

COSA CAMBIA COL “TESTO UNICO”: MICROCLIMA, ULTRASUONI E INFRASUONI

Paolo Lenzuni

ISPESL - Dipartimento di Firenze

1 - INTRODUZIONE

1.1 - LA LEGGE

Il D.Lgs. 81/2008 [1], noto anche come “testo unico della sicurezza sul lavoro”, evidenzia una divisione di fatto degli agenti fisici in due categorie:

- i fattori di rischio ai quali è dedicato uno specifico capo del titolo VIII (rumore, vibrazioni meccaniche, campi elettromagnetici e radiazioni ottiche di origine artificiale);
- i fattori di rischio privi di uno specifico capo (microclima, ultrasuoni, infrasuoni, atmosfere iperbariche).

Mentre per i primi la legge esplicita in dettaglio le diverse fasi della valutazione del rischio, ciò non avviene per i secondi.

Come ci si debba comportare riguardo a questi “figli di un Dio minore” è perciò una domanda legittima, che richiede una risposta rapida e chiara, in parte già data dal documento [2], e che cercheremo di meglio puntualizzare in questo lavoro, almeno per i fattori di rischio Microclima, UltraSuoni e InfraSuoni, ai quali ci riferiremo collettivamente nel seguito con l’acronimo MUSIS.

Fortunatamente almeno l’impianto formale della legge appare, una volta tanto, senza ambiguità: una volta appreso dall’art. 180 comma 1 che effettivamente microclima, ultrasuoni e infrasuoni sono tre autentici rischi fisici, l’art. 181 ci informa immediatamente (comma 1) che essi devono essere oggetto di specifiche valutazioni del rischio, “in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica e alle buone prassi”. In combinazione con l’art. 28, che illustra chiaramente in cosa debba consistere una corretta valutazione del rischio, viene dunque definito il quadro delle azioni da mettere in campo per gli agenti fisici MUSIS.

1.2 - LE NORME DI BUONA TECNICA E LE BUONE PRASSI

Considerando il fatto che l’art. 181 dispone di fare riferimento alle norme di buona

tecnica e alle buone prassi, vale la pena spendere due parole per stabilire cosa siano questi due oggetti.

Sulla base della definizione che il decreto 81 stesso fornisce all'art. 2, punto u), non sembrano esserci dubbi sul fatto che per "norme di buona tecnica" si debbano intendere le norme tecniche nazionali (UNI, CEI), internazionali (CEN, ISO, IEC) e in subordine norme emanate da organismi tecnici nazionali non italiani (es. ASHRAE, ACGIH ecc.).

Quanto alle buone prassi, l'art. 2 comma 1 punto v) le definisce come "soluzioni organizzative o procedurali coerenti con la normativa vigente (leggi legislazione vigente, n.d.r.) e con le norme di buona tecnica, adottate volontariamente e finalizzate a promuovere la salute e la sicurezza sui luoghi di lavoro attraverso la riduzione dei rischi e il miglioramento delle condizioni di lavoro, elaborate e raccolte dalle regioni, dall'ISPESL, dall'INAIL, e dagli organismi paritetici di cui all'articolo 51, validate dalla commissione consultiva permanente di cui all'articolo 6, previa istruttoria tecnica dell'ISPESL, che provvede a assicurarne la più ampia diffusione".

Due annotazioni:

- 1) secondo la definizione data all'art. 2 comma 1 lettera ee) gli organismi paritetici sono "organismi costituiti a iniziativa di una o più associazioni dei datori e dei prestatori di lavoro comparativamente più rappresentative sul piano nazionale";
- 2) soltanto a valle della validazione, presumibilmente tesa a verificarne la solidità tecnica e l'assenza di conflitti con la legislazione e la normativa vigente, un documento può definirsi "buona prassi".

1.3 - PREVENZIONE, PROTEZIONE E FORMAZIONE

Uno dei punti cardine della valutazione del rischio, sul quale insistono ben due commi dell'art.181, è l'adozione di opportune misure di prevenzione e protezione. Per capire di cosa si tratti, la via più semplice è rifarsi alle informazioni fornite a questo riguardo per l'esposizione a rumore (art. 192) e a vibrazioni (art. 203), e procedere per analogia. Come sempre l'obiettivo primario resta l'eliminazione o almeno la riduzione al minimo dei rischi alla fonte, sfruttando sia modifiche organizzative sia dispositivi messi a disposizione dal progresso tecnico (la benevola divinità del mondo contemporaneo). Va da sé che per gli agenti fisici MUSIS, così come per ogni altro agente di rischio individuato sul luogo di lavoro, si deve provvedere ad una specifica formazione ed informazione dei lavoratori e dei loro rappresentanti (art. 184).

Il testo unico finisce qui. La trasposizione nei fatti di questi concetti passa per l'adozione dei metodi illustrati nelle norme tecniche e nelle buone prassi attualmente disponibili, o eventualmente nella letteratura scientifica, e che verranno velocemente passati in rassegna in questo lavoro. In estrema sintesi: da un punto vista formale l'obbligo alla valutazione dei rischi MUSIS stabilito dal testo unico ha cambiato tutto. Da un punto vista sostanziale, la legge non sposta una virgola rispetto ai testi tecnici che sono gli stessi che sarebbero stati usati da chi, tre o trenta mesi fa, avesse dovuto affrontare lo stesso problema.

2 - MICROCLIMA

2.1 - RISCHIO O DISCOMFORT ?

La tutela del lavoratore in ambienti caratterizzati da un microclima improprio appare in due sezioni chiaramente distinte del D.Lgs. 81/2008.

Come abbiamo già visto nell'introduzione, il rischio microclima compare nel Titolo VIII, all'interno della famiglia dei rischi fisici. Al punto 1.9.2 dell'allegato IV vengono invece ripresi i concetti già espressi dal D.Lgs. 303/1956 – art. 11 [3] e dal D.Lgs. 626/1994 – art. 33 comma 9 e comma 11 [4] riguardo alla adeguatezza della temperatura e di altre quantità climaticamente rilevanti al contesto lavorativo in esame. Fra l'altro è impossibile non notare la stupefacente, pedissequa riproposizione degli stessi concetti del testo originale del 1956, che giunge spesso fino al mantenimento del testo parola per parola.

La presenza di due punti che intervengono su questioni microclimatiche, con toni e impostazioni chiaramente diverse genera un conflitto ? Potrebbe. La via maestra per evitarlo è separare nettamente gli ambiti di applicazione: a) negli agenti fisici di cui al Titolo VIII rientrano i “rischi” microclimatici, ovvero quelle situazioni nelle quali può determinarsi pregiudizio per la salute del lavoratore; b) degli aspetti legati al comfort si occupa invece l'allegato IV, con gli stessi limiti e la stessa sfumata genericità con le quali abbiamo imparato a convivere negli ultimi 50 anni.

Visto che la legge assume aspetti così drasticamente diversi per il rischio e per il comfort termico, è fondamentale disporre di un criterio rigoroso per decidere da che parte stare in qualsiasi situazione. Questo criterio esiste ed è formulato come segue: le situazioni nelle quali esistono vincoli, principalmente di natura produttiva, ma anche di natura ambientale (esempio, ambienti outdoor) che di fatto impediscono che si possano stabilire condizioni di comfort, vengono dette “ambienti termici vincolati”, e cadono sotto la giurisdizione del Titolo VIII; altrimenti si ha a che fare con “ambienti termici moderabili” [5], i quali ricadono sotto la giurisdizione dell'allegato IV.

2.2 - VALUTAZIONE

La valutazione del rischio e del comfort termico è estensivamente discussa nelle pertinenti Linee Guida redatte dal Coordinamento tecnico delle regioni [6], che rappresentano il più limpido esempio di buona prassi attualmente esistente in questo settore. Qui si sottolineano soltanto alcuni passi particolarmente delicati e alcune criticità.

2.2.1 - Rischio termico

Negli ambienti termici vincolati l'obiettivo primario è la tutela della salute. A tali situazioni si applicano quindi senza dubbio le disposizioni di legge sui rischi termici, articoli 180 e successivi del D.Lgs. 81/2008. E' possibile, anzi probabile che tali ambienti siano termicamente severi, ma la formale classificazione in questo senso è irrilevante ai fini di stabilire le modalità con le quali eseguire la valutazione

del rischio, e comunque può essere effettuata soltanto a valle della misura. Nel caso una verifica preliminare consenta di escludere con grande probabilità la presenza di situazioni di rischio, il problema non si pone. Nel caso invece si ritenga che si possano effettivamente determinare condizioni termicamente severe, esistono norme tecniche di riferimento di grande e consolidata autorevolezza. Più in dettaglio, per gli ambienti severi caldi (indicativamente $t_a > 30^\circ\text{C}$), le norme di riferimento per valutare il rischio termico sono la UNI EN ISO 7933:2005 [7] e, in fase di screening, la UNI EN 27243:1996 [8]. Nel limite opposto degli ambienti severi freddi (indicativamente $t_a < 10^\circ\text{C}$) la norma tecnica di riferimento è la UNI EN ISO 11079:2008 [9], supportata dal software di calcolo IREQ2007 disponibile on-line [10]. Benché criticabili, e più volte in effetti criticate (ad esempio [11] per la UNI EN ISO 7933), nel complesso le norme tecniche sul microclima definiscono un quadro formale per la valutazione del rischio la cui solidità ed esaustività è ineguagliata nel campo degli agenti di rischio fisici.

2.2.2 - Comfort e discomfort

Negli ambienti termici moderabili l'obiettivo della tutela della salute è dato per scontato. E' dunque legittimo porre pertanto il problema di assicurare al soggetto la condizione di massimo comfort. Di nuovo è possibile, ma assolutamente non certo, che un ambiente moderabile sia anche moderato. Perché ciò avvenga è necessario che, secondo la definizione data nella norma UNI EN ISO 7730:2006 [12], nell'ambiente si verifichino deviazioni moderate dal comfort termico, sia previste, nel caso di nuovi insediamenti, sia esistenti, nel caso di ambienti già in uso (traduzione libera nel lessico ma rigorosa nei concetti). Se questa condizione è effettivamente rispettata, si cade sotto la giurisdizione della stessa norma UNI EN ISO 7730:2006. Altrimenti ci si deve affidare a schemi proposti nella letteratura scientifica (ad esempio [13]), ma che comunque richiedono che si accetti il salto nel tenebroso mondo del "non a norma".

Tabella 1 – Intervallo di accettabilità per l'indice di comfort globale PMV

Categoria	Intervallo di accettabilità del PMV	Intervallo di accettabilità del PPD
A	$-0,2 < \text{PMV} < +0,2$	$< 6\%$
B	$-0,5 < \text{PMV} < +0,5$	$< 10\%$
C	$-0,7 < \text{PMV} < +0,7$	$< 15\%$

Tuttavia, al contrario di quanto visto per gli ambienti severi, anche per situazioni lavorative che ricadono nell'ambito trattato dalla norma non tutto è ovvio. In particolare, mentre fino alla penultima edizione della UNI EN ISO 7730 (1997) [14] l'intervallo di accettabilità era unico e ben stabilito, $-0,5 < \text{PMV} < +0,5$, la corrente versione 2006 contiene un'articolazione degli ambienti in tre distinte categorie A B C, alle quali risultano associati altrettanti diversi intervalli di accettabilità (Tabella 1). La norma si guarda bene dal fornire criteri con i quali procedere alla classificazione di una data situazione lavorativa in una di queste categorie e quindi non consente di determinarne l'accettabilità ai fini del comfort. La questione, trasferita dalla norma a livello locale, è tuttora irrisolta, anche se iniziano ad

apparire proposte per sciogliere il nodo [15].

La norma UNI EN ISO 15265:2005 [16] che affronta la valutazione del rischio disponendo su di un'unica scala termica ambienti a rischio ed ambienti con problemi di comfort contiene alcuni errori e altrettante lacune. Nella sua attuale versione essa va considerata con molta cautela ed è di utilità molto relativa, se non per la parte nella quale vengono identificate e tratteggiate tre diverse strategie di valutazione con diversi livelli di approfondimento.

2.3 - MISURA

Innanzitutto va sempre premesso che valutare e misurare sono sempre due cose ben distinte, e che soltanto in ambienti con potenziali rischi per la salute la valutazione non può prescindere dalla misura dei parametri fisici. Se si ritiene di optare per un metodo quantitativo, la normativa tecnica, sia che si parli di comfort sia che si parli di rischio, utilizza uno schema di valutazione basato sulla soluzione di una equazione di bilancio energetico [6], che a sua volta richiede la conoscenza di sei quantità: quattro dette "fisiche" o oggettive (t_a , v_a , RH, t_r), due dette individuali o soggettive (attività metabolica e resistenza termica del vestiario)

Le quattro quantità fisiche possono tutte essere misurate senza particolari difficoltà, mediante una semplice centralina microclimatica. Se si ha cura di seguire alcune semplici regole di buon senso [6], da questo lato non sono da attendersi complicazioni cui valga la pena discutere.

La parte più spinosa riguarda invece le quantità che non si possono misurare, ovvero i parametri individuali, la cui stima è tanto critica per l'affidabilità del risultato quanto arbitraria. Una recente analisi dei problemi legati alla diverse modalità di stima dell'attività metabolica è stata svolta in [17]. Una semplice illustrazione della criticità della scelta del valore corretto di attività metabolica e di resistenza termica del vestiario è stata invece proposta in [18] per ambienti moderati. Poiché l'incertezza complessiva data dalla variabilità degli abbigliamento dei diversi individui presenti nell'ambiente, e dalla non esatta corrispondenza fra un abbigliamento e quello di riferimento per il quale si dispone di un valore di I_{cl} è sicuramente non piccola, è facile intuire come questo rappresenta l'elemento che introduce la maggior incertezza nel calcolo dell'indice di comfort o di rischio.

La scelta di un insieme di indumenti che sia allo stesso tempo sostanzialmente in grado di fornire la protezione desiderata in ambienti freddi, e formalmente tracciabile agli standard [19] e [20] che definiscono un DPI per ambienti severi freddi è anch'essa tutt'altro che assodata [21], e meriterebbe una riflessione molto più seria di quella che è stata fatta finora.

3 - ULTRASUONI

3.1 - RISCHIO O DISCOMFORT ?

La soglia uditiva ad alta frequenza ($f > 12,5$ kHz) è una funzione estremamente ripida della frequenza (o per meglio dire del logaritmo della frequenza), molto più di

quanto la curva di pesatura A lascerebbe pensare. Recenti determinazioni [22] [23] indicano che anche in un campione di soggetti intorno ai 20 anni soltanto una minima parte possiede una soglia inferiore ai 90 dB a frequenze superiori a 18 kHz. In aggiunta è noto che l'udito si deteriora rapidamente alle frequenze più alte. In un campione di soggetti fra i 40 e i 50 anni, meno dell'1% ha mostrato una soglia inferiore a 85 dB a 17 kHz. [24]. Soglie medie rispettivamente di 100 dB e 125 dB sono state tentativamente suggerite a 20 e 25 kHz [25]. In sintesi, non esistono dubbi sul fatto che onde acustiche oltre i 20 kHz, anche di livello molto elevato, risultino totalmente inudibili. Poiché per le onde di pressione vale il principio che ciò che non si sente non può nuocere, rischi per l'apparato uditivo indotti da una esposizione ultrasuoni ($f > 20$ kHz) appaiono pressoché impossibili, come effettivamente confermato dalla totale assenza di indicazioni in tal senso [24, [26]. L'identificazione degli ultrasuoni come un fattore di rischio da parte del D.Lgs. 81 va dunque interpretata esclusivamente in relazione ai rischi extra-uditivi. Effetti fisiologici associati all'aumento della temperatura nei tessuti esposti sono stati osservati per esposizioni prolungate a 145 – 155 dB. Tali livelli non sono mai stati misurati per apparecchiature con applicazioni commerciali o industriali [25]. Diversi disturbi di carattere soggettivo sono stati identificati (annoyance, discomfort nelle orecchie, affaticamento, nausea, disfunzioni vestibolari e persistenti mal di testa [24], [26]). Sembra che molti di questi effetti siano dovuti a sub-armoniche nel range sonoro generate all'interno dell'orecchio. L'eventuale classificazione di tali disturbi come elementi di discomfort più che di rischio solleva una importante questione di principio, relativa alla coerenza con i fattori di rischio rumore e vibrazioni per i quali il D.Lgs. 81/2008 non prevede la tutela dal discomfort. Tuttavia essa è ininfluenza nel contesto della valutazione del rischio. Quanto al descrittore da utilizzare, è chiaro che gli effetti degli ultrasuoni non sono legati ad una dose assorbita quanto alla esposizione, anche per brevi periodi, a livelli opportunamente elevati. La valutazione deve pertanto avvenire mediante descrittori tipo livelli equivalenti.

3.2 - VALUTAZIONE

Esistono numerose determinazioni della soglia di accettabilità degli ultrasuoni [24], ma fortunatamente le più autorevoli mostrano una sostanziale convergenza. Per semplicità e coerenza con le indicazioni già fornite dalle Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro [27], si può adottare la curva proposta dalla American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) [28], adottata dall'OSHA [29], e mostrata nella Figura 1. A conferma di quanto detto sopra riguardo alla scala temporale da usare per il descrittore, non esistono limiti indipendenti per la giornata lavorativa [24], ma questi vengono fatti coincidere con i limiti a breve termine.

Non mancano tuttavia alcune ombre. Tanto per cominciare i valori proposti dall'ACGIH sono tutt'altro che recenti (risalgono ad uno studio originale di Parrack del 1966) e quindi ignorano tutta la letteratura scientifica degli ultimi quaranta anni. In aggiunta va sottolineato come l'ACGIH stessa condizioni questi limiti al fatto che il corpo umano sia accoppiato efficacemente alla sorgente ultrasonora, e che per

trasmissione in aria i limiti siano incrementabili di 30 dB. Diversi documenti e standard nazionali adottano i limiti mostrati nella Figura 1 obiettando che l'incremento proposto sposterebbe i limiti stessi a valori irragionevoli. La questione è aperta ma, alla luce della vaghezza della connessione fra limiti e rischi, scarsamente ansiogena.

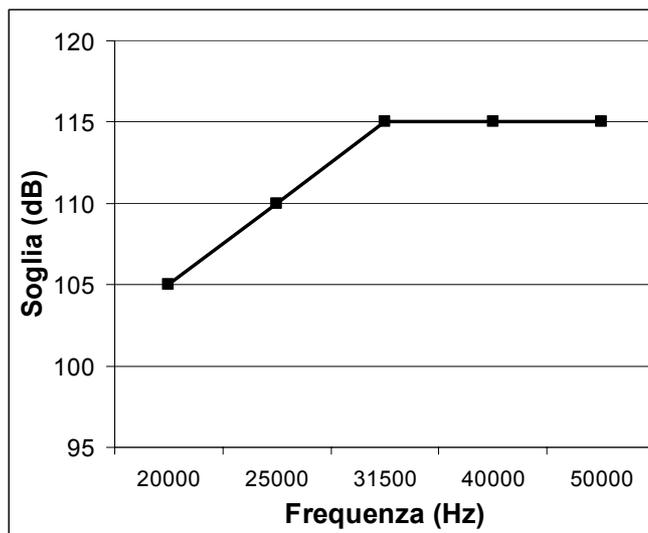


Figura 1 – Soglia di accettabilità per gli ultrasuoni

Molte utili indicazioni riguardo ai macchinari in grado di produrre significativi livelli ultrasonori, e ai metodi per la loro attenuazione sono rintracciabili nelle Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro [27]. A questo riguardo due sono gli aspetti importanti che vanno puntualizzati:

- 1) poiché la direttività dell'emissione sonora aumenta al crescere della frequenza, gli ultrasuoni sono estremamente direzionali;
- 2) l'attenuazione degli ultrasuoni in aria è molto forte;
- 3) la lunghezza d'onda degli ultrasuoni è di pochi centimetri.

Di conseguenza l'unico caso in cui l'esposizione ad ultrasuoni presenta caratteristiche di potenziale rischio è quando l'operatore si trova in prossimità dell'apparecchio, in totale assenza di schermi e con la linea di vista parallela alla direzione del moto della sorgente ultrasonora.

Va inoltre rimarcato come molti degli effetti citati al punto precedente possano verosimilmente essere indotti dalla esposizione alle sub-armoniche delle onde ultrasonore generate dalle stesse apparecchiature, che cadono all'interno del range sonoro. Esse tuttavia, indipendentemente dalla loro origine, fanno parte a tutti gli effetti della esposizione a rumore e vanno quindi ignorate nel contesto della valutazione degli infrasuoni, anche se beneficerebbero indirettamente delle misure correttive prese per ridurre l'eventuale eccessiva esposizione ad ultrasuoni. Per questo come per altri aspetti relativi all'interazione fra ultrasuoni e uomo si rimanda all'eccellente lavoro di rassegna [24].

Studi relativi all'efficacia dei dispositivi di protezione individuali (cuffie, inserti) nel regime ultrasonoro, non ne esistono. Le poche informazioni disponibili sul comportamento di questi dispositivi a frequenze intorno a 16 kHz [30] indicano attenuazioni in linea con quelle fornite nella parte più alta (2 – 8 kHz) dell'intervallo specificato nello standard di prova UNI EN 24869-1 [31].

3.3 - MISURA

La misura degli ultrasuoni è un argomento piuttosto delicato. Un buon microfono da ½" come quelli normalmente utilizzati per misure di esposizione professionale a rumore è presumibilmente in grado di rivelare onde acustiche ultrasonore fino a molte decine di kHz. Tuttavia le specifiche tecniche dei microfoni montati di serie (ad esempio [32] [33] [34]) su fonometri anche avanzati non mostrano dettagli relativi a frequenze superiori a 20 kHz, come evidenziato ad esempio dalla Figura 2, relativa al microfono Brüel & Kjær 4189 [32]. Ciò naturalmente non significa che questi microfoni non siano sensibili a onde ultrasonore, ma soltanto che non si sa esattamente quanto lo siano. Naturalmente esistono microfoni esplicitamente progettati per misure di ultrasuoni, ma considerato che quelli da ½" sono relativamente rari e che la disponibilità di più di un microfono è limitata a una minima parte dei soggetti coinvolti nelle valutazioni del rischio, la loro diffusione è sicuramente marginale.

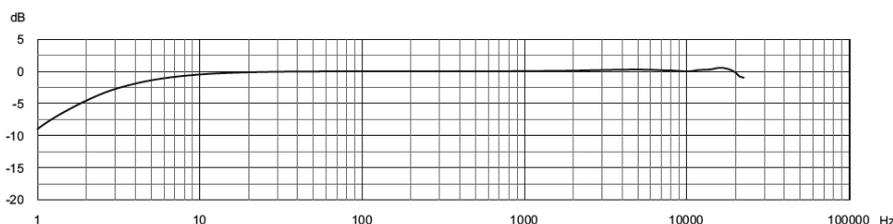


Figura 2 – Risposta tipo di un microfono di classe 1

In ogni caso, più che il microfono l'ostacolo maggiore alla misura degli ultrasuoni è rappresentato dalla frequenza di campionamento che nella grande maggioranza dei misuratori di livello sonoro, anche avanzati, è attualmente limitata a 48 o al più 51,2 kHz. Con questa frequenza di campionamento i filtri anti-aliasing dello strumento limitano la frequenza massima utile a circa 20 kHz, e nessun confronto con la curva limite della Figura 1 è possibile.

La via più rigorosa per l'esecuzione di una misura di ultrasuoni richiede un microfono ad hoc, possibilmente da ¼", ed un analizzatore hardware dedicato. Tuttavia quest'ultimo implica uno sforzo economico non indifferente. Sfruttando il fatto che la misura di livelli ultrasonora per esposizione professionale non è condizionata alla disponibilità di strumenti che soddisfano requisiti standardizzati (tipo classe 1 CEI 61672-1 [35] per esposizione a rumore), è possibile percorrere una via low-cost, sfruttando la scheda audio già presente su ogni personal computer contemporaneo, e uno dei molti software di analisi disponibili (vedi ad esempio [36] per una recente rassegna).

In entrambi i casi, visto che nella Figura 1 i limiti sono specificati fino a 50 kHz, viene richiesta una frequenza di campionamento non inferiore a 96 kHz.

3.4 - CONCLUSIONE E SOVRAPPOSIZIONI COL RISCHIO RUMORE

L'esposizione ad ultrasuoni rappresenta un caso particolare in cui i valori limite sono ben definiti, ancorché oscuri nel loro significato, mentre molto mal definiti sono i metodi per verificarne il rispetto.

Per quanto detto sopra a proposito della misura non possono infatti essere esclusi "falsi negativi" ovvero casi nei quali una reale esposizione a ultrasuoni non è stata adeguatamente misurata.

Al contrario, nonostante l'andamento relativamente piatto della curva A ad alta frequenza (Figura 3), il livello di esposizione giornaliero $L_{EX,8h}$ non risente della presenza di ultrasuoni. Pertanto sono da escludere "falsi positivi", cioè casi in cui il $L_{EX,8h}$ supera una soglia di legge a causa di contaminazioni da parte di ultrasuoni.

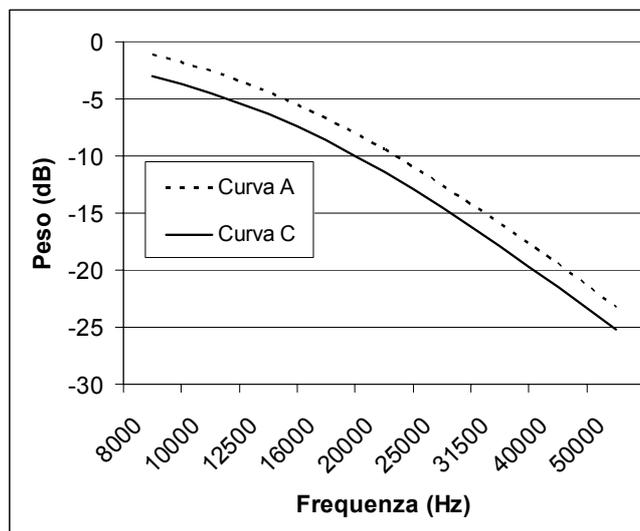


Figura 3 – Curve di pesatura A e C ad alta frequenza

4 - INFRASUONI

4.1 - RISCHIO O DISCOMFORT ?

La questione posta in precedenza per gli ultrasuoni si ripropone adesso per gli infrasuoni, anche se non negli stessi termini, per via di alcune differenze relative alla soglia di perceibilità e al potenziale di danno.

4.1.1 - Rischio uditivo

L'andamento della soglia di percezione a bassa frequenza è assai meno ripido che

non ad alta frequenza. Pertanto le onde sonore di frequenza anche di pochi Hz sono perfettamente percepibili (udibili è probabilmente un termine inappropriato in questo contesto) se di livello sufficientemente elevato. La presenza di danni uditivi non può quindi essere esclusa a priori.

Benché non siano noti studi che leghino danni permanenti (PTS) ad esposizioni prolungate ad infrasuoni, esistono invece alcuni lavori che associano il manifestarsi di spostamenti temporanei della soglia uditiva (TTS) ad esposizioni della durata di qualche minuto ad infrasuoni di livello 125 – 140 dB [37]. È interessante notare come le TTS identificate siano tutte a frequenze molto più alte (> 1 kHz) della frequenza stimolo. L'effetto rimane difficile da quantificare per la difficoltà di generare OSBF “pure” prive cioè di simultanee componenti a frequenza più alta. Gli esperimenti sembrano comunque concordare sul fatto che le perdite uditive TTS vengano recuperate in tempi piuttosto rapidi. Non è possibile escludere che si manifestino anche TTS a frequenza pari a quella dello stimolo, ma a causa della grande variabilità della soglia intra-individuo a queste frequenze, tali TTS risultano assai difficile da quantificare. Le evidenze in questo senso, sia per la relativa debolezza, sia per l'intensità dell'esposizione rendono tutto sommato secondario il rischio uditivo.

4.1.2 - Effetti soggettivi

Gli esperimenti condotti per verificare l'esistenza di interferenza fra esposizione a OSBF ed attività psico-motorie di vario tipo non hanno condotto a risultati sempre consistenti. Con certezza sono stati accertati effetti di interferenza con il sonno, con conseguenti frequenti risvegli e successiva sensazione di fatica, apatia e perdita di concentrazione. Le sensazioni di affaticamento e diminuita “wakefulness” appaiono piuttosto essere conseguenze piuttosto comuni della esposizione a OSBF, e sono state ipotizzate conseguenze non trascurabili, specialmente per le attività di guida professionale [37]. Al contrario non sembrano dimostrati effetti sui tempi di reazione, sulla visione e su diversi compiti cognitivi. Vertigini, perdita di equilibrio, disorientamento, nausea, vomito, palpitazioni cardiache sono tutti a varie riprese stati citati come effetti di esposizioni con diversi livelli, frequenze e durate temporali, ma senza che ne sia finora emerso un quadro univoco [38].

In sintesi, anche se effetti per l'apparato uditivo non possono essere completamente esclusi, come per gli ultrasuoni, è possibile concludere che anche gli infrasuoni vanno intesi principalmente in associazione a effetti soggettivi.

4.2 - VALUTAZIONE

Il quadro formale per la valutazione della esposizione a infrasuoni è molto meno definito di quello per gli ultrasuoni. La tutela del lavoratore contro gli infrasuoni richiede dunque che qui venga definito un descrittore ed una o più soglie di accettabilità/tollerabilità.

4.2.1 - Descrittore

Nel regno degli effetti soggettivi extra-uditivi il confine fra elementi che si configurano come un danno ed elementi ai quali si attribuisce un semplice

potenziale di discomfort è molto molto sfumato. Come per gli infrasuoni, gli effetti si manifestano assai rapidamente nel corso dell'esposizione e risultano totalmente reversibili al termine della esposizione. Essi richiedono pertanto un descrittore insensibile al tempo di esposizione, ovvero un livello equivalente.

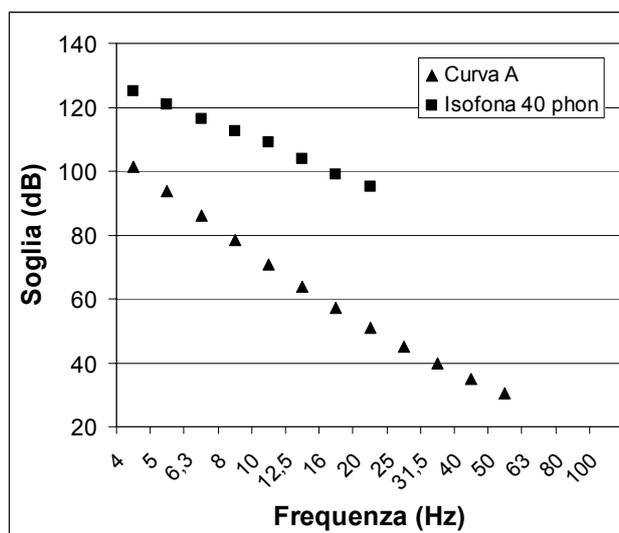


Figura 4 – Confronto fra Curva A (invertita) e isofona 40 phon

A frequenze inferiori a 50 Hz l'andamento della curva A è molto più ripido di quello delle curve di ugual sensazione sonora (dette "curve isofoniche" o isofone), con apprezzabile potenziale disturbante (ad esempio 40 phon, vedi Figura 4). Questo ha la conseguenza di produrre forti sottostime del potere disturbante delle onde di frequenza bassa ma di livello elevato, qualora questo venga valutato (come spesso avviene) sulla base di descrittori espressi in dBA. Tali descrittori vanno di conseguenza esclusi.

Poiché inoltre l'esposizione a infrasuoni pone primariamente un problema di comfort uditivo e non di un problema di danno, non ha senso utilizzare un descrittore di tipo energetico, ossia integrato in frequenza. Ciò conduce ad eliminare anche descrittori come il livello equivalente con pesatura G suggerito nello standard ISO 7196:1995 [39] a favore di un descrittore tonale ossia espresso frequenza per frequenza. Poiché tuttavia nessun descrittore di questo tipo è stato finora considerato all'interno di uno standard tecnico, è necessario fare ricorso alla letteratura scientifica internazionale.

4.2.2 - Criteri e curve limite

Sulla falsariga di quanto avviene per i fattori di rischio rumore e vibrazioni, tentiamo di identificare due curve, una prima, più bassa, di accettabilità, ed una seconda, più alta, di tollerabilità.

Come noto, a bassa frequenza le isofone tendono ad addensarsi le une alle altre molto più di quanto avvenga ad alta frequenza. Sono noti casi in cui alcuni disturbi

iniziano a manifestarsi già in prossimità della soglia. La scelta naturale per la curva di accettabilità, concettualmente assimilabile al valore di azione, è pertanto rappresentata dalla curva che definisce la soglia di perceibilità.

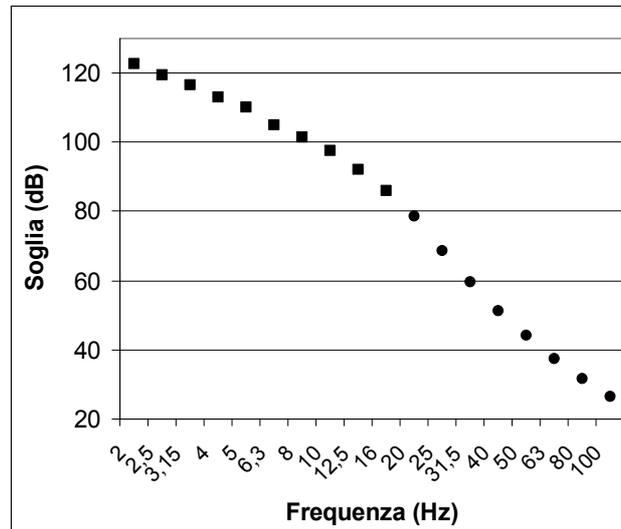


Figura 5 – Soglia di perceibilità

La Figura 5 mostra la più recente determinazione della soglia di perceibilità, messa a punto nel 2007 dal gruppo dell'Università di Aalborg [40] integrando i valori dello standard ISO 389-7 (sopra 20 Hz) con dati propri a frequenze inferiori.

Questa curva tende a disporsi intorno al limite inferiore dell'intervallo di variabilità inter-individuo, che tende ad essere piuttosto ampio a queste frequenze. In questo modo essa rappresenta una stima cautelativa al di sotto della quale qualsiasi effetto è quasi completamente escluso.

Riguardo alla definizione di una curva limite per il disturbo da infrasuoni nei luoghi di lavoro, gli studi più approfonditi sono sicuramente stati compiuti in Polonia. I risultati raggiunti sono sintetizzati in un recente lavoro [41] che verifica la capacità di diversi descrittori di descrivere le sensazioni di disturbo riportate da soggetti durante prove sia di laboratorio sia di campo.

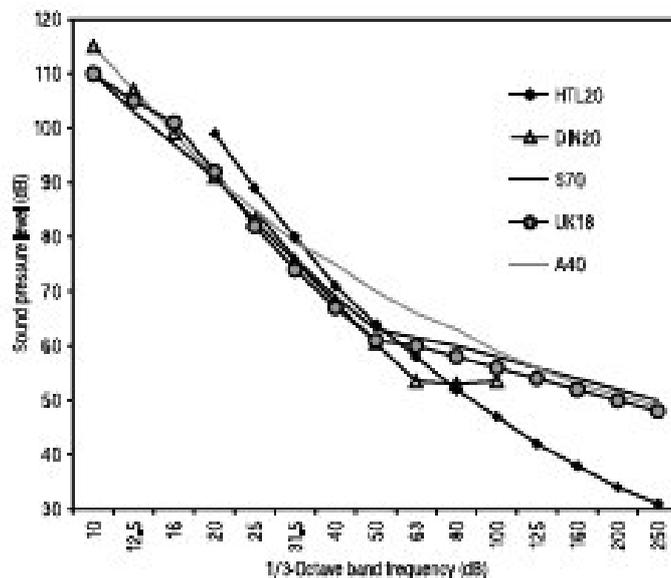


Figura 6 – Determinazioni della soglia di tollerabilità per onde sonore di bassa frequenza a partire da curve limite nazionali

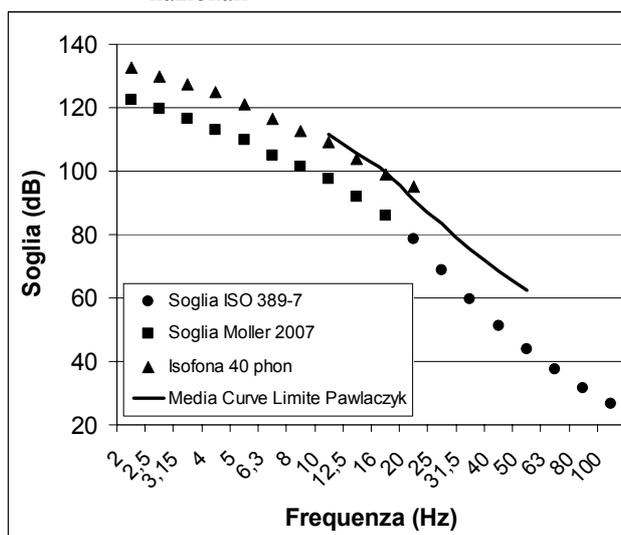


Figura 7 – Alcune curve rilevanti per la valutazione dell'esposizione ad infrasuoni

Partendo dalle curve limite per l'esposizione sociale ad infrasuoni definite in una serie di standard e documenti tecnici di diverse nazioni nord-europee (Germania, Olanda, Danimarca, Svezia, Gran Bretagna) si è ottenuta una serie di curve,

riportata nella Figura 6. I valori medi di queste curve rappresentano in questo momento la miglior stima della soglia di tollerabilità al disturbo occupazionale da infrasuoni, e con questo significato vengono proposti nel presente lavoro. Si nota dalla Figura 7 come tale curva coincida discretamente (e sicuramente entro le incertezze) con l'isofona a 40 phon, nella parte in cui le due si sovrappongono. Si suggerisce quindi che la soglia di tollerabilità alle frequenze inferiori a 10 Hz venga stabilita estrapolando i valori [41] mediante l'isofona a 40 phon.

In aggiunta, poiché il disturbo o annoyance indotto dalla esposizione a suoni di bassa frequenza è stato spesso indagato studiando le isofone, la quantificazione del disturbo può avvenire identificando l'isofona alla quale il livello misurato corrisponde e misurando la distanza (in phon) dalla isofona a 40 phon. Le isofone a bassa frequenza sono state recentemente oggetto di un accurato lavoro di rideterminazione [42], i cui risultati sono riprodotti nella Figura 8.

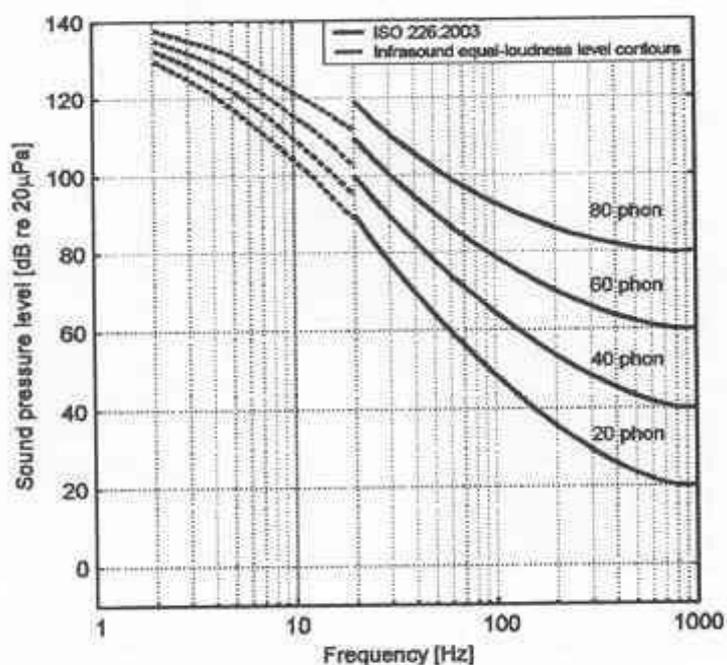


Figura 8 – Isofona a bassa frequenza

Perfettamente inutili sono invece i TLV dell'ACGIH [28], i quali stabiliscono un limite massimo di 145 in dB per ciascuna banda di 1/3 d'ottava fra 1 ed 80 Hz, ed un limite complessivo integrato in frequenza di 150 dB, con una ulteriore deroga per segnali di durata inferiore a 2 s.

Una rassegna sia delle sorgenti principali di infrasuoni sia di possibili metodi per la loro attenuazione sia degli effetti biologici degli infrasuoni è stata presentata in una delle scorse edizioni di dBA [43] e riassunta nelle Linee Guida per la valutazione del rischio rumore [27].

Pochi studi hanno indagato la performance dei dispositivi di protezione individuale nel range infrasonoro. In estrema sintesi, il quadro che emerge esclude che tali dispositivi (almeno quelli di tipo passivo) forniscano una attenuazione distinguibile da zero sotto i 50 Hz [30].

4.3 - MISURA

La misura di onde sonore di bassa frequenza non richiede l'utilizzo di strumentazione particolarmente sofisticata. Un tradizionale microfono da ½ pollice di buona qualità è certamente in grado di rivelare onde acustiche di frequenza fino a circa 3 Hz con una modesta perdita di efficienza contenuta al più in $2 \div 3$ dB al più (vedi ad esempio la Figura 2).

A questo si aggiunge il fatto che molti degli analizzatori contemporanei sono di tipo-multipurpose, ossia accettano in ingresso segnali provenienti sia da microfoni che da accelerometri (e da altri sensori).

Di conseguenza essi consentono l'analisi in frequenza del segnale, sia in 1/n di ottava sia in banda stretta, a partire da 1 Hz.

E' in definitiva piuttosto semplice ottenere una misura affidabile del descrittore di esposizione ad ultrasuoni, ovvero il livello equivalente in 1/3 di ottava anche senza strumentazione dedicata.

4.4 - CONCLUSIONE E SOVRAPPOSIZIONI COL RISCHIO RUMORE

Il quadro relativo alla valutazione del rischio infrasuoni è l'esatto opposto di quello relativo alla esposizione ad ultrasuoni. Si tratta infatti di un caso in cui ottenere una misura affidabile è relativamente semplice, mentre il quadro dei valori limite è molto nebuloso.

La curva A è molto ripida alle basse frequenze (Figura 9) ed i valori che essa assume sono così fortemente negativi che in pratica il contributo di queste frequenze al livello di esposizione giornaliero a rumore $L_{EX,8h}$ è totalmente trascurabile. Ciò esclude ogni tipo di eventi "falsi positivi".

"Falsi negativi" sono parimente esclusi dal fatto che la misura di onde di frequenza molto bassa non pone alcuna seria difficoltà pratica con qualsiasi strumentazione contemporanea, e quindi una eventuale esposizione ad infrasuoni è facilmente identificabile.

Più complesso è il ruolo che gli infrasuoni possono giocare nel determinare superamenti del valore limite di 140 dBC che il D.Lgs. 81/2008 stabilisce per il livello sonoro di picco.

La curva di pesatura C, mostrata anch'essa nella Figura 9, scende infatti molto più lentamente della curva A alle basse frequenze, lasciando aperta la possibilità di livelli di picco molto elevati a frequenza infrasonora.

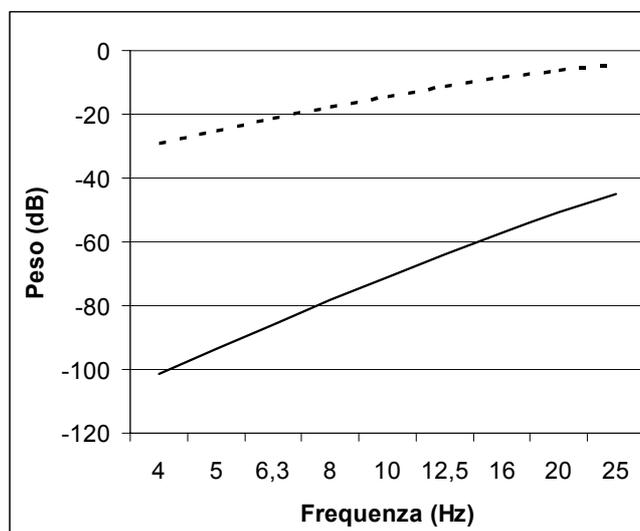


Figura 9 – Curve di pesatura A e C a bassa frequenza

Resta aperta la questione del reale significato di questi picchi che essendo caratterizzati da tempi di salita molto lunghi dovrebbero essere facilmente tollerabili dall'orecchio umano e quindi presentare rischi assai più bassi degli stessi livelli a frequenze > 250 Hz. Questa tuttavia è una questione totalmente accademica, in quanto piaccia o non piaccia la legge dispone che la misura del livello di picco debba essere eseguita in dBC. Punto.

5 - SINTESI

Giunti all'ottobre 2008 il microclima può essere ritenuto un fattore di rischio "acquisito", con il quale credo che molti noi abbiano raggiunto una discreta familiarità. Altrettanto non si può certo dire degli ultrasuoni e degli infrasuoni. L'inclusione di queste due tipologie di onde acustiche all'interno del D.Lgs. 81/2008 chiede a noi tutti uno sforzo per colmare questa lacuna.

Confido che a valle di questa presentazione sia ragionevolmente chiaro come muoversi per valutare una eventuale esposizione occupazionale a ultrasuoni e infrasuoni. Quello che invece non credo sia chiaro, e certo non lo è al sottoscritto, è quale sia il senso di una tale valutazione. Come abbiamo visto, ultrasuoni e infrasuoni sono essenzialmente fattori di discomfort molto più che fattori di rischio. Mi chiedo pertanto con quale faccia andiamo a valutare il (raro) discomfort indotto da un'esposizione ad ultrasuoni o a infrasuoni quando ignoriamo completamente il (frequente) discomfort indotto da una esposizione a rumore che a livelli superiori a 60 – 65 dBA complica la vita a milioni di lavoratori costretti ad affrontare compiti mentalmente impegnativi in condizioni acustiche tutt'altro che ideali. Per non parlare della valutazione del discomfort termico, confinato nel purgatorio dell'allegato IV nel quale gode della rispettabile compagnia dei commi sulla

larghezza delle porte, sull'inclinazione delle scale a pioli, sull'apartheid sessuale negli spogliatoi e sulla minima distanza fra abitazioni e concimaie.
Al lettore, naturalmente, la risposta.

6 - BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81, Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30.4.2008 - Supplemento Ordinario n. 108
- [2] Coordinamento tecnico per la sicurezza delle regioni e delle province autonome + ISPESL, Decreto Legislativo 81/2008, Titolo VIII Capo I, II e III sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro - Prime indicazioni applicative (2008)
- [3] Decreto del Presidente della Repubblica 19 marzo 1956, n. 303, Norme generali per l'igiene del lavoro, Gazzetta Ufficiale n. 105 del 30.4.1956 - Suppl. Ordinario
- [4] Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626 integrato dal Decreto Legislativo 19 marzo 1996, n. 242, Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro
- [5] del Gaudio M., Lenzuni P., La valutazione del rischio termico in ambienti moderabili caldi, Giornale degli Igienisti Industriali, 3/2006, pag. 210 – 219
- [6] Coordinamento tecnico per la sicurezza delle regioni e delle province autonome + ISPESL, Linee Guida Microclima Aerazione e Illuminazione nei luoghi di lavoro, 2006
- [7] UNI EN ISO 7933:2005, Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile
- [8] UNI EN 27243:1996, Ambienti caldi. Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro, basata sull'indice WBGT (temperatura a bulbo umido e del globotermometro)
- [9] UNI EN ISO 11079:2008, Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione e interpretazione dello stress termico da freddo con l'utilizzo dell'isolamento termico dell'abbigliamento richiesto (IREQ) e degli effetti del raffreddamento locale
- [10] IREQalfa2007, versione 4.1, http://wwwold.eat.lth.se/Forskning/Termisk/Termisk_HP/Klimatfiler/IREQ2002alfa.htm
- [11] Marciano F., Rossi D., La valutazione del rischio negli ambienti severi caldi secondo la norma UNI EN ISO 7933:2005, Atti del convegno dBAincontri 2005, pag. 3 – 23
- [12] UNI EN ISO 7730:2006, Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale
- [13] Lenzuni P., del Gaudio M., Thermal comfort assessment in comfort-prone workplaces, Annals of Occupational Hygiene, 2007, 51 (6), 543 – 552, (2007)
- [14] UNI EN ISO 7730:1997, Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico - *ritirata*

- [15] Lenzuni P., del Gaudio M., Freda D., Classificazione degli ambienti termici ai fini della definizione dei limiti di accettabilità per il comfort, inviato per la pubblicazione
- [16] UNI EN ISO 15265:2005, Ergonomia dell'ambiente termico - Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro
- [17] Molinaro V., Del Ferraro S., Ruolo dell'attività metabolica nella valutazione del rischio da esposizione ad ambienti termici, 26° Congresso nazionale AIDII, Siena, 25 – 27 giugno 2008, pag. 485 – 492
- [18] Del Ferraro S., Molinaro V., Analisi parametrica per la valutazione del rischio da stress microclimatico negli ambienti di lavoro, 26° Congresso nazionale AIDII, Siena, 25 – 27 giugno 2008, pag. 493 – 499
- [19] UNI EN 342:2004, Indumenti di protezione - Completi e capi di abbigliamento per la protezione contro il freddo
- [20] UNI EN ISO 15831:2005, Indumenti - Effetti fisiologici - Misurazione dell'isolamento termico per mezzo di un manichino termico
- [21] Freda D., del Gaudio M., Lenzuni P., Uso dei DPI in ambienti termici severi freddi – dalla teoria alla prassi, inviato per la pubblicazione
- [22] Kurakata K., Ashihara K., Matsushita K., Tamai H., and Ihara Y., Threshold of hearing in free field for high-frequency tones from 1 to 20 kHz, *Acoustical Science and Technology* 24(6), pag. 398-399 (2003)
- [23] Ashihara K., Kurakata K., Mizunami T., Matsushita K., Hearing threshold for pure tones above 20 kHz, *Acoustical Science and Technology*, Vol. 27, No. 1, pag.12-19, (2006)
- [24] Lawton B.W., Damage to human hearing by airborne sound of very high frequencies or ultrasonic frequencies, HSE, 2001
- [25] Health Canada, Guidelines for the Safe Use of Ultrasound: Part II - Industrial & Commercial Applications - Safety Code 24, http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/safety-code_24-securite/health-sante-eng.php
- [26] Howard C. Q., Hansen C.H., Zander A. C., A Review of current ultrasound exposure limits, *The Journal of Occupational Health and Safety - Australia and New Zealand*, 21 (3), June, pag. 253-257
- [27] Coordinamento tecnico per la sicurezza delle regioni e delle province autonome + ISPESL, Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro, 2005
- [28] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 2008 TLV's and BEI's
- [29] http://www.osha.gov/dts/osta/otm/noise/health_effects/ultrasonics.html
- [30] Berger E.H., Protection for Infrasonic and Ultrasonic Noise Exposure, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 45, B32 – B33 (1984)
- [31] UNI EN 24869-1:1993, Acustica - Protettori auricolari - Metodo soggettivo per la misura dell'attenuazione sonora
- [32] <http://www.bksv.com/doc/BP2210.pdf>
- [33] <http://www.gras.dk/00012/00013/00028/00040/>
- [34] http://www.pcb.com/spec_sheet.asp?model=377A13&item_id=9342
- [35] CEI EN 61672-1:2003, Elettroacustica – Misuratori del livello sonoro – Parte

1: Specifiche

[36] <http://www.scribd.com/doc/4424740/Measuring-on-the-PC-Display-Elektor-Electronics-May-2008>

[37] Landström U., *Human exposure to infrasound*, in the Encyclopedia of Environmental control technology – Vol. 7 – Chapt. 20, P. N. Cheresiminoff editor, 1987

[38] *Infrasound – Brief Review of Toxicological Literature*, 2001, http://ntp-server.niehs.nih.gov/htdocs/Chem_Background/ExSumPdf/Infrasound.pdf

[39] ISO 7196:1995, Acoustics - Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements

[40] Pedersen C. S., Møller, H., Persson Waye K., An investigation of twenty-one cases of low-frequency noise complaints, Proceeding of the 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 2 – 7 settembre 2007, paper ENV-05-002

[41] Pawlaczyk-Luszczynska M., Szymczak W., Dudarewicz A., Sliwinska-Kowalska M., Proposed criteria for assessing low frequency noise criteria for annoyance in occupational settings, Int. J. Occup. Med. Envir. Health vol. 19, 185 – 197 (2006)

[42] Møller H, Pedersen C.S., Hearing at Low and Infrasonic Frequencies, Noise and Health vol. 23, pag. 37 – 57 (2004)

[43] Lenzuni P., Fenomenologia, fisica e implicazioni biologiche dei fenomeni infrasonori, Atti del convegno dBA 2002, Modena, pag. 931 – 951

7 - RINGRAZIAMENTI

Va da sé che senza la determinazione di Omar Nicolini è improbabile che microclima, ultrasuoni e infrasuoni sarebbero entrati a far parte non dico della nostra cultura, ma neanche del nostro vocabolario.

Vorrei inoltre ringraziare Alberto Armani che non mi fa mai mancare la sua impagabile assistenza su qualsiasi problema legato alle prestazioni della strumentazione acustica.