atomizzazione | Atomizzazione del carburante per migliorare la combustione e ridurre l'inquinamento | 20-300 | |

La Tabella 2 riporta i livelli di pressione sonora in dB in bande di terzi di ottava rilevati nel corso di differenti campagne di misura, nella posizione dell'operatore, per alcune sorgenti di ultrasuoni in ambito industriale.

Si evidenzia che, nel complesso, i livelli di esposizione generati da apparati industriali raramente eccedono i 120 dB, mentre l'esposizione a dispositivi commerciali raramente supera i 110 dB.

**Tabella 2 ? SPL in bande di terzi di ottava nella posizione operatore per tipiche sorgenti industriali di ultrasuoni ad alta potenza**

| **Dispositivo** | **Frequenza centrale delle bande di 1/3 di ottava [kHz]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **10** | **12.5** | **16** | **20** | **25** | **31.5** |
| Trapano (senza custodia) | 91 | 85 | 90 | 81 | 108 | 84 |
| Trapano | 75 | 67 | 75 | 97 | 75 | 78 |
| Saldatore | 76 | 95 | 115 | 93 | 73 | 69 |
| Saldatore | N / A | N / A | N / A | 127 | N / A | N / A |
| Saldatore | N / A | N / A | N / A | 106 | N / A | N / A |
| Saldatore (senza custodia) | 106 | 114 | 119 | 96 | 80 | 56 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lavatrice | 86 | 77 | 86 | 105 | 97 | 80 |
| Lavatrice | <61 | <61 | <61 | 83 | 67 | <61 |
| Lavatrice | 77 | 78 | 79 | 96 | 77 | 77 |
| Lavatrice | 78 | 66 | 76 | 97 | 74 | 70 |
| Lavatrice (piccola) | 53 | 61 | 91 | 83 | 75 | 105 |
| Lavatrice (grande) | 83 | 86 | 91 | 96 | 91 | 102 |

Va infine evidenziato che emissioni ultrasoniche possono essere generate anche non intenzionalmente da alcuni apparati quali: compressori, valvole, caldaie, utensili pneumatici, turbine gas/vapore, macchine utensili ad alta velocità (piallatrici, fresatrici, seghe circolari ecc.).

Le principali applicazioni commerciali degli ultrasuoni invece riguardano umidificatori dell'aria, sistemi per il parcheggio facilitato delle auto, allarmi, antifurto, apriporta automatici, ecc. Si evidenzia inoltre che i dispositivi di dissuasione a US utilizzati in ambito domestico potrebbero richiedere per un utilizzo in sicurezza restrizioni specifiche da parte della popolazione inconsapevole.

La Tabella 3 riassume i principali dispositivi e applicazioni degli ultrasuoni indicando la frequenza degli ultrasuoni, il mezzo di propagazione e una breve descrizione del processo.

**Tabella 3 ? Dispositivi e applicazioni degli US**

| **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 | Omogenizzatori 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 | Litotrissia percutanea | 1000 ? 3000 | LIQUIDI |

**Nota**: Le sorgenti sonore riportate in tabella possono 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.

# Effetti

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. Gli strati di aria o di liquido eventualmente interposti riducono l'esposizione.

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.

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.

Si evidenzia che anche nel caso di esposizione ad US rientrano, tra i lavoratori particolarmente sensibili al rischio, i minori (L.977/67 e s.m.i.) e le lavoratrici in gravidanza (D.Lgs.151/2001).

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

Fonte: PAF

Licenza Creative Commons

**www.puntosicuro.it**