





Chiunque è autorizzato a riprendere parti di questo testo a patto di citare l'articolo con i relativi Autori ed il Volume con i suoi Curatori.

<http://www.ausl.mo.it/dsp/dba>







Rischi fisici emergenti  
nei luoghi di lavoro

**Convegno Nazionale promosso da:**



In collaborazione con:

Nell'ambito del XXII Salone  
della Salute e Sicurezza  
nei luoghi di lavoro  
BOLOGNA



**Bologna, 23 novembre 2022**

**Atti a cura di:  
Silvia Goldoni, Angelo Tirabasso**





## Rischi fisici emergenti nei luoghi di lavoro

### PRESENTAZIONE

Questo volume raccoglie gli Atti del Convegno “**dBA2022 – Rischi fisici emergenti nei luoghi di lavoro**” che si è tenuto il 23 novembre 2022 a Bologna, nell’ambito di Ambiente Lavoro 2022 - XXII Salone della Salute e Sicurezza nei luoghi di lavoro.

Il Convegno è stato organizzato dalla *Regione Emilia Romagna*, Assessorato alla Sanità, dall’*Azienda Unità Sanitaria Locale di Modena*, Dipartimento di Sanità Pubblica e dall’*INAIL*, Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro.

Nell’ambito del convegno dBA2022, in continuità con le edizioni degli anni precedenti, ci si pone l’obiettivo di approfondire i temi degli agenti fisici e dei loro effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori, con riferimento anche ai cosiddetti "rischi emergenti" e alla evoluzione delle metodologie e strumentazioni di misura e al loro supporto alla valutazione e gestione dei rischi.

Il Responsabile Scientifico  
***Silvia Goldoni***



# Indice generale

## RELAZIONI

CAMPI ELETTROMAGNETICI E 5G

Sara Adda

pag. 1

FAQ, BANCHE DATI ED ALTRI STRUMENTI A SUPPORTO DEI DATORI DI LAVORO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA RADIAZIONI OTTICHE

Andrea Bogi, Nicola Stacchini, Francesco Picciolo, Sara Adda, Iole Pinto

pag. 13

LA BANCA DELLE SOLUZIONI APRE AL MICROCLIMA: SOLUZIONI E STRUMENTI PER LA GESTIONE DEL RISCHIO

Sandra Bernardelli, Lucia Botti, Alice Caporale, Silvia Goldoni, Antonia M. Guglielmin, Cristina Mora

pag. 27

ATMOSFERE IPERBARICHE: INDICAZIONI SULLA VALUTAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO

Corrado Costanzo, Enrico Marchetti, Giuliana Valente

pag. 39

QUALCHE RIFLESSIONE SUL DESCRITTORE DA UTILIZZARE PER LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AGLI ULTRASUONI NEI LUOGHI DI LAVORO

Paolo Lenzuni

pag. 47

ULTRASUONI NEI LUOGHI DI LAVORO: SORGENTI E STRUMENTI PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

Raffaele Mariconte, Claudia Giliberti, Rosaria Falsaperla, Diego Annesi, Andrea Bogi, Nicola Stacchini

pag. 55

EFFETTI NON Uditivi DEL RUMORE

Sergio Luzzi, Giulio Arcangeli, Francesco Asdrubali, Franco Cotana, Pietro Nataletti

pag. 69



APPROCCIO METODOLOGICO GENERALE PER LA PROTEZIONE  
DALLE RADIAZIONI NEL CASO DELLE INDUSTRIE CON  
PRESENZA DI NORM

Rosabianca Trevisi, Andrea Bogi, Silvia Bucci, Elena Caldognetto,  
Giuseppe La Verde, Laura Luzzi, Federica Leonardi, Cristina Nuccetelli,  
Ilaria Peroni, Francesco Picciolo, Gabriele Pratesi, Flavio Trotti, Raffaella  
Ugolini, Gennaro Venoso, Mariagabriella Pugliese pag. 83

ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SU TOMOGRAFI  
SUPERCONDUTTORI PER RISONANZA MAGNETICA A BASSO  
CONTENUTO DI ELIO

Massimo Mattozzi, Wanda D'Amico, Maria Antonietta D'Avanzo,  
Francesco Campanella pag. 93

RASSEGNA DI UNO STUDIO PILOTA SULLA REALE  
ATTENUAZIONE DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI DI PROTEZIONE  
INDIVIDUALE DELL'UDITO

Annesi Diego, Pietro Nataletti, Annalisa Fregolent, Mara Lombardi, Shafik  
Karim, Andrea Vestrucci pag. 99

VIBRAZIONI TRASMESSE ALL'UOMO ATTRAVERSO I PIEDI E  
PROPOSTA DI REVISIONE DELLA ISO 2631-1

Marco Tarabini, Stefano Marelli, Angelo Tirabasso, Enrico Marchetti  
pag. 111



## **CAMPI ELETTROMAGNETICI E 5G**

**Sara Adda**

Arpa Piemonte – Dipartimento Rischi Fisici e Tecnologici

### **INTRODUZIONE**

L'implementazione delle reti 5G sta causando una crescente preoccupazione sul possibile impatto sulla salute e sicurezza derivante da esposizione a radiazioni elettromagnetiche a radiofrequenza (RF).

Nel presente lavoro vengono sintetizzate le caratteristiche che modificano le modalità di esposizione a tali campi elettromagnetici in prossimità di apparati 5G, mettendo in relazione queste modifiche con gli aspetti di protezione della salute a livello normativo e di valutazione dell'esposizione sia tramite calcoli, sia tramite misure.

Vengono inoltre illustrati gli studi più recenti sui metodi di valutazione e misura, gli sviluppi in corso per quanto concerne gli standard tecnici nazionali ed internazionali, le novità riguardanti i controlli su questa tipologia di impianti da parte del Sistema Nazionale di Protezione Ambientale.

### **NOVITÀ DEL 5G RISPETTO AI SISTEMI PRECEDENTI**

Ci sono diversi aspetti che caratterizzano i sistemi 5G costituendo un salto di paradigma rispetto ai sistemi precedenti: l'utilizzo di antenne attive, la gestione delle risorse radio per la trasmissione di informazioni (in frequenza, nello spazio e nel tempo), lo sfruttamento di bande di frequenza solo in parte sovrapponibili a quelle utilizzate dagli altri segnali (in particolare la banda delle onde millimetriche).

Inoltre, i sistemi 5G prevedono per loro natura una elevata flessibilità di applicazione, da cui derivano un numero molto elevato di possibili implementazioni: dal Dynamic Spectrum Sharing (condivisione di spettro tra segnali 4G e 5G) ai sistemi 5G Non Stand-Alone (la cui esistenza è legata strettamente alla presenza di impianti 4G) o Stand-Alone

(indipendenti dalla presenza di altri impianti), dal Single-User MIMO al Multi-User MIMO, ai sistemi di limitazione della potenza degli impianti per settore angolare, le diverse implementazioni ed applicazioni possono comportare considerevoli differenze nei metodi di stima dell'esposizione e nei livelli di campo elettromagnetico.

Di seguito si evidenziano le caratteristiche più significative dal punto di vista della ricaduta su livelli di esposizione e sui metodi per la valutazione della stessa.

- **Bande di frequenza:** il segnale 5G in Italia viene implementato in due macro-regioni dello spettro elettromagnetico: sub-6 GHz (con blocchi nelle bande 700 e 3700 MHz) e mmWave (con blocchi nella banda 26 GHz).
- **Larghezza di banda:** la tecnologia 5G estende la larghezza massima consentita fino a 100 MHz per il segnale sub-6 GHz e 400 MHz per il segnale mmWave.
- **Numerologia:** a differenza del LTE – dove l'unico valore consentito per la spaziatura tra le sottoportanti è 15 kHz – la tecnologia 5G supporta diverse numerologie, indicate dal parametro  $\mu$ . Tale parametro può variare da 0 a 4 ed è strettamente legato alla spaziatura delle sottoportanti dalla formula  $\Delta f = 2^\mu * 15 \text{ kHz}$ . Di conseguenza, anche la durata del simbolo è connessa a  $\mu$ , in quanto inversamente proporzionale a  $\Delta f$ . Da notare che la trama del segnale 5G può essere anche frazionata in bandwidth parts che possono far riferimento a numerologie diverse (ad esempio, numerologie diverse per i canali di controllo e per i dati).
- **Duplexing FDD/TDD:** analogamente alla tecnologia LTE, anche il 5G prevede due possibili modalità di accesso alla risorsa radio: Frequency Division Duplex (FDD), dove le trasmissioni di downlink e uplink viaggiano su frequenze separate e Time Division Duplex (TDD), dove downlink e uplink condividono la medesima banda di frequenza, occupandola alternativamente in specifici slot temporali previsti dallo standard. La modalità FDD è quella scelta per la banda a 700MHz, mentre i segnali a 3.7GHz e a 26GHz sono di tipo TDD.
- **Canali di controllo:** la tecnologia 5G prevede un utilizzo più intelligente della risorsa radio, limitando l'emissione dei canali di segnalazione e controllo esclusivamente ad alcune finestre temporali. Tale caratteristica è profondamente differente rispetto a quanto avviene nel segnale LTE dove il Reference Signal è costantemente presente all'interno della trama. Il canali di segnalazione e controllo per il 5G sono del tutto analoghi a quelli del LTE – PSS, SSS, PBCH, PBCH\_DMRS - ma sono compresi in una struttura chiamata SS-Block che viene trasmessa solo in specifiche locazioni di trama previste dallo standard.
- **Uso di antenne attive (beamsweeping e beamforming):** la differenza

più marcata rispetto alla tecnologia 4G risiede nella dinamicità del diagramma di radiazione prodotto dalle antenne operanti in tecnologia 5G. A fronte di un corrispettivo diagramma LTE statico tempo-invariante, la nuova tecnologia prevede che i canali di controllo siano trasmessi su fasci che nel tempo scansionano porzioni di spazio differenti (beamsweeping). Una volta che la Stazione Radiobase ha stabilito una connessione con il terminale, essa è in grado di sintetizzare uno o più fasci opportunamente direzionati al fine di garantire il servizio richiesto dall'utente (beamforming). L'uso di antenne attive non è vincolante nei sistemi 5G, ma la scelta dipende dalle esigenze di copertura e di throughput dei dati: ad esempio, i sistemi 5G a 700MHz implementano antenne passive (del tutto analoghe alle antenne 4G), ed alcuni casi di antenne utilizzate in modo passivo si trovano anche nella banda 3.7GHz, per sistemi 5G di fornitura dati a terminali fissi.

Le caratteristiche sopra elencate hanno delle ricadute su strumenti e metodi di valutazione dell'esposizione e sull'intensità e durata dell'esposizione stessa. Di seguito un quadro sintetico di tali ricadute, a cui seguiranno dei paragrafi di maggiore approfondimento su alcuni temi di particolare attualità.

Dal punto di vista della misura dell'esposizione, ad esempio, l'ampliarsi degli intervalli di frequenza utilizzati dal sistema 5G comporta la necessità di un adeguamento della strumentazione, anche dal punto di vista dei requisiti sull'incertezza strumentale da applicarsi nel confronto con i limiti. Infatti, la piattezza nella risposta in frequenza o l'isotropia di una sonda su intervalli di frequenza molto ampi tendono ad essere meno ottimizzate rispetto a quelle di sonde che coprono bande più strette, aumentando così l'incertezza strumentale complessiva.

Anche la maggiore larghezza di banda dei segnali costituisce una nuova sfida rispetto alle capacità di risposta degli strumenti, e alla stima dell'incertezza associata alla misura (ad esempio, il fattore d'antenna di alcune tipologie di antenne può variare in modo significativo in un range di 400MHz, pari alla larghezza di banda di segnali 5G nelle onde millimetriche).

Per quanto riguarda la numerologia (diverse spaziature delle sottoportanti del segnale) e la gestione del duplexing, segue un paragrafo di approfondimento sull'impatto sulla risposta dei misuratori in banda larga a questo tipo di segnali.

La gestione dei canali di controllo ha invece una chiara ricaduta sui livelli di esposizione: quando non sono presenti terminali che generino traffico, l'esposizione è estremamente limitata, sia in intensità, sia come durata temporale. Questo aspetto è anche legato all'utilizzo del beamforming nelle

antenne attive: in assenza di utenti in una certa area, non vi è irradiazione verso quella zona, in quanto il segnale di traffico viene trasmesso con fasci molto direttivi soltanto verso le aree ristrette dove uno più terminali richiedono traffico dati.

## **LA NORMATIVA NAZIONALE ED INTERNAZIONALE PER LA TUTELA DALL'ESPOSIZIONE AL 5G**

Tra gli interrogativi posti dall'avvento della tecnologia 5G c'è anche quello dell'adeguatezza dei limiti fissati dalle normative nazionali o da standard tecnici internazionali nel proteggere da possibili effetti dovuti ai campi elettromagnetici emessi dai nuovi apparati.

In relazione alle problematiche poste dalla tecnologia 5G, la normativa italiana (L.36/2001 e DPCM 08/07/2003 e successivi aggiornamenti) si può considerare adeguata rispetto all'uso delle frequenze più elevate, nella banda 26,5-27,5 GHz, dove vale l'approccio cautelativo che porta a fissare un valore di attenzione in termini di campo elettrico pari a 6 V/m come per tutte le altre frequenze dell'intero intervallo 100 kHz – 300 GHz. Considerato che al crescere della frequenza aumentano i valori limite, per effetto della più ridotta capacità di penetrazione della radiazione nei tessuti e quindi di una sua minore efficacia sanitaria, il valore di attenzione di 6 V/m alle frequenze delle onde millimetriche esprime un livello di cautela molto maggiore rispetto alle frequenze più basse.

Va inoltre evidenziato che la normativa italiana sulla protezione della popolazione dalle esposizioni a radiofrequenze ha adottato per tutto l'intervallo delle radiofrequenze limiti molto più bassi rispetto a quelli consigliati dalle Linee Guida emanate da organizzazioni scientifiche internazionali di riferimento quali l'ICNIRP, l'ANSI (American National Standard Institute) e il NRPB (National Radiological Protection Board). In particolare, le Linee Guida ICNIRP hanno assunto un ruolo di riferimento internazionale tanto da essere fatte proprie nelle normative nazionali di diversi stati.

I limiti in vigore in Italia risultano, pertanto, molto più bassi di quelli vigenti in altri paesi come ad esempio Francia, Germania e Australia che hanno adottato i valori di riferimento raccomandati da ICNIRP nel 1998, prima dell'ultima revisione della Linea Guida pubblicata nel 2020 e discussa poco oltre.

Per le esposizioni prolungate si può quindi affermare che la normativa italiana esprime una tutela efficace anche alle frequenze più elevate grazie all'adozione dell'approccio cautelativo che ha portato all'introduzione dei valori di attenzione validi sull'intero intervallo di frequenze 100 kHz – 300

GHz.

Essa risulta invece carente nell'individuazione di parametri adeguati per limitare i livelli massimi raggiungibili nei picchi di esposizione al campo elettromagnetico che si possono verificare anche per esposizioni di durata molto breve, inferiore a 6 minuti. Tali esposizioni di breve durata sono peraltro della tipologia che ci si aspetta per le radiazioni da impianti 5G, proprio per le peculiarità descritte nel precedente paragrafo.

E' per questo motivo di particolare interesse l'analisi di quanto previsto dalle linee guida ICNIRP 2020.

In relazione alla caratteristica della tecnologia 5G di provocare esposizioni per periodi di tempo relativamente brevi, può risultare non adeguato un limite espresso come media su 6 minuti o, ancora peggio, su 30 minuti come previsto per le esposizioni a corpo intero nella Linea Guida ICNIRP 2020. Per garantire protezione da elevati valori di picco che si possono manifestare nel corso di brevi esposizioni, questa stessa Linea Guida ha introdotto dei valori limite per le restrizioni di base ed i livelli di riferimento in termini, rispettivamente, di densità di energia assorbita ( $U_{AB}$ ) e densità di energia incidente ( $U_{inc}$ ). Tali valori limite (espressi in  $\text{kJ/m}^2$ ) sono funzione del tempo di esposizione e della frequenza.

Un esempio dei possibili tempi di esposizione alle radiazioni emesse da impianti 5G viene dalla registrazione dei dati di potenza emessa da un impianto a 3.7GHz durante un test di forzatura del traffico con l'uso di 4 terminali in download di video ad alta definizione.

In questo caso, la condizione più sfavorevole per valutare i limiti per esposizioni di breve durata è rappresentata da un picco nella potenza di durata 8 secondi. Ipotizzando una condizione limite, anche se poco realistica, in cui la stazione radio base eroghi la massima potenza possibile, pari a circa 39,8 W, il valore limite ICNIRP per esposizioni di durata pari a 8 secondi verrebbe superato a distanze inferiori a circa 2 metri dalla SRB.

In questo esempio, il limite ICNIRP risulta pertanto rispettato in prossimità del sistema radiante a distanze superiori a circa 2 metri. Se si estende il calcolo per maggiori durate di esposizione, mantenendo gli stessi parametri dell'antenna, la distanza al di sotto della quale si verifica il superamento del limite aumenta fino a raggiungere il valore di circa 5 m per la durata di 6 minuti, che rappresenta il tempo massimo per l'applicazione del limite e, quindi, la condizione peggiore.

## **COME I SEGNALI 5G INFLUISCONO SULLA RISPOSTA DEI SENSORI A BANDA LARGA DI CAMPO ELETTRICO**

Gli aspetti specifici dei segnali 5G indicati nel primo paragrafo vanno a

sollecitare diverse delle caratteristiche intrinseche degli strumenti in banda larga, come la risposta in ampiezza e frequenza, la risposta temporale del circuito, la risposta del diodo rivelatore.

I misuratori in banda larga sono poi normalmente tarati esponendoli a segnali sinusoidali, e pertanto la caratterizzazione della loro risposta in ampiezza e frequenza non tiene conto delle possibili sollecitazioni sopra elencate.

È allora di particolare interesse comprendere con quali meccanismi possano avvenire le interazioni tra i segnali 5G e il sistema di misura, e verificare la risposta dello stesso a questi segnali complessi, con ampie dinamiche e forti variabilità temporali.

In ambito CEI (nel CT106) è stata a questo scopo portata avanti un'attività di test su 13 sonde, esponendole all'interno di una cella GTEM a segnali 5G in due bande di frequenza (700 MHz per tutte le sonde, 3,7 GHz per 10 sonde), variando i seguenti parametri: riempimento della trama, tipo di modulazione numerica, spaziatura delle sottoportanti, duplexing (FDD e TDD), ampiezza di campo elettrico. Oltre ai segnali di test da standard 3GPP, è stato anche utilizzato un segnale reale registrato in campo.

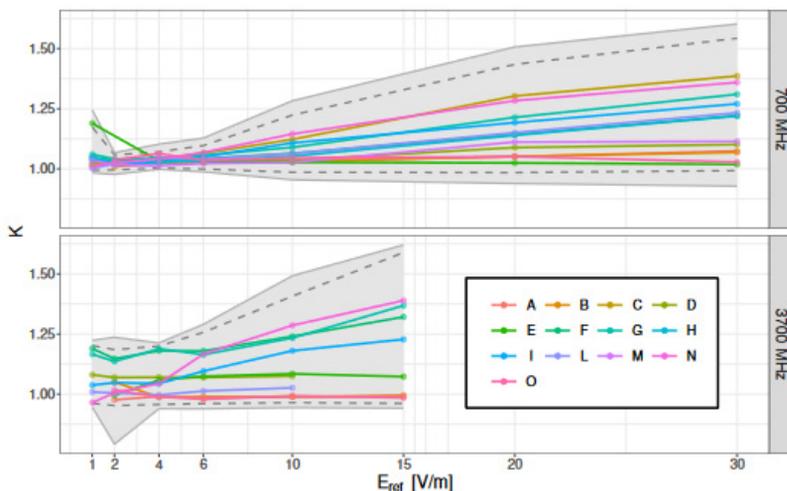
La sintesi di quanto accade per tutte le sonde e tutti i segnali è riportata nel grafico seguente, dove viene visualizzato il parametro K, che rappresenta il rapporto tra la risposta a segnale modulato e la risposta a segnale in onda continua, in funzione dell'intensità di campo elettrico.

Dai test effettuati risulta quindi che i misuratori tendono a rilevare, in presenza di segnale modulato 5G, un livello di campo elettrico superiore a quello rilevato in presenza di un segnale in onda continua di pari intensità. Tale sovrastima tende inoltre ad aumentare proprio con l'intensità di campo elettrico.

Essendo i test stati effettuati su un numero significativo di sonde di diversi produttori, testate in un'ampia gamma di valori delle caratteristiche del segnale 5G NR più rilevanti, le linee tratteggiate nel grafico possono essere considerate come indicative del massimo errore di sotto-stima (linea in basso) o di sovrastima (linea in alto) di cui è affetta una sonda generica quando utilizzata per misurare un segnale 5G generico.

Dato che  $K = 1$  significa che la sonda non mostra errori di misura, mentre l'errore di sottostima è inferiore al 4,3% in tutti gli intervalli e quindi trascurabile dato che è ben al di sotto dell'incertezza di misura, possiamo vedere che l'errore di sovrastima massimo può raggiungere circa il 23,3% nell'intervallo da 1 a 6 V/m, il 58,9% tra 6 e 20 V/m e il 54,3% nell'intervallo da 20 a 30 V/m. L'errore di sovrastima per intensità fino a 6 V/m è dello stesso ordine di grandezza dell'incertezza strumentale di questa tipologia di sonde, mentre sopra i 6 V/m la sovrastima è tale che la sonda può restituire valori misurati molto superiori a quelli effettivi.

I risultati sperimentali dimostrano quindi che le sonde a diodo devono essere utilizzate con cautela quando si rilevano campi elettromagnetici di intensità prevista maggiore di 6 V/m.



## IMPATTO DELL'UTILIZZO DEL DYNAMIC SPECTRUM SHARING TRA 4G E 5G SULL'ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE

Il sistema Dynamic Spectrum Sharing (DSS) garantisce l'esercizio contemporaneo della rete LTE e di quella 5G NR attraverso la condivisione dinamica della medesima banda di frequenza e con l'utilizzo della stessa infrastruttura di rete.

Di fatto, si tratta di un'implementazione software che permette di allocare dei canali codificati secondo lo standard 5G all'interno del segnale 4G esistente, senza dover cambiare l'antenna o la frequenza di esercizio.

A differenza del segnale 5G sulla banda 3,7 GHz, il segnale DSS sfrutta le antenne esistenti per il 4G e il suo standard di trasmissione e quindi:

- La frequenza di trasmissione è quella del segnale 4G "ospitante";
- Il duplexing è lo stesso del segnale 4G in queste bande (Frequency Division Duplexing, FDD);
- I canali di controllo e di traffico del 5G sono trasmessi sullo stesso fascio di radiazione, che è il medesimo del 4G ed è fisso nel tempo;
- Le sottoportanti del segnale OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) sono spaziate tra loro di 15 kHz.

Il Sistema delle Agenzie per l'ambiente ha lavorato (tra il 2020 e il 2021),

in collaborazione con gli operatori di telefonia, con la finalità di valutare l’impatto di questo sistema in termini di esposizione della popolazione e a mettere a confronto vari possibili metodi di misura dei livelli di campo elettromagnetico.

Se infatti, per quanto riguarda i segnali 4G, i metodi per la valutazione dei livelli di esposizione sono definiti nell’appendice E alla norma CEI 211/7, per il segnale DSS non esistono indicazioni specifiche da standard nazionali o internazionali, ed è quindi stato necessario definire accuratamente quali metodi utilizzare ed in quali condizioni di misura.

Di seguito si riporta una sintesi dei principali risultati ottenuti in questo lavoro, nell’ottica operativa del controllo dell’esposizione della popolazione:

- È possibile verificare in campo se su un dato impianto è stato attivato il sistema DSS rilevando la larghezza della banda effettivamente occupata, che, in caso di implementazione del DSS, è maggiorata rispetto alla banda del segnale LTE legacy di circa il 6%;

- In condizioni di totale riempimento della trama, la potenza irradiata corrisponde al massimo livello di esposizione possibile, e non si modifica al variare del tipo di traffico (4G o 5G) trasmesso;

- Per effettuare una misura del segnale DSS finalizzata alla valutazione dell’esposizione umana sono utilizzabili i metodi indicati per la misura del 4G nella norma CEI 211/7E, sia per quanto riguarda la misura in channel power, sia per quanto riguarda l’extrapolazione alla massima potenza. Per quest’ultima metodologia, rispetto alle indicazioni della norma, nella formula di extrapolazione va modificato il numero di sottoportanti a 948 per segnali da 15 MHz e 1272 per segnali da 20 MHz;

- La potenza dedicata ai canali di controllo del 4G (somma sui diversi rami MIMO) e del 5G è la stessa (salvo applicazione di specifici Boosting Factors), per cui l’extrapolazione alla massima potenza è possibile anche a partire da una misura dei canali di controllo del 5G. La metodologia di extrapolazione non è in questo caso fissata dalle norme tecniche attualmente disponibili, ma l’applicazione di formule reperibili in letteratura conduce a risultati assolutamente confrontabili con quelli ottenuti con la formula per il 4G della norma CEI 211/7E.

In sintesi, i test eseguiti hanno permesso di verificare che la misura e la stima dei livelli massimi di esposizione sono possibili utilizzando strumenti e metodi già messi a punto per i segnali LTE, e che l’implementazione del DSS, a parità di parametri dell’impianto, non modifica i livelli di esposizione (né gli stessi cambiano in base alla presenza di traffico 4G oppure 5G).

## **MISURE SELETTIVE ED ESTRAPOLAZIONI ALLA MASSIMA POTENZA PER I SEGNALI 5G: STATO DELL'ARTE E NOVITA' NEGLI STANDARD TECNICI**

La normativa tecnica sulle misure di campo elettromagnetico per valutare l'esposizione umana ha introdotto le possibili soluzioni alle problematiche sollevate dall'innalzamento del periodo di media da 6 minuti a 24 ore ai fini del confronto con i limiti. Nello specifico, l'Appendice E della Norma Tecnica CEI 211-7 fornisce tutte le indicazioni operative per effettuare misurazioni su segnali di telefonia mobile che siano direttamente confrontabili con i limiti imposti dalla normativa. In particolare, a riguardo delle misure mediate su 24 ore, la norma fornisce due soluzioni alternative:

- Nel caso in cui l'operatore sia fornito di strumentazione che consente di mediare il campo prodotto da ciascuna sorgente per almeno 24 ore e che la misurazione sia logisticamente effettuabile, si può procedere alla misura diretta dei contributi in modo da ottenere il campo elettrico totale mediato sulle 24 ore di interesse. Il valore così ottenuto sarà poi direttamente confrontabile con il valore di attenzione di 6 V/m;

- In alternativa è possibile effettuare delle misure di breve durata in cui viene quantificato il valore di campo elettrico relativo ad uno specifico canale di ciascun segnale preso in considerazione e, successivamente, applicare delle formule di estrapolazione (specifiche per ciascuna tecnologia) che consentono di ottenere una stima affidabile del campo elettrico medio estrapolato sulla giornata di riferimento.

Per questo secondo approccio, la norma non contiene ancora le indicazioni di applicazione ai segnali 5G, in quanto alla data di aggiornamento dell'appendice E non erano reperibili in letteratura sufficienti informazioni per definire un metodo, né erano ancora presenti in aria segnali per poter effettuare test e validazioni del metodo.

Ad oggi, sono stati portati a termine diversi lavori di ricerca su questo tema, in parte confluiti nella bozza finale di standard IEC62232, di prossima pubblicazione.

Un primo filone di lavori relativo ai metodi di estrapolazione per il 5G ha identificato come canale di riferimento l'SSB che, in qualità di canale di segnalazione, è l'unico segnale always-on della tecnologia 5G che viene trasmesso indipendentemente dalla presenza di utenti attivi connessi alla SRB. Il SSB ha inoltre l'ottima caratteristica di essere trasmesso sempre a potenza costante rendendo quindi la misura del campo elettrico associato indipendente dal momento della giornata in cui viene effettuata. Tuttavia il meccanismo di beamforming, implementato dalle antenne di nuova generazione utilizzate per irradiare il segnale 5G ha come conseguenza indesiderata il fatto che il SSB non sia di solito il canale trasmesso alla

massima potenza.

Quest'ultimo aspetto rende più complessa la procedura di estrapolazione a partire dalla misura di ampiezza dell'SSB, in quanto tale ampiezza deve essere corretta di un fattore che tenga conto della differenza di livello tra il canale di controllo (trasmesso su un fascio tipicamente a guadagno più basso) e quello di traffico (trasmesso su un fascio più direttivo, a maggior guadagno). I lavori effettuati hanno comunque permesso di validare questa procedura, seppure in condizioni non del tutto generali, in quanto la determinazione della differenza tra i livelli di potenza ricevuta nel fascio di controllo e in quello di traffico è stata effettuata nelle condizioni della rete attuali (poco traffico, pochi utenti), mentre mancano test relativi ad una rete matura (per la quale ad esempio potrebbe modificarsi la distribuzione della potenza tra i diversi fasci dedicati ai vari utenti o a diverse aree di copertura).

Questa comunque è la proposta inserita nella bozza definitiva di standard IEC62232, che, alla pubblicazione, verrà recepita anche in Italia dal CEI.

A livello italiano, il metodo messo a punto per l'effettuazione di misure ed estrapolazioni da un gruppo di ricerca che riunisce alcune Agenzie per l'ambiente ed alcune Università, prevede che venga effettuata la forzatura di un fascio di traffico alla massima potenza verso il punto di rilevazione. Tale forzatura viene realizzata tramite l'uso di un terminale, dal quale viene determinato uno scarico UDP (massivo) di dati da un apposito server.

Questo approccio permette sia di applicare il metodo di estrapolazione indicato dalla norma IEC62232, misurando direttamente la differenza di livello tra il canale di controllo e quello di traffico, sia di applicare un metodo basato sulla rilevazione diretta del canale di traffico (con una modifica di paradigma rispetto ai metodi di estrapolazione per gli altri sistemi).

Tale rilevazione può avvenire sia utilizzando un analizzatore vettoriale che permetta la decodifica del segnale 5G, sia un analizzatore di spettro classico in modalità zero span (nel dominio del tempo). Il metodo di estrapolazione così messo a punto è stato validato tramite prove in campo.

## **CONCLUSIONI**

Lo sviluppo dei sistemi 5G ha costituito una sfida per il controllo dell'esposizione ai campi elettromagnetici, soprattutto per le grandi novità tecnologiche e la ricaduta di tali novità sui livelli e sui tempi di esposizione, nonché sugli strumenti e metodi di misura.

Questa sfida ha portato a diversi lavori di approfondimento e ricerca a livello nazionale ed internazionale, che stanno a loro volta conducendo ad

un aggiornamento degli standard tecnici per la misura e la valutazione dei campi elettromagnetici generati da apparati 5G.

Ad oggi lo sviluppo della rete 5G in Italia è in stadio abbastanza avanzato per quanto riguarda la banda a 3.7GHz, più iniziale per le bande a 700MHz (recentemente liberate dai segnali televisivi) e per la banda a 26GHz (utilizzata prevalentemente per servizi dati di tipo Fixed Wireless Access). Con queste condizioni, una prima analisi dell'esposizione della popolazione a queste sorgenti evidenzia che non emergono criticità per i livelli di campo elettromagnetico, e che gli impianti installati irradiano in genere potenze molto limitate rispetto a quelle preventivate in fase autorizzativa: tale aspetto è legato in parte alla relativa lentezza con cui si stanno diffondendo i terminali ed i servizi 5G, ma soprattutto alla grande ottimizzazione del trasferimento di informazioni che i sistemi 5G sono in grado di realizzare, per cui è sufficiente l'irraggiamento di una potenza limitata per limitati intervalli di tempo per garantire i servizi.

## BIBLIOGRAFIA

1. BOLLETTINO Airp, Vol. 180 (n.1-2), aprile 2022
2. S. Adda, T. Aureli, S. D'Elia, D. Franci, E. Grillo, M. D. Migliore, S. Pavoncello, F. Schettino and R. Suman, "A Theoretical and Experimental Investigation on the Measurement of the Electromagnetic Field Level Radiated by 5G Base Stations", IEEE Access, vol.8 2020, pp. 101448-101462
3. S. Adda, T. Aureli, T. Cassano, D. Franci, M.D. Migliore, N. Pasquino, S. Pavoncello, F. Schettino, M. Schirone, "Experimental investigation in controlled conditions of the impact of dynamic spectrum sharing on maximum-power extrapolation techniques for the assessment of human exposure to electromagnetic fields generated by 5G gNodeB", ACTA IMEKO ISSN: 2221-870X, September 2022, Volume 11, Number 3, 1 - 7
4. S. Adda, T. Aureli, T. Cassano, D. Franci, M.D. Migliore, N. Pasquino, S. Pavoncello, F. Schettino, M. Schirone, "Assessment of Population Exposure to Electromagnetic Fields Due to Systems That Implement Dynamic Spectrum Sharing Between 4G and 5G: Definition of Methods and On-Site Measurements", IEEE International Symposium on Measurements and Networking 2022
5. S. Adda, T. Aureli, S. Bastonero, S.D'Elia, D. Franci, E.Grillo, M.D. Migliore, N. Pasquino, S. Pavoncello, F. Schettino, A. Schiavoni , R. Scotti, R. Suman, M. Vaccarono, "Methodology Based on Vector and Scalar Measurement of Traffic Channel Power Levels to Assess Maximum Exposure to Electromagnetic Radiation Generated by 5G NR Systems", IEEE Access, vol.10 2022
6. M.D. Migliore, D. Franci, S. Pavoncello, E. Grillo, T. Aureli, S. Adda, R. Suman, S. D'Elia, F. Schettino, "A New Paradigm in 5G Maximum Power Extrapolation for Human Exposure Assessment: Forcing gNB Traffic Toward the Measurement Equipment", IEEE Access, vol.9 2021
7. M. Vaccarono, "A Methodology to assess the EMF exposure of 5G signals", 6th European Congress on Radiation Protection, Budapest 2022.
8. S. Adda, L. Anglesio, F. Bogo, N. Pasquino, "How 5G NR Signals Impact on the Response of Broadband Electric Field Probes", in fase di revisione per IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement

## **FAQ, BANCHE DATI ED ALTRI STRUMENTI A SUPPORTO DEI DATORI DI LAVORO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA RADIAZIONI OTTICHE**

**Andrea Bogi (1), Nicola Stacchini (1), Francesco Picciolo (2), Sara Adda (3), Iole Pinto (4)**

Laboratorio di Sanità Pubblica, Azienda USL Sud Est, Siena (1)

Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Siena (2)

ARPA Piemonte, via Jervis 30 – Ivrea (3)

Responsabile Portale Agenti Fisici 2008-2021 (4)

### **INTRODUZIONE**

Il capo V del Titolo VIII del D. lgs 81/08 contiene la metodica di valutazione delle radiazioni ottiche artificiali, mentre i limiti sono descritti all'allegato XXXVII. A quasi 15 anni dalla pubblicazione del suddetto decreto, si trovano ancora molte realtà lavorative dove si utilizzano sorgenti di radiazioni ottiche rilevanti, nelle quali la valutazione di questo rischio è totalmente assente o comunque molto carente. Una delle ragioni alla base della suddetta situazione risiede nell'estrema complessità del quadro dei limiti, dei parametri di interesse e della grande varietà di sorgenti, che possono causare esposizione in molte tipologie di lavoratori.

Le numerose domande di chiarimento poste dai differenti soggetti impegnati a vario titolo nel processo di valutazione e gestione del rischio, insieme alle corrispondenti risposte sono state pubblicate sul Portale Agenti Fisici (PAF) nelle sottosezioni delle FAQ. Il PAF è un portale realizzato al fine di mettere a disposizione uno strumento informativo che orienti gli attori aziendali della sicurezza e gli operatori della prevenzione ad una risposta corretta ai fini della prevenzione e protezione da agenti fisici in tutti i comparti lavorativi. Contiene banche dati, documentazione e strumenti online che possono essere impiegati nella valutazione dei rischi fisici, in particolare delle ROA.

Nel 2019 è stato dato mandato al Gruppo Interregionale Agenti Fisici di aggiornare la prima edizione delle Indicazioni Operative per l'applicazione del D. lgs 81/08 redatte dal Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome (FAQ) con i nuovi quesiti, integrandoli con lo stato delle conoscenze attuali.

Al fine di aumentarne la chiarezza, il documento è stato strutturato nelle seguenti sezioni:

- effetti sulla salute e sorveglianza sanitaria

- metodiche e strumentazione per la misura delle Radiazioni Ottiche Artificiali (ROA)
- valutazione del rischio
- gestione del rischio
- adempimenti normativi, vigilanza e aspetti medico-legali

Il documento tratta sia le radiazioni ottiche coerenti (laser) che non coerenti. Si ricorda che le radiazioni ottiche naturali sono state oggetto di un apposito aggiornamento delle Indicazioni Operative, pubblicate sul PAF nella sezione Radiazioni Ottiche Naturali sia nella sottosezione FAQ che nella documentazione in formato pdf.

Si riportano nel seguito i criteri principali da applicare per la valutazione del rischio ROA contenuti nelle FAQ ROA, nel PAF ed in altri strumenti a disposizione dei valutatori del rischio, rimandando a tali fonti di informazione per una trattazione più esaustiva.

## **GLI EFFETTI SULLA SALUTE DELLE RADIAZIONI OTTICHE**

Da un punto di vista fisico le radiazioni ottiche sono radiazioni elettromagnetiche le cui proprietà sono riconducibili a quelle della luce visibile e convenzionalmente hanno lunghezze d'onda da 100nm a 1mm. La radiazione UV confina con le radiazioni ionizzanti e comprende onde di lunghezza inferiore a 400nm; viene assorbita principalmente dai tessuti della camera anteriore dell'occhio, mentre gli UVC che si fermano alla cornea [1]. La radiazione visibile è quella con lunghezza d'onda compresa fra 400nm e 780nm ed ha come organo bersaglio principale la retina [2]. La radiazione infrarossa, caratterizzata da una lunghezza d'onda maggiore di 780nm, ha come organo bersaglio principale ancora la retina fino a lunghezze d'onda inferiori a 1200nm e la camera anteriore dell'occhio per lunghezze d'onda maggiori [3].

Ai sensi dell'art. 28 del D.lgs 81/08 devono essere valutati tutti i rischi conosciuti, si noti tuttavia che la metodica presente nel capo V del titolo VIII ed i corrispondenti limiti dell'allegato XXXVII sono utili al fine di prevenire gli effetti diretti dell'esposizione su occhi e cute. Effetti indiretti quali il rischio incendio, l'abbagliamento, il discomfort visivo o quello termico del corpo, seppur dovuti ad una esposizione eccessiva alle radiazioni ottiche, vanno prevenuti con altre metodiche, applicando, dove disponibili, norme specifiche e buone prassi (vedi ad esempio FAQ sul microclima presenti sul PAF).

Gli effetti nocivi a carico di occhi e cute che si vogliono prevenire applicando la metodica presente nel D. lgs 81/08 sono sia a breve termine

(ustioni, eritema) che a lungo termine (cataratta, neoplasie). L'interazione con l'occhio e la cute è prevalentemente di tipo fotochimico nell'UV e termico nell'IR.

Per quanto riguarda gli effetti a lungo termine dell'esposizione si deve ricordare che tutta la radiazione UV è un cancerogeno certo per l'uomo (gruppo 1 IARC) [4]; inoltre l'esposizione cumulativa a questa radiazione causa il fotoinvecchiamento della cute.

Gli effetti cancerogeni della radiazione UV sono stocastici, ciò significa che rispettare i limiti non garantisce dalla loro insorgenza, ma mantiene la loro probabilità di insorgenza ad un livello considerato accettabile. Per tale motivo l'esposizione agli UV dovrebbe essere evitata completamente, quando ciò sia realisticamente possibile; ad esempio l'esposizione alla radiazione UV emessa nelle cappe germicida, non essendo inevitabile deve essere eliminata adottando procedure corrette che prevedano di interrompere sempre l'emissione prima di aprire la cappa.

Nei casi di soggetti "particolarmente sensibili" alla radiazione ottica, il rispetto dei limiti di esposizione può non essere sufficiente a garantire la prevenzione di effetti avversi indesiderati e si rende perciò necessario, in fase di scelta delle appropriate misure di tutela, approfondire le valutazioni insieme al medico competente e, nel dubbio, adottare, anche in via cautelativa, ulteriori precauzioni e misure di protezione. Sono da considerarsi particolarmente sensibili ad esempio le donne in gravidanza, i minori di anni 18, albi e fototipi chiari, individui con pregresso tumore della cute o con lesioni pre-maligne della cute, ecc. Si fa inoltre presente che un lavoratore può entrare in uno stato di ipersensibilità a particolari radiazioni ottiche in seguito ad un in trattamento cronico o ciclico con farmaci fotosensibilizzanti, inoltre si può avere una reazione di fotosensibilizzazione in presenza di una sostanza che viene foto-attivata.

Approfondimenti su soggetti sensibili e sostanze fotosensibilizzanti si possono trovare sia sulle FAQ relative alla radiazione solare, che sul PAF.

## **LE FONTI DI INFORMAZIONE E LE SORGENTI GIUSTIFICABILI**

La prima fase della valutazione, valida in realtà per ogni agente fisico, consiste in un censimento delle sorgenti di emissione presenti nell'ambiente di lavoro, insieme alle informazioni fornite dal costruttore nei manuali di istruzioni ed uso.

Infatti il manuale d'uso e manutenzione deve contenere sufficienti informazioni per permettere all'utilizzatore di conoscere i rischi associati al corretto utilizzo del macchinario e le procedure da mettere in atto per il loro

controllo.

Le attrezzature che emettono radiazioni ottiche artificiali devono essere corredate dalle informazioni sulle emissioni, in conformità a specifiche norme tecniche che fanno riferimento ai seguenti filoni principali:

- D.Lgs. 17/2010, Direttiva Macchine;
- D.Lgs. 46/97 e D.lgs. 37/2010 attuazione Direttive dispositivi medici;
- DLgs.332/00 - dispositivi medici diagnostici *in vitro*
- Regolamento 2017/745 sui dispositivi medici

Per gli altri apparati sorgenti ROA 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.

In molte situazioni la valutazione preliminare si conclude semplicemente riconducendo il parco macchine analizzato a tipologie che possono essere considerate non rilevanti da un punto di vista protezionistico.

Si ricorda che definiamo situazione “giustificabile” (art.181 c.3 D.lgs.81/08) la condizione prevista dalla normativa generale sugli agenti fisici secondo cui il datore di lavoro può eseguire una valutazione del rischio semplificata quando ritiene che la natura e l’entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata. Per poter definire una esposizione lavorativa “giustificabile” occorre che non vi siano rischi sia per gli effetti diretti che per gli effetti indiretti, e che il permanere dell'assenza del rischio non richieda l'istituzione e l'applicazione di specifiche procedure di controllo del rischio. Talune sorgenti di radiazioni ottiche, nelle corrette condizioni d’impiego, non hanno una emissione pericolosa di radiazione ottica o non si verificano situazioni espositive tali da presentare rischi per la salute e la sicurezza, anche in caso di malfunzionamento, riparazioni, sostituzioni di componenti (art. 181, c.3). In tutti i casi in cui la sorgente/apparato non espone a rischi derivanti da ROA nelle normali condizioni di impiego e non necessita di particolari procedure di controllo che ne garantiscano il permanere dell'assenza di rischio anche in caso di sostituzione, manutenzione o malfunzionamento, non è necessario procedere ad una valutazione del rischio approfondita.

In linea di principio sono giustificabili tutte le apparecchiature che emettono radiazione ottica non coerente classificate nella categoria 0 secondo lo standard UNI EN 12198 [5], così come le lampade e i sistemi di lampade anche a LED, classificate nel gruppo “Esente” dalla norma CEI EN 62471 [6] se utilizzate conformemente alle norme di prodotto. È da considerarsi al riguardo che tale classificazione fa riferimento al “normale” utilizzo del prodotto come sistema di illuminazione o in un bene di consumo, e si suppone che lo stesso non venga intenzionalmente fissato

dall'utilizzatore, come tipicamente avviene da parte del pubblico.

Tipicamente si può procedere con la giustificazione in tutti i luoghi di lavoro in cui sono presenti solo macchinari di uso comune, conformi a direttive di prodotto che garantiscono la sicurezza dei beni di consumo (es. telefoni cellulari, elettrodomestici, computer, macchine da ufficio etc.): tali apparati sono da considerarsi intrinsecamente sicuri in relazione alle radiazioni emesse nelle normali condizioni di utilizzo, e non presentano – salvo casi di utilizzo particolare - la necessità di ulteriori approfondimenti.

In ogni caso è compito e cura del valutatore, anche in presenza di sorgenti considerate tali da dare luogo ad emissioni irrilevanti nelle normali condizioni di impiego, valutare se e in che misura sia necessario istituire procedure ad hoc atte a garantire che nel tempo siano mantenuti i requisiti di sicurezza appurati all'atto della valutazione del rischio. In tal caso la sorgente - anche se dà luogo ad emissioni irrilevanti - non sarà più da considerarsi "giustificabile".

Nel caso di sorgenti con emissioni non trascurabili, il rischio va valutato e vanno attuate specifiche misure di tutela per tutte le categorie di soggetti potenzialmente esposti, e per i soggetti con controindicazioni specifiche all'esposizione.

Si ricorda che a livello europeo un autorevole riferimento da utilizzare per la valutazione del rischio è la Guida non vincolante alla buona prassi nell'attuazione della direttiva 2006/25/CE «Radiazioni ottiche artificiali» in cui sono esplicitate e commentate in modo articolato le disposizioni della Direttiva 2006/25/CE oltre alla discussione di specifiche condizioni espositive.

Infine la valutazione del rischio può essere effettuata facendo riferimento alla sezione ROA del Portale Agenti Fisici, che è oggetto di continuo aggiornamento.

## **LA VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE**

Una volta effettuato il censimento delle sorgenti, per quelle rilevanti si deve valutare il livello di esposizione dei lavoratori alle diverse radiazioni ottiche. Ciò può essere effettuato utilizzando diversi metodi.

La misurazione delle radiazioni ottiche è molto spesso complicata. Ciò è dovuto da una parte all'articolazione dei limiti e delle ponderazioni da applicare per ottenere la radiazione efficace per le differenti patologie da prevenire e dall'altra dalla scarsità di strumentazione progettata per effettuare misure ai fini della valutazione del rischio ROA.

Per tale motivo è sempre bene ribadire che l'Art. 216 del D.lgs. 81/08 "Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi" prescrive che

nell'ambito della valutazione dei rischi, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura e/o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori. Infatti la finalità principale della valutazione del rischio da esposizione a radiazioni ottiche è l'individuazione delle appropriate misure di tutela da mettere in atto per prevenire l'insorgenza dei danni diretti ed indiretti che la radiazione ottica può provocare nell'ambiente di lavoro. Se tali informazioni sono disponibili l'effettuazione delle misure non è più necessaria.

Si segnala a tal proposito il materiale messo a disposizione sul Portale Agenti Fisici. Questo comprende i report presenti nella sottosezione documentazione relativi alla gestione di sorgenti specifiche, come ad esempio l'uso di cappe germicida o di riscaldatori ad infrarossi.

Uno esempio di strumento per la valutazione del livello di esposizione è quello relativo al rischio connesso all'utilizzo delle saldatrici ad arco. Com'è noto si tratta di sorgenti rilevanti di radiazioni sia UV che visibili. L'addetto alla saldatura deve proteggersi gli occhi selezionando il grado di protezione dei DPI in base alle indicazioni della norma UNI EN 169; l'eventuale aiutante che debba fornire supporto all'addetto durante le operazioni di saldatura, dovrà proteggersi in modo differente, infatti in generale dovrà muoversi in sicurezza all'interno della postazione di lavoro; d'altra parte il suo compito visivo è in generale completamente differente da quello dell'addetto, in quanto non dovrà fissare in modo continuativo l'arco di saldatura. Questo fa sì che, utilizzando il calcolatore presente sul PAF, si possa trovare un livello di protezione tale il livello di esposizione sia inferiore ai limiti ma la visibilità sia sufficiente a permettere al lavoratore di svolgere il suo compito in sicurezza. Uno dei calcolatori disponibili effettua il calcolo del livello di esposizione a partire dai parametri di saldatura impostati dall'addetto, di conseguenza è possibile individuare la protezione ottimale dell'aiutante senza ricorrere a misurazioni.

Se si ha la necessità di effettuare ulteriori calcoli, nella banca dati delle sorgenti sono presenti alcune saldatrici ad arco. A questo proposito si noti che, a differenza di quanto avviene nel caso ad esempio delle vibrazioni, dove marche e modelli differenti possono comportare grandi variazioni nel livello di esposizione a vibrazioni, nel caso delle radiazioni ottiche tale livello è determinato dalla tecnologia utilizzata e dai parametri impostati. Ciò significa che due saldatrici ad arco di marca e modello differente ma della stessa tipologia, utilizzate con gli stessi parametri, avranno un livello di emissioni molto simile.

Dalla banca dati si nota che le distanze dalle saldatrici ad arco alle quali il livello di esposizione risulta inferiore ai limiti di legge, sono dell'ordine delle decine o centinaia di metri. Ciò significa che per proteggere tutti

coloro che sono esterni alla postazione di saldatura non occorre effettuare misurazioni, infatti alle distanze tipiche presenti nei luoghi di lavoro i limiti sono sicuramente superati. La protezione dei non addetti alla saldatura deve quindi essere effettuata compartimentando la postazione con pannelli opachi.

Nel caso si debba procedere alla valutazione con misurazioni, si possono utilizzare i documenti che riguardano le ottiche non coerenti, come ad esempio: UNI EN 14255-1:2005 per gli UV, UNI EN 14255-2:2006 per VIS-IR, UNI EN 14255-4:2007 terminologia.

Si ricordano inoltre le norme sulla classificazione delle sorgenti non coerenti: CEI EN 62471:2009 “Sicurezza fotobiologica delle lampade e sistemi di lampade” e UNI EN 16237:2013 “Classificazione delle sorgenti non elettriche di radiazioni ottiche non coerenti”.

In particolare la CE EN 62471 [6] può essere utilizzata per valutare il rischio fotobiologico anche di sorgenti di illuminazione. Si ricorda a tal proposito i LED e degli alogenuri metallici, possono rappresentare in condizioni di geometrie e potenze particolari, sorgenti rilevanti di luce blu che può causare un danno fotochimico della retina e nel caso degli alogenuri metallici anche di UV. In ogni caso, quando tali sorgenti sono utilizzate per illuminare la postazione o il luogo di lavoro, esiste sempre una soluzione tecnica che permette di eliminare il rischio fotobiologico. Un strumento che può essere di aiuto in questo senso è il calcolatore per LED ed alogenuri metallici presente nella sezione ROA del PAF.

Per la radiazione laser la norma di riferimento è la CEI EN 60825-1:2017 “Sicurezza dei prodotti laser Parte 1: Classificazione degli apparecchi e requisiti”, insieme alle altre norme della serie EN 60825.

La misura dei livelli di esposizione dei lavoratori alle radiazioni ottiche non coerenti ai fini del confronto con i VLE, richiede in primo luogo che venga individuata la regione spettrale in cui emette la sorgente per definire quali indicatori di rischio devono essere valutati. A tal fine è indispensabile la consultazione del manuale di istruzioni ed uso ed eventualmente documentazione tecnica integrativa ove siano riportati i dati di emissione spettrale della sorgente. Una volta individuata tale regione, il dato più utile da misurare è l'irradianza spettrale. A seconda dell'indicatore di rischio da valutare, tale grandezza viene poi ponderata con le pertinenti curve di efficacia biologica e/o utilizzata per calcolare la radianza. Le modalità di misura dell'irradianza dipendono dalla regione spettrale di interesse. Nel documento delle FAQ vengono introdotte le metodiche di misura per la valutazione delle diverse grandezze con cui sono espressi i limiti dell'allegato XXXVII.

Un altro strumento per la valutazione del livello di esposizione è rappresentato dal software Catrayon, realizzato dall'istituto nazionale

francese per la sicurezza sul lavoro INRS (<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil03>). Tale software permette di schematizzare geometrie espositive semplici e contiene una banca dati di sorgenti con valori di irradianza spettrale misurati. Inoltre nel caso di esposizione a radiazione infrarossa emessa da corpi incandescenti o molto caldi, essa può essere in prima approssimazione modellizzata con una funzione che dipende solo dalla superficie del corpo e dalla sua temperatura (emissione di corpo nero), prevista nel software.

Per quanto riguarda i laser si fa notare che le misure dell'esposizione ai fini della classificazione e della determinazione della DNRO e dei parametri essenziali necessari ai fini della valutazione del rischio è di stretta competenza del costruttore, secondo quanto richiesto dalle pertinenti direttive comunitarie.

## **LA RELAZIONE TECNICA**

Nella relazione tecnica di supporto al documento di valutazione del rischio ROA, si dovranno trovare i seguenti contenuti minimi:

- 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 ROA e delle posizioni di lavoro (layout, tipo di sorgente, fabbricante della macchina/dispositivo, etc.).
- definizione delle principali caratteristiche delle sorgenti di radiazione ottica e in particolare di quelle radiometriche, dimensioni della superficie radiante, temperature operative (nel caso di forni di fusione metalli e vetro), spettro di emissione, classificazione della sorgente riportata nel manuale di istruzioni ed uso (obbligatoria nel caso dei Laser); 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 esposizione a radiazioni ottiche;

- 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;
- indicazioni inerenti le misure di tutela da mettere in atto tratte ad esempio dal Portale Agenti Fisici o dal manuale di uso e manutenzione

Nel caso di effettuazione di misure si devono fornire tutte le indicazioni necessarie alla caratterizzazione della sorgente, comprese le modalità di utilizzo, dell'ambiente mediante planimetria, della strumentazione di misura e delle condizioni di misura.

I risultati della relazione tecnica dovranno comprendere:

- Tipologia di esposizione (UV/IR/Visibile) e durate limite espositive in assenza di DPI associati a ciascuno dei gruppi omogenei identificati, in relazione ai pertinenti VLE;
- Distanze di sicurezza;
- Incertezze associate ai livelli di esposizione utilizzati ai fini del confronto con i VLE (solo nel caso in cui siano state effettuate misure)

Mentre nelle conclusioni vanno almeno riportati:

- a) I lavoratori esposti a rischio ROA e i livelli di rischio identificati con riferimento ai VLE previsti dall'Allegato XXXVII del DLgs.81/2008;
- b) Le specifiche condizioni espositive ove siano riscontrabili superamenti dei VLE o incrementi espositivi rilevanti in relazione alla tutela di soggetti particolarmente sensibili;
- c) Gli interventi che si propone siano messi in atto dall'azienda, con indicazione dei soggetti preposti all'attuazione ed al controllo degli stessi: interventi strutturali, le procedure di installazione e manutenzione preventiva e periodica e di sostituzione delle sorgenti
- d) Le caratteristiche dei DPC e DPI 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.
- e) L'indicazione delle aree ove si riscontra il superamento dei VLE che necessitano di delimitazione e le modalità di delimitazione delle stesse.
- f) Presenza di fattori di criticità inerenti il possibile incremento del rischio ROA nel tempo e modalità di controllo /gestione degli stessi (es. sorgenti mobili, turn over personale, guasti sistemi sicurezza presenti etc.).
- g) Il piano proposto per il miglioramento nel tempo dei livelli di

sicurezza raggiunti.

Scadenza / periodicità della valutazione del rischio professionale da esposizione a ROA, in relazione all'entità del rischio riscontrato e delle misure di tutela predisposte.

Come conseguenza della valutazione del rischio, in base all'art.36 del D.Lgs. 81/08, l'informazione va fornita a tutti i lavoratori in qualsiasi modo coinvolti direttamente o indirettamente ad esposizioni con ROA. In base all'art. 37 del D.Lgs. 81/08, ai relativi Accordi Stato Regione sulla formazione e all'art. 184 del D.Lgs. 81/08, tutti i lavoratori devono essere formati in merito ai rischi specifici della propria mansione.

In particolare, per l'esposizione a radiazione ottica non coerente si raccomanda di attivare l'informazione / formazione dei lavoratori quando la valutazione dei rischi non può concludersi con la cosiddetta "giustificazione" di non dover effettuare una valutazione più dettagliata.

Per quanto riguarda l'esposizione a radiazione ottica coerente (LASER) si raccomanda di attivare l'informazione/formazione specifica dei lavoratori quando la valutazione dei rischi non può concludersi con la cosiddetta "giustificazione" di non dover effettuare una valutazione dei rischi più dettagliata ossia quando si utilizzano sorgenti di classe diversa dalla 1.

Si ricorda che la sorveglianza sanitaria periodica va sempre attivata per i lavoratori esposti a ROA non coerenti che, sulla base dei risultati della valutazione del rischio, abbiano necessità di indossare DPI per la protezione degli occhi o della cute, proprio per verificare l'efficacia delle misure di prevenzione e protezione messe in atto, che deve portare al costante miglioramento delle condizioni di salute e sicurezza dei lavoratori.

A tal proposito si sottolinea che la valutazione del livello di esposizione ai fini della classificazione dei lavoratori deve essere effettuata senza considerare l'attenuazione offerta dai DPI.

Nel caso di esposizione cronica a radiazione UV, IR e luce blu a valori inferiori ai valori limite di esposizione, ma comunque significativamente superiori ai valori espositivi normalmente rilevabili in ambiente chiuso, si consiglia l'attivazione della sorveglianza sanitaria al fine di prevenire possibili effetti a lungo termine a carico di occhi e cute, che potrebbero insorgere anche a valori espositivi inferiori ai VLE, soprattutto in relazione alla tutela dei soggetti particolarmente sensibili al rischio.

In presenza di sorgenti laser si raccomanda di sottoporre a sorveglianza sanitaria i lavoratori che utilizzano laser di classe 3B e 4, come peraltro indicato anche nella "Guida per l'utilizzazione di apparati laser per laboratori di ricerca" CEI 76 Fascicolo 3850 R al punto E10.11 [7].

Infine si fa presente che le suscettibilità individuali non rappresentano in genere condizioni di inidoneità al lavoro, per tali lavoratori andranno valutate, caso per caso, misure specifiche di prevenzione e protezione in

relazione alle modalità espositive ed alla specifica patologia o fotosensibilità, individuando per questi soggetti specifici protocolli di sorveglianza sanitaria a cura del medico competente, di concerto con il medico curante/specialista. Per tale motivo risulta fondamentale la collaborazione fra chi valuta il rischio ed il medico competente, in modo da evidenziare l'esigenza di particolari misure di tutela previste dalle normative o dalla letteratura rispetto ai soggetti sensibili.

## **IL PERSONALE COMPETENTE**

Ai sensi dell'art. 181 comma 2 del D.lgs.81/08 il Datore di lavoro deve avvalersi di *“personale qualificato nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione in possesso di specifiche conoscenze in materia”*.

Il “personale qualificato” risulta tale se in grado di effettuare la valutazione dei rischi da radiazioni ottiche non coerenti richiesta per la specifica attività lavorativa e di redigere una relazione tecnica completa ed esaustiva, secondo i requisiti richiesti dal D.Lgs. 81/08. (FAQ D.2)

In assenza di normativa specifica in materia, che definisca i criteri di qualificazione del “personale qualificato”, possono essere assunte come riferimento sui requisiti di questa figura professionale che possono orientare la scelta del Datore di lavoro, le indicazioni contenute nel documento “REQUISITI DI CONOSCENZA, ABILITÀ E COMPETENZA DEL PERSONALE QUALIFICATO PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DA RADIAZIONI OTTICHE NON-COERENTI E COERENTI(LASER) NEI LUOGHI DI LAVORO” redatto a cura della CIIP (Consulta Interassociativa Italiana per la Prevenzione) nel 2020, in collaborazione col Coordinamento interregionale sicurezza salute luoghi di lavoro – Gruppo di lavoro Agenti fisici e disponibile sul sito web della Consulta medesima. [www.ciip-consulta.it](http://www.ciip-consulta.it).

Il datore di lavoro valuta l' idoneità del “personale qualificato” essenzialmente sulla base del curriculum professionale posseduto in riferimento al possesso dei suddetti requisiti.

Tipicamente vengono distinte due tipologie di valutatore di ROA non coerenti, corrispondenti ad un livello di conoscenza di base ed avanzata discriminando il caso in cui si debba effettuare una valutazione del rischio mediante calcoli e/o misure, livello avanzato, dal caso in cui si possa effettuare la valutazione utilizzando dati forniti dal fabbricante delle sorgenti e riportate nei manuali d'uso e manutenzione o da banche dati e strumenti online presenti sul Portale Agenti Fisici o da altre banche dati accreditate.

Inoltre si fa notare che per effettuare la valutazione del rischio solare si può

ricorrere alla procedura proposta dall'ICNIRP e riportata nella sezione Radiazioni Ottiche Naturali del Portale Agenti Fisici. Anche in questo caso si ritiene che non sia necessario ricorrere a competenze di livello specializzato.

Anche per la valutazione delle ROA coerenti vengono individuati livelli differenti di conoscenza, in base ai compiti ed alle responsabilità assegnate; si parla quindi di utilizzatore del laser, preposto alla sicurezza laser ed esperto Sicurezza LASER.

L'Esperto Sicurezza LASER o ESL, nelle due accezioni di Addetto Sicurezza LASER-ASL in ambito sanitario/estetico/veterinario e di Tecnico Sicurezza LASER-TSL negli altri ambiti, va sempre nominato nei casi di utilizzo di sistemi contenenti LASER di classe 3B e/o di classe 4. Ciò anche per sistemi LASER di classe 1 o di classe inferiore alla classe 3B che contengano LASER di classe 3B e 4 limitatamente agli interventi di manutenzione. Ciò significa che se un'industria ha un laser in classe 1 o 2 che incorpora un laser in classe 3B o 4, ma sono previste precise procedure che affidano le operazioni di manutenzione ad una ditta esterna, sarà tale ditta a nominare un TSL per effettuare la manutenzione, che tipicamente comporta l'accesso alla zona dove è operante il laser in classe 3B o 4.

Nella pratica l'ASL ed il TSL hanno il compito di effettuare la valutazione del rischio a partire prima di tutto dalla rispondenza del macchinario e del suo manuale d'uso e manutenzione a quanto richiesto dalle vigenti normative, ma anche verificando l'idoneità del locale di utilizzo in relazione alle caratteristiche della specifica apparecchiatura, redigere le corrette procedure di utilizzo in modo da mantenere nel tempo il controllo del rischio. Per tali motivi sarebbe opportuno che il parere dell'esperto fosse richiesto preliminarmente all'acquisto del macchinario, della modifica dello stesso o del locale di utilizzo, in modo da prevenire eventuali condizioni di non conformità. Da questo punto di vista risulta evidente l'importanza della terzietà dell'ESL rispetto al produttore dell'apparecchio laser in modo da avere maggiori garanzie di una valutazione oggettiva.

## **CONCLUSIONI**

Nel presente lavoro sono stati analizzati alcuni aspetti di base concernenti la valutazione del rischio da radiazioni ottiche artificiali, in accordo a quanto riportato nel documento sull'argomento contenuto nell'aggiornamento delle Indicazioni Operative per l'applicazione del D. lgs 81/08 redatte dal Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Provincie autonome (FAQ) in fase di approvazione. Sono stati inoltre richiamati alcuni strumenti di ausilio alla valutazione presenti nella

sezione ROA del Portale Agenti Fisici, come la documentazione relativa a specifiche sorgenti o scenari espositivi, le banche dati delle sorgenti e procedure guidate.

Per una trattazione più dettagliata si rimanda alle suddette fonti ed ai riferimenti in esse contenute.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), *ICNIRP Statement on far infrared Radiation Exposure*, 2006, Health Physics 91 (6)
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), *ICNIRP Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation*, 2013, Health Physics 105 (1)
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), *ICNIRP Statement- protection of workers against ultraviolet radiation*, 2010, Health Physics 99 (1)
- [4] IARC, *Radiation Volume 100D, A review of human carcinogens*, 2009, WHO Press
- [5] UNI EN 12198 *Sicurezza del macchinario - Valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario*
- [6] CEI EN 62471-1 *Sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampade*
- [7] CEI, 76-6 *Guida per l'utilizzazione di apparati laser per laboratori di ricerca*, 1998, CEI

## **LA BANCA DELLE SOLUZIONI APRE AL MICROCLIMA: SOLUZIONI E STRUMENTI PER LA GESTIONE DEL RISCHIO**

**Sandra Bernardelli (1), Lucia Botti (2,3), Alice Caporale (4), Silvia Goldoni (5), Antonia M. Guglielmin (6), Cristina Mora (4)**

- 1) Dipartimento di Sanità Pubblica, U.O. Prevenzione e Sicurezza negli Ambienti di Lavoro Ovest, Azienda USL di Bologna
- 2) Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari” (DIEF), Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
- 3) Centro di Ricerca Interdipartimentale sulla Sicurezza e Prevenzione dei Rischi (CRIS), Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
- 4) Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN), Università degli Studi di Bologna
- 5) Dipartimento di Sanità Pubblica, Azienda USL di Modena
- 6) Dipartimento di Sanità Pubblica, Azienda USL di Bologna, U.O.C. Prevenzione e Sicurezza degli Ambienti di Lavoro

## **INTRODUZIONE**

Il microclima degli ambienti di lavoro può interferire significativamente con le attività degli occupanti. Se da un lato condizioni microclimatiche confortevoli garantiscono il benessere dei lavoratori, dall’altro condizioni di stress ambientale (livelli di umidità inadeguati, sbalzi eccessivi di temperatura o correnti d’aria) sul luogo di lavoro favoriscono il verificarsi di malesseri e infortuni, riducendo la produttività degli occupanti.

Uno dei fattori maggiormente impattanti riguarda l’abitudine fisica e psicologica a svolgere lavori in condizioni di caldo e/o freddo.

Un altro elemento aggravante riguarda la sottovalutazione del rischio da microclima, che spesso viene percepito minore di quello reale. Infine, in alcuni casi a questi fattori si somma l’eccessiva responsabilizzazione al dovere e/o motivazione, come per esempio avviene nel caso delle esposizioni in edilizia, agricoltura, o quando sono coinvolti gli operatori dell'emergenza, come sanitari, vigili del fuoco, pubblica sicurezza etc. Pertanto, è fondamentale che i gruppi professionali a rischio siano informati sulle misure da adottare per prevenire gli effetti avversi dell’esposizione a condizioni microclimatiche inadeguate.

Con l’emanazione del D.Lgs. 81/2008 il microclima è stato riconosciuto come agente di rischio fisico, ai sensi dell’art. 180 che definisce tali agenti e ne individua il campo di applicazione, rendendone obbligatoria la valutazione dei rischi, così come stabilito dall’art. 181.

Tuttavia, diversamente da quanto avviene per la valutazione degli altri

agenti fisici, la legge non disciplina questa materia se non con disposizioni di carattere generale così suddivise:

- a) nell'Allegato IV punto 1.9 il microclima viene considerato come requisito di salute e sicurezza, sottolineando la necessità di “adeguatezza” della temperatura, dell'umidità, e della velocità dell'aria nonché la relazione tra questi parametri ed i metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici imposti ai lavoratori in un'ottica di massimizzazione del comfort;
- b) nel Titolo VIII il microclima viene invece considerato come uno degli agenti fisici che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, sottolineando l'urgenza di interventi mirati alla minimizzazione e ove possibile all'eliminazione del rischio.

Benché il D.Lgs. 81/08 abbia inserito il microclima nei rischi fisici da valutare ai sensi del Titolo VIII, l'assenza di uno specifico Capo del testo di legge non fornisce, alla pari degli altri rischi come rumore, vibrazioni ecc., delle univoche indicazioni su come valutare tale rischio. La valutazione del microclima viene effettuata facendo riferimento alla normativa tecnica internazionale e nazionale che consentono di effettuare una valutazione quantitativa del rischio e di adottare le opportune misure di prevenzione e protezione. Tuttavia, tali norme differiscono a seconda del tipo di ambiente termico in esame.

In linea con quanto dettato dal D.Lgs. 81/08 e con l'assenza di indicazioni univoche volte alla valutazione del rischio da microclima, nel 2021 nasce il Gruppo di lavoro dedicato al Microclima all'interno progetto *Banca delle Soluzioni* (2014), con lo scopo di individuare soluzioni tecniche e tecnologiche in grado di eliminare, ridurre o limitare il rischio da microclima a favore del benessere dei lavoratori. Tale sezione si aggiunge alle sezioni Ambienti Confinati e Ergonomia, nate con la nascita del progetto stesso e presentate nel 2015 presso l'Università di Bologna.

## IL PROGETTO

[ **banca**delle**soluzioni** ]  
PARENTESI MAI SOSPESSE

Il progetto *Banca delle Soluzioni* nasce della collaborazione tra AUSL di Bologna e il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN) della Scuola di Ingegneria e Architettura della Università di Bologna e ha visto la costituzione dell'omonimo gruppo di lavoro interdisciplinare, a cui fanno parte i rappresentanti di diversi enti preposti alla sicurezza della Regione

Emilia Romagna, quali *AUSL Bologna, AUSL Modena, AUSL Parma, AUSL Reggio Emilia, AUSL della Romagna, Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Bologna, Direzione Regionale dei Vigili del Fuoco dell'Emilia Romagna, Direzione Territoriale del Lavoro di Bologna, INAIL Settore Certificazione, Verifica e Ricerca, Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna.*

La *Banca delle Soluzioni* è un luogo di scambio tra diversi attori: le aziende, nelle figure del datore di lavoro, dei preposti, RSPP e dei lavoratori stessi, quali diretti utilizzatori e potenziali acquirenti delle soluzioni; i professionisti della sicurezza e gli operatori della vigilanza, quali diretti osservatori delle problematiche di sicurezza e di rischio per la salute dei lavoratori; i progettisti e gli ingegneri, quali ideatori di soluzioni e di tecnologie innovative.

Lo scopo del progetto è quello di analizzare lo stato dell'arte delle condizioni di salute e sicurezza in cui vengono svolte le attività lavorative in diversi settori e comparti, con l'obiettivo di individuare le eventuali criticità e le situazioni ad alto rischio che potenzialmente possono e devono essere eliminate e ridotte. La ricerca di soluzioni tecnologiche esistenti e attualmente commercializzate, implementabili in tali contesti lavorativi, ha permesso di realizzare un database di strumenti idonei a eliminare i rischi alla fonte o a ridurli al minimo.

Il risultato è una raccolta di soluzioni tecniche e tecnologiche, ad oggi disponibili sul mercato, potenzialmente implementabili per eliminare o ridurre il rischio di attività lavorative pericolose.

La *Banca delle Soluzioni* è attualmente disponibile online all'indirizzo **<http://safetyengineering.din.unibo.it/banca-delle-soluzioni>** ed è ad accesso gratuito. Nei prossimi mesi, il progetto migrerà su un nuovo Portale con veste grafica rinnovata e maggiore collegamento tra le schede tecniche e le sezioni grazie all'introduzione di filtri di ricerca per parole chiave. Le soluzioni tecniche proposte all'interno della *Banca delle Soluzioni* sono state individuate attraverso molteplici canali di ricerca, quali ad esempio la letteratura scientifica e di settore, i rapporti delle attività di vigilanza e controllo sulla sicurezza nei luoghi di lavoro e i motori di ricerca internazionali.

Le finalità della *Banca delle Soluzioni* non sono commerciali, tantomeno il gruppo di lavoro intende validare le soluzioni proposte al di fuori del contesto operativo in cui saranno inserite o fornire uno strumento che si sostituisca alla valutazione dei rischi obbligatoria.



Fig 1. Il sito Safety Engineering – Progetto Banca delle Soluzioni

La *Banca delle Soluzioni* non si propone come un elenco esaustivo, ma si tratta di un documento in continuo aggiornamento, a espressione dello stato attuale del progresso tecnico. Essa rappresenta, infatti, un luogo di scambio tra domanda e offerta di soluzioni e idee per migliorare le condizioni di sicurezza sul lavoro. Per rispondere a tale esigenza, nel giugno 2016, il gruppo di lavoro ha inserito all'interno del sito anche un modulo per la raccolta diretta da parte di aziende, privati o organi di vigilanza di nuove soluzioni per la riduzione del rischio ergonomico.

La *Banca delle Soluzioni* si presenta quindi come un documento informativo destinato alla divulgazione, per indirizzare le aziende verso l'introduzione di soluzioni automatiche o semi-automatiche, in grado di sostituire o agevolare l'operatore nelle seguenti condizioni critiche:

- Negli *ambienti confinati*, all'interno dei quali i lavoratori sono esposti ad un elevato rischio per la loro salute e sicurezza a causa delle difficili modalità di svolgimento dell'attività lavorativa e della potenziale presenza di agenti chimici pericolosi o in carenza di ossigeno.
- Durante la *movimentazione manuale dei carichi* e i movimenti ripetitivi che insieme ad un'inefficace progettazione ergonomica delle postazioni e degli strumenti comportano l'insorgenza di disturbi e patologie dell'apparato muscoloscheletrico.
- In *condizioni microclimatiche avverse* che mettono a dura prova la

salute e la sicurezza dei lavoratori esposti allo stress ambientale, aggravandone il sovraccarico biomeccanico.

Nel paragrafo successivo verrà presentata la nuova sezione dedicata al Microclima.

## LA BANCA DELLE SOLUZIONI – SEZIONE MICROCLIMA

Per microclima si intende il complesso dei parametri climatici dell'ambiente nel quale un individuo vive o lavora che influenzano lo scambio termico tra l'essere umano e l'ambiente circostante.

Quando il corpo umano, con minimo impegno dei meccanismi di termoregolazione, non prova sensazione di freddo o di caldo, l'individuo viene a trovarsi in uno stato di soddisfazione nei confronti dell'ambiente detto "*benessere microclimatico*". Tale condizione ottimale si verifica solo se i parametri ambientali ***temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria*** sono opportunamente graduati. La ventilazione può influenzare i parametri microclimatici e svolge un ruolo importante nel processo di termoregolazione del corpo umano e nel garantire situazioni di comfort ambientale.

L'interazione dell'individuo con l'ambiente termico che lo circonda può dar luogo ad una serie di effetti estremamente varia che spazia da aspetti di tipo percettivo (*comfort/discomfort*) ad aspetti di tipo prestazionale fino ad aspetti che coinvolgono elementi fisiologici e le funzioni vitali dell'individuo stesso. Tali effetti dipendono dalla tipologia di ambiente termico a cui gli operatori sono sottoposti.

Si distinguono:

- ***ambienti termicamente moderabili o "moderati"*** nei quali non esistono vincoli in grado di pregiudicare il raggiungimento di condizioni di comfort;
- ***ambienti termicamente vincolati o "severi"*** nei quali esistono vincoli, in primo luogo sulla temperatura e sulle altre quantità ambientali, ma anche sull'attività metabolica e sul vestiario, in grado di pregiudicare il raggiungimento di condizioni di comfort. Questi ambienti determinano nei soggetti esposti uno squilibrio termico tale da poter rappresentare un fattore di rischio per la loro salute.

Il gruppo di lavoro Microclima pone la sua attenzione sull'analisi degli ambienti vincolati e ha come scopo la ricerca di *materiali, attrezzature, impianti e DPI* finalizzati alla riduzione o eliminazione dei rischi da microclima e la diffusione di indicazioni utili alla scelta di efficaci e fruibili misure di prevenzione e di gestione del microclima in ambito

occupazionale, attraverso criteri di progettazione degli ambienti di lavoro. Il risultato è la realizzazione di un documento informativo, costituito da schede tecniche destinate alla divulgazione, per indirizzare le aziende verso l'introduzione di soluzioni strutturali e tecnologiche, in grado di migliorare il microclima, riducendo i rischi legati a condizioni ambientali inappropriate.

## STRUTTURA DELLA SEZIONE MICROCLIMA

La sezione dedicata al Microclima verrà implementata a breve all'interno del nuovo portale del Progetto *Banca delle Soluzioni*.

All'interno di tale sezione verranno presentate alcune fondamentali premesse per guidare gli operatori.

In particolare, verranno presentati i seguenti approfondimenti:

- **“Descrizione del rischio da Microclima”** con un rimando alle informazioni presenti sul Portale Agenti Fisici (PAF).
- **“Criteri generali di progettazione”** per affrontare le tematiche generali di gestione del microclima in ambito occupazionale, con focus sui criteri per una corretta progettazione degli ambienti di lavoro (es. dove e come collocare le stazioni di monitoraggio oppure quali principi utilizzare per la scelta dei materiali). Anche in questo caso i contenuti potranno richiamare alcune sezioni specifiche del PAF.
- **“Norme tecniche per la gestione del microclima”** al cui interno verranno presentate le normative che regolano il settore.

Inoltre, alle premesse saranno affiancati i seguenti tre ambiti di indagine:

- **“Dispositivi di monitoraggio del Microclima”** contenente i link alle schede delle soluzioni relative alle stazioni complete e alle centraline portatili per il monitoraggio dei parametri ambientali.
- **“Soluzioni tecniche per il miglioramento del Microclima”** in cui verranno inserite le schede relative alle soluzioni individuate, suddivise nelle seguenti sottosezioni:
  - *Materiali* (in termini funzionali, non di materiale costituente, es. differenziazione nuovo vs costruito).
  - *Attrezzature* (soluzioni puntuali da applicare nelle singole posizioni di lavoro, es. pedane).
  - *Impianti* (es. raffrescamento, riscaldamento, ecc.).
  - *DPI* (es. dispositivi indossabili con funzione riscaldante o rinfrescante). Questa sezione potrà essere pubblicata dopo aver approfondito le caratteristiche e l'efficacia di tali dispositivi. A tale scopo, l'Università potrà contattare

- alcuni produttori e richiedere il test dei loro prodotti.
- **“Casi di studio”**, ovvero esempi di successo e soluzioni sviluppate dalle aziende per risolvere delle problematiche specifiche di natura microclimatica.

## LE SOLUZIONI TECNICHE PER IL MICROCLIMA

Le soluzioni individuate, mediante la ricerca bibliografica e sitografica e tramite segnalazione diretta da parte di utenti e operatori della vigilanza, anche attraverso il modulo di raccolta delle soluzioni, sono contenute all'interno della *Banca delle Soluzioni* come schede descrittive, consultabili e scaricabili gratuitamente.

La struttura delle schede ad oggi è stata mantenuta graficamente simile alle schede presenti nelle sezioni Ergonomia e Ambienti Confinati per mantenere la continuità dell'identità grafica. In seguito alla migrazione delle schede sul nuovo portale, cambierà anche l'impostazione grafica delle schede tecniche. Ciascuna scheda contiene al suo interno diverse informazioni utili, quali ad esempio le *caratteristiche dell'attività lavorativa o la problematica* per la quale la soluzione è stata progettata e le *caratteristiche tecniche della soluzione proposta*.

Le schede in figura 2 riportano due esempi di soluzioni contenute all'interno della Sezione Microclima. I dispositivi riportati nelle schede vengono utilizzati per l'analisi delle variabili microclimatiche sul luogo di lavoro. I due sistemi si distinguono per dimensioni e portabilità. A sinistra, la centralina microclimatica portatile consente la misurazione dei parametri principali del microclima, avendo solo tre ingressi per le sonde di misurazione. Tuttavia, è uno strumento ottimale per le analisi preliminari in ambienti termici moderati e severi caldi. La scheda a destra presenta, invece, le stazioni di misura del microclima che consentono un'analisi completa dei parametri microclimatici dell'ambiente in analisi.

Le schede mantengono l'impostazione già in uso nelle sezioni Ergonomia e Ambienti Confinati, fatta eccezione per le seguenti modifiche e aggiunte: la fascia laterale superiore della scheda cambia la denominazione da *“Attività”* a *“Problematica”* mentre la fascia laterale inferiore mantiene il titolo *“Caratteristiche della soluzione tecnica”*. Tra le caratteristiche della soluzione tecnica vengono messi in risalto *“Vantaggi”* e *“Svantaggi”* della soluzione presentata e la *“Conformità alla normativa”*. Infine, la sezione dedicata al costo viene dettagliata distinguendo i *“costi di acquisto, installazione e manutenzione”*.

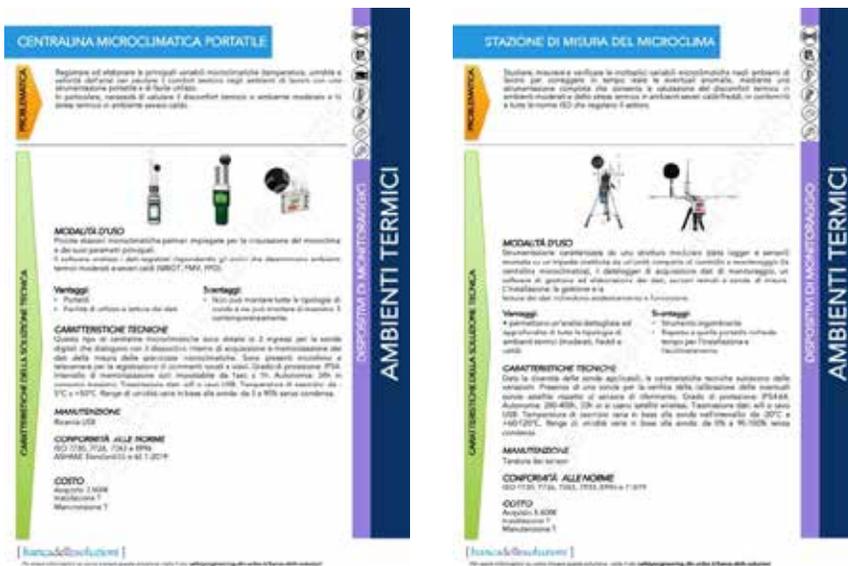


Fig.2 Esempi di schede della Sezione Microclima

**NUOVE ICONE**



Fig.3 nuove icone per le schede della sezione Microclima

Il gruppo ha proposto l'utilizzo di quattro icone aggiuntive per categorizzare le soluzioni in funzione del microclima dell'ambiente in cui tali dispositivi operano.

A partire da sinistra troviamo le due icone identificative degli ambienti termici, rispettivamente caldi e freddi che identificano soluzioni adatte a operare in tali ambienti. Troviamo poi le icone che identificano i tassi di umidità, rispettivamente alti e bassi.

## **SVILUPPI FUTURI**

Nei prossimi mesi verrà inaugurato il nuovo portale del Progetto *Banca delle Soluzioni* con lo scopo di ampliare il progetto inserendo la sezione dedicata al Microclima, uniformare la veste grafica dei tre gruppi di lavoro: Ergonomia, Ambienti Confinati e Microclima, e presentare nuove funzionalità operative per la prevenzione e la riduzione dei rischi sul luogo di lavoro. Una volta completato il nuovo portale, verranno pubblicate le schede della sezione Microclima già vagliate dal Gruppo che ad oggi non sono ancora presenti nel vecchio sito web. Infine, l'intera sezione dedicata al microclima verrà presentata in sede di convegno la prossima primavera.

## BIBLIOGRAFIA

1. Akimoto, T., Tanabe, S., Yanai, T., Sasaki, M., 2010. Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. *Build. Environ.* 45, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.022>
2. Bai, X., Wicaksono, H., 2020. How relevant are environmental factors in the ergonomic performance assessments? *Procedia Manuf.* 52, 325–330. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.11.054>
3. Bueno, A.M., de Paula Xavier, A.A., Broday, E.E., 2021. Evaluating the connection between thermal comfort and productivity in buildings: A systematic literature review. *Buildings* 11. <https://doi.org/10.3390/buildings11060244>
4. Cai, X., Lu, Y., Wang, J., 2018. The impact of temperature on manufacturing worker productivity: Evidence from personnel data. *J. Comp. Econ.* 46, 889–905. <https://doi.org/10.1016/j.jce.2018.06.003>
5. Golbabaei, F., Sajjadi, M.-H., Nouri Jelyani, K., Akbar-Khanzadeh, F., 2006. Assessment of Cold Stress and Its Effects on Workers in a Cold-Storage Warehouse. *Int. J. Occup. Hyg. Ijoh* 1, 9–13.
6. Holmér, I., 2009. Evaluation of cold workplaces: An overview of standards for assessment of cold stress. *Ind. Health* 47, 228–234. <https://doi.org/10.2486/indhealth.47.228>
7. Ilangkumaran, M., Karthikeyan, M., Ramachandran, T., Boopathiraja, M., Kirubakaran, B., 2014. Risk analysis and warning rate of hot environment for foundry industry using hybrid MCDM technique. *Saf. Sci.* 72, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.011>
8. Ismail, A.R., Rani, M.R.A., Makhbul, Z.K.M., Nor, M.J.M., Rahman, M.N.A., 2009. A study of relationship between wbgt and relative humidity to worker performance. *World Acad. Sci. Eng. Technol.* 39, 216–221. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1055889>
9. Jacklitsch, B., Williams, W., Musolin, K., Coca, A., Kim, J.-H., Turner, N., 2016. NIOSH criteria for a recommended standard: occupational exposure to heat and hot environments. US Dep. Heal. Hum. Serv. Publication 2016-106.
10. Kjellstrom, T., Briggs, D., Freyberg, C., Lemke, B., Otto, M., Hyatt, O., 2016. Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts. *Annu. Rev. Public Health* 37, 97–112. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032315-021740>
11. Kralikova, R., Koblasa, F., 2018. Approaches to the evaluation of workshop microclimate conditions. *MM Sci. J.* 2018, 2397–2400. [https://doi.org/10.17973/MMSJ.2018\\_06\\_2017107](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2018_06_2017107)

12. Lamb, S., Kwok, K.C.S., 2016. A longitudinal investigation of work environment stressors on the performance and wellbeing of office workers. *Appl. Ergon.* 52, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.010>
13. Lan, L., Wargocki, P., Lian, Z., 2011. Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy Build.* 43, 1057–1062. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.001>
14. Larose, J., Boulay, P., Wright-Beatty, H.E., Sigal, R.J., Hardcastle, S., Kenny, G.P., 2014. Age-related differences in heat loss capacity occur under both dry and humid heat stress conditions. *J. Appl. Physiol.* 117, 69–79. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00123.2014>
15. Li, D., Menassa, C.C., Kamat, V.R., 2018. Non-intrusive interpretation of human thermal comfort through analysis of facial infrared thermography. *Energy Build.* 176, 246–261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.025>
16. Marino, C., Nucara, A., Pietrafesa, M., 2012. Proposal of comfort classification indexes suitable for both single environments and whole buildings. *Build. Environ.* 57, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.012>
17. Melko, A., Ievins, J., 2012. Methods of the Environmental Risk Analysis and Assessment, the Modified Method of the Risk Index. *Saf. Technog. Environ.* 50–56.
18. Paliaga, G., Alspach, P.F., Arens, E.A., Aynsley, R.M., Bean, R., Int-hout, D., Humphreys, M.A., Khalil, E.E., Rourke, M.P.O., Schoen, L.J., Simmonds, P., Turner, S.C., Cooper, K.W., Walter, W.F., Abramson, D.S., Barnaby, C.S., Emmerich, S.J., Ferguson, J.M., Hall, R.L., Harrold, R.M., 2012. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy 8400.
19. Rahma, S.N., Safitri, M.R., Tualeka, A.R., 2020. The Analysis of Differences in Body Temperature and Blood Pressure Before and After Exposure to Hot Work Climates. *Indones. J. Occup. Saf. Heal.* 9, 318. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v9i3.2020.318-327>
20. Ray, M., King, M., Carnahan, H., 2019. A review of cold exposure and manual performance: Implications for safety, training and performance. *Saf. Sci.* 115, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.01.014>
21. Reinhold, K., Tint, P., 2009. Hazard profile in manufacturing: Determination of risk levels towards enhancing the workplace safety. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* 17, 69–80. <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2009.17.69-80>
22. Renberg, J., Nordrum Wiggen, Ø., Stranna Tvetene, P.Ø., Færevik, H., Van Beekveld, M., Roeleveld, K., 2020. Effect of working position and cold environment on muscle activation level and fatigue in the upper

- limb during manual work tasks. *Int. J. Ind. Ergon.* 80. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103035>
23. Rodahl, K., 2003. Occupational health conditions in extreme environments. *Ann. Occup. Hyg.* 47, 241–252. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg033>
  24. Sugathadasa, P.T.R.S., Perera, H.N., 2021. Analysis of Risk Factors for Temperature- Controlled Warehouses 14, 320–337.
  25. Sun, S., Zheng, X., Villalba-Diez, J., Ordieres-Meré, J., 2019. Indoor air-quality data-monitoring system: Long-term monitoring benefits. *Sensors (Switzerland)* 19, 1–18. <https://doi.org/10.3390/s19194157>
  26. Tarantini, M., Pernigotto, G., Gasparella, A., 2017. A co-citation analysis on thermal comfort and productivity aspects in production and office buildings. *Buildings* 7. <https://doi.org/10.3390/buildings7020036>
  27. Uter, W., Kanerva, L., 2019. Physical causes: Heat, cold, and other atmospheric factors. *Kanerva's Occup. Dermatology* 467–479. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68617-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68617-2_33)
  28. Wolkoff, P., 2018. Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 221, 376–390. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.015>
  29. Wu, J., Hou, Z., Shen, J., Lian, Z., 2021. A method for the determination of optimal indoor environmental parameters range considering work performance. *J. Build. Eng.* 35, 101976. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101976>
  30. Wu, J., Hu, Z., Han, Z., Gu, Y., Yang, L., Sun, B., 2021. Human physiological responses of exposure to extremely cold environments. *J. Therm. Biol.* 98, 102933. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102933>
  31. Yangok, A., Choosong, T., 2018. Factors related to safety climate in production line workers of food manufacturing. *Int. J. Eng. Technol.* 7, 18–22. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.24.17293>
  32. Yi, W., Chan, A.P.C., 2017. Effects of heat stress on construction labor productivity in Hong Kong: A case study of rebar workers. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14. <https://doi.org/10.3390/ijerph14091055>

## **ATMOSFERE IPERBARICHE: INDICAZIONI SULLA VALUTAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO**

**Dott. Corrado Costanzo (1) Dott. Enrico Marchetti (2) Prof. Giuliana Valente (3)**

- 1) Centro Iperbarico Romano
- 2) Laboratorio Rischio Agenti Fisici, DIMEILA, INAIL
- 3) Centro Iperbarico Romano

### **INTRODUZIONE**

Per stabilire l'entità del rischio collegato alle attività subacquee si deve procedere all'analisi dei pericoli che possono verificarsi durante queste attività lavorative. Il datore di lavoro (DL) deve valutare i rischi che possono verificarsi ed elaborare un documento come previsto dall'art. 28 del testo unico D.lgs. 81/08 e s.m.i.

Il DL può demandare la stesura del documento a persona esperta nel settore. La sorveglianza sanitaria degli esposti ad Atmosfere Iperbariche compete al Medico Competente (MC) ed al Medico Iperbarico (MI). La figura del MC è definita dal D. Lgs. 81/08 quale titolare della sorveglianza sanitaria dei lavoratori. La figura del MI è rappresentata dal medico specialista in medicina del nuoto e delle attività subacquee o dal medico diplomato da master universitario di II livello in medicina Subacquea ed Iperbarica. La figura del MI è introdotta nell'apparato legislativo italiano dalla norma UNI 11366 del 2010 (in corso di revisione) e dal decreto legge 24 Gennaio 2012: "Disposizioni urgenti per la concorrenza, lo sviluppo delle infrastrutture e la competitività", meglio noto come "decreto liberalizzazioni" che, all'articolo 16, al punto 2, stabilisce che le attività "di cui all'articolo 53 del decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1979, n. 886, sono svolte secondo le norme vigenti, le regole di buona tecnica di cui alla norma UNI 11366". Un riferimento che conferisce dunque alla norma UNI 11366 un valore cogente. Pertanto, si può assumere, in similitudine ai ruoli assunti dal MC e dal medico autorizzato nel settore delle radiazioni ionizzanti, che anche nel lavoro ad atmosfere iperbariche le pertinenze riguardano in primis il MC che si avvale per i lavori in Iperbarismo del MI, quindi se ne occupano entrambi ognuno per la propria pertinenza.

Le diverse categorie di esposti dovranno essere sottoposte a controlli sanitari in ragione delle proprie valutazioni del rischio specifico.

Sono in via conclusiva le FAQ dell'INAIL dove si potranno consultare anche le indicazioni per i controlli sanitari.

## **LA VALUTAZIONE E LA GESTIONE DEI RISCHI**

La valutazione e la gestione dei rischi connessi all'esposizione ad atmosfere iperbariche sono regolate dal D.lgs. 81/08 e s.m.i. al Titolo VIII AGENTI FISICI CAPO I - DISPOSIZIONI GENERALI.

Definiamo la gestione del rischio il processo di identificazione e valutazione dei rischi e la creazione di un piano che consenta di contenere o tenere sotto controllo quelli individuati e le loro conseguenze.

La Valutazione del Rischio (VdR) è l'insieme di tutti i fattori di rischio che vengono presi in considerazione per elaborare una "stima del rischio" per garantire la sicurezza e la salute del personale e di intraprendere eventuali interventi di prevenzione e protezione per l'eliminazione del pericolo o una sua riduzione secondo le misure di tutela previste dal D.lgs. 81/08 e s.m.i.

Per stabilire l'entità del rischio collegato alle attività subacquee si deve procedere all'analisi dei pericoli che possono verificarsi durante queste attività lavorative. Il DL deve valutare i rischi che possono verificarsi ed elaborare un documento come previsto all'art. 28 del testo unico D.lgs. 81/08 e s.m.i.

L'attività subacquea non ha una tipologia di lavoro che può essere identificata o assimilata ad altra attività lavorativa comunemente oggetto di processi valutativi volti ad individuare i rischi lavorativi. È *sui generis* in quanto, a prescindere da cosa si va a fare sott'acqua (lavoro, foto, video, perlustrazione, divertimento, ecc.) il pericolo è intrinseco nei cambiamenti fisiologici che l'organismo ha all'aumentare della pressione assoluta (pressione atmosferica + pressione idrostatica); quindi, non potendo escludere quest'ultimi, bisogna evitare o ridurre la somma di ulteriori rischi tali da mettere in pericolo la salute del lavoratore.

Non si può, inoltre, individuare un luogo di lavoro unico e fisso in quanto il mondo sottomarino come luogo di lavoro è variegato e mai identico tale da permettere misure di prevenzione e tutela della salute dei lavoratori impiegati in attività subacquee.

Lo svolgimento delle attività subacquee è caratterizzato da variabili che includono la profondità, la durata del lavoro e dalle condizioni ambientali (correnti, acqua fredda, visibilità, mare mosso, ecc.) ma anche dallo stato di salute del subacqueo, quindi, la VdR deve essere effettuata preventivamente allo svolgimento di qualsiasi attività subacquea.

Un'altra variabile, non meno importante, è la formazione del subacqueo che sarà diversa a seconda delle figure professionali che si prendono in considerazione; per fare un esempio tra un Istruttore o una guida subacquea e un sommozzatore professionista che lavora in saturazione. Tutte e tre queste figure svolgono la loro attività in atmosfere iperbariche ma il loro percorso formativo è totalmente diverso.

Le figure professionali che svolgono un lavoro in atmosfere iperbariche sono:

1. SUBACQUEI OFFSHORE DI ALTO E BASSO FONDALE
2. SUBACQUEI IN SERVIZIO LOCALE
3. TBM E CASSONISTI
4. MEDICINA IPERBARICA
5. CORPI SUBACQUEI DELLO STATO
6. PESCA PROFESSIONALE (ITTICOLTURA)
7. SUBACQUEI SCIENTIFICI
8. LAVORATORI DELLA SUBACQUEA RICREATIVA

### **Criteria per la Valutazione del Rischio**

Individuati i pericoli che possono verificarsi durante le attività subacquee si prendono in considerazione quelli più significativi per effettuare la valutazione dei rischi.

I pericoli più significativi, ma non esaustivi, derivanti dalle attività subacquee sono:

- Rischi da cause chimiche  
(iperossia, intossicazione da CO<sub>2</sub>, intossicazione da CO, narcosi d'azoto)
- Rischi da cause meccaniche  
(barotraumi, sovradistensione polmonare e gastrointestinale, vertigine alternobarica)
- Rischi da cause fisiche  
(ipotermia e ipertermia, patologia da decompressione)
- Rischi da cause ambientali  
(traumi, annegamento, lesioni da sostanze urticanti e avvelenamento da animali marini)

### **Criteria per la stima del rischio (indici di valutazione)**

Per la definizione e quantificazione del rischio possiamo utilizzare la funzione:

$$R = P \times G$$

dove:

R rappresenta il rischio da esposizione ad atmosfere iperbariche;

P rappresenta la probabilità che l'evento può accadere;

G rappresenta la gravità dell'evento indesiderato.

Il Rischio può essere eliminato, quando è possibile, modificando metodi di lavoro, attrezzature o materiali. Nelle attività subacquee il rischio non può mai essere eliminato totalmente ma si può ridurre adottando misure preventive che fanno diminuire la probabilità che un determinato evento possa accadere e misure protettive che ne circoscrivano gli effetti. Il rischio così ridotto prende il nome di rischio residuo (Rr).

Il Rr, se garantisce la sicurezza dei subacquei in immersione, può essere classificato come rischio residuo accettabile.

Determinando quello che viene definito rischio accettabile Ra, si interviene dando la priorità a tutte quelle situazioni per cui risulta che il livello di rischio stimato R sia:

$$R > Ra$$

Un metodo diffuso per rappresentare il livello di tollerabilità del rischio residuo è la matrice del rischio, nota anche come matrice di probabilità; questa considera la probabilità che un evento possa accadere rispetto alla gravità dell'evento.

Il metodo di valutazione, inoltre, consente di assegnare un indice ai diversi rischi a cui sono esposti i lavoratori in atmosfere iperbariche permettendo di compararne l'entità e di individuarne la significatività. Questa comparazione permette di definire le priorità e la programmazione degli interventi di prevenzione e di protezione da adottare.

Le fasi generali del rischio sono:

- 1) Definire i pericoli
- 2) Individuare i rischi significativi attraverso:
  - Calcolo della gravità del danno (G)
  - Calcolo della probabilità di accadimento (P)
 Questa codificazione costituisce il punto di partenza per la definizione delle priorità e per la programmazione degli interventi di prevenzione e di protezione da adottare.
- 3) Definizione e gestione del piano delle misure per il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza e verifica dello stato di attuazione.

Definiti gli indici di rischio in base alla formula  $R = P \times G$ , il rischio  $R$  è tanto più grande quanto più è probabile che accada l'incidente e quanto più grave è l'entità del danno.

In base ai valori attribuiti alle due variabili probabilità e gravità del danno, il rischio è numericamente definito con una scala crescente dal valore 1 al valore 25. In base ai livelli di rischio avremo le priorità d'intervento da attuare per riportare il rischio ad un livello accettabile.

È definito livello di rischio inaccettabile se l'indice  $R$  è uguale o maggiore di 15, in questo caso l'intervento deve essere immediato e le azioni correttive indilazionabili da attuare subito.

È definito livello di rischio alto se l'indice  $R$  è compreso tra 5 e 14, in questo caso l'intervento deve essere a breve termine e le azioni correttive da programmare e attuare con urgenza.

È definito livello di rischio medio se l'indice  $R$  è tra 2 e 4, in questo caso l'intervento deve essere a medio termine e le azioni correttive e/o migliorative da programmare e attuare nel medio termine.

È definito livello di rischio basso se l'indice  $R$  è tra 1 e inferiore a 2, in questo caso l'intervento deve essere a lungo termine e le azioni migliorative da valutare in fase di programmazione e da attuare nel lungo termine.

È definito livello di rischio accettabile se l'indice  $R$  è inferiore di 1, in questo caso il rischio specifico non è quantificabile.

La VdR è finalizzata a individuare le adeguate misure di prevenzione e di protezione elaborando le misure correttive atte a garantire, nel tempo, livelli di sicurezza per la salute dei lavoratori. In relazione all'indice di rischio si definiscono i provvedimenti atti a controllare e ridurre tali rischi.

Il DL raccoglie tali misure necessarie alla riduzione dei rischi e riporta le azioni correttive individuate, il tempo di attuazione, i responsabili dell'attuazione e le risorse necessarie nel "Piano delle misure per il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza e verifica dello stato di attuazione".

Le misure di miglioramento possono essere di tipo procedurale, organizzativo, di formazione e riguardare l'adattamento alla miglior tecnica delle attrezzature utilizzate per lo svolgimento delle attività stesse.

La VdR nelle attività subacquee considera gli elementi di rischio principali che sono la base per la compilazione della scheda per la valutazione del rischio. Gli elementi di rischio possono essere considerati singolarmente e divisi per differenti aspetti alternativi o complementari in funzione del tipo d'immersione. Tali elementi vanno integrati con quelli relativi alle specifiche attività subacquee, come ad esempio l'utilizzo di particolari attrezzature, al tipo di immersione e alla tipologia del sito di immersione.

L'ordine logico con cui si dovrebbe affrontare una valutazione del rischio per attività iperbarica dovrebbe essere, per tutte le tipologie di esposizione, il seguente:

1. Idoneità medica;
2. Scelta della miscela respiratoria;
3. Scelta della tabella di decompressione o degli algoritmi decompressivi e le relative procedure;
4. Adeguata preparazione degli operatori alla specifica mansione lavorativa;
5. Aspetti tecnologici (attrezzature previste per l'immersione)
6. fattori di rischio concorrenti (rischi fisici, chimici, biologici)
7. MEDEVAC (piano di evacuazione dell'infortunato)

La gestione del rischio non può essere identificata come un unico processo adatto a tutti i lavori in atmosfere iperbariche perché, come è stato detto, l'unico comune denominatore che lega gli uni agli altri è l'aumento della pressione assoluta.

Quindi per ogni categoria bisogna sviluppare specifiche valutazioni e gestioni del rischio. Per esempio, tra subacquei in *offshore* e i subacquei in servizio locale, i primi lavorano in mare aperto sulle piattaforme o nei pontoni di lavoro utilizzando immersioni in saturazione o in *bounce* in basso fondale, i secondi lavorano spesso in acque confinate (porti, dighe, fiumi e laghi). Le immersioni sono entro i 50 metri, possono essere gestite dalla superficie con ombelicale ma per la maggior parte dei lavori si eseguono in autonomia con uso delle bombole.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. D.lgs. 81/2008 e s.m.i. Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro
2. Subacquea al servizio dell'industria (alto e basso fondale): Decreto Legislativo 25 novembre 1996, n. 624; DPR 886 del 24/5/1979; Legge, 24/03/2012 n° 27 (art. 16); UNI 11366; IMCA - International Code of Practice for Offshore Diving; EDTC - Guidance on safe working practices in commercial diving; HSE – L103 Commercial diving projects offshore: Diving at Work Regulations 1997.
3. Subacquei in servizio locale (di porto): Decreto Ministeriale 13 gennaio 1979, Decreto Ministeriale 31 marzo 1981 e Decreto Ministeriale 2 febbraio 1982; HSE – L104 Commercial diving projects inland/inshore: Diving at Work Regulations 1997.
4. Cassonisti: DPR 321/56: Norme per la prevenzione degli infortuni e l'igiene del lavoro nei cassoni ad aria compressa.
5. Valutazione medica del subacqueo: Decreto Balduzzi (per subacquea ricreativa).
6. Subacquea Archeologica e Scientifica (inclusi cineoperatori): Linee Guida ISPRA; in corso di redazione norma UNI; HSE – L 106 Media diving projects: Diving at Work Regulations 1997; HSE L 107 Scientific and archaeological diving projects: Diving at Work Regulations 1997; NOAA Diving Manual: Diving for science and technology, 6 ed.; CMAS STANDARD FOR SCIENTIFIC DIVER; Woods Hole Oceanographic Institution: Diving Safety Manual Revision 3.2; CNR - Procedura di sicurezza nelle Attività Subacquee a scopo di ricerca scientifica.
7. Subacquei dei Corpi dello Stato: NATO - Allied guide to diving operations
8. Pesca subacquea professionale: Decreto Ministeriale 20 ottobre 1986.
9. Subacquea ricreativa: HSE – L105 Recreational diving projects: Diving at Work Regulations 1997.
10. Giancarlo D'Adamo et al., Formazione Giuridica pratica per Guide e istruttori Subacquei.
11. Manuale d'immersione della Marina Militare USA (US Navy Diving Manual, ver.7, 2016).
12. NOAA Diving Manual: Diving for science and technology, 6 ed.



## **SITOGRAFIA**

1. [www.edtc.org](http://www.edtc.org)
2. [www.dmac-diving.org](http://www.dmac-diving.org)
3. [https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_iperbariche\\_index.php?](https://www.portaleagentifisici.it/fo_iperbariche_index.php?)

## **QUALCHE RIFLESSIONE SUL DESCRITTORE DA UTILIZZARE PER LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AGLI ULTRASUONI NEI LUOGHI DI LAVORO**

**Paolo Lenzuni**

INAIL – DR Toscana – UOT di Firenze

### **INTRODUZIONE**

Benchè inseriti nella lista degli agenti di rischio fisici contenuta nell'art. 180 del D. Lgs 81/2008 [1], gli ultrasuoni sono molto raramente valutati in un luogo di lavoro. Uno dei (molti) motivi che spiegano questa trascuratezza è la vaghezza che esiste riguardo a quale sia il descrittore da utilizzare, e a come esso vada stimato. In questo lavoro proviamo a colmare almeno questa lacuna.

### **1. EFFETTI UDITIVI O EXTRA-UDITIVI?**

Nonostante una nutrita serie di studi sperimentali sulla possibile correlazione fra esposizione ad ultrasuoni ed effetti uditivi, le cui origini risalgono alla fine degli anni '40 [2] [3], evidenze precise e sistematiche di danni uditivi legati ad esposizioni prolungate ad ultrasuoni sono assai rare [4], per non dire nulle. Molto più consistenti appaiono al contrario le indicazioni di effetti non uditivi quali disturbi dell'equilibrio, affaticamento, acufeni, capogiri, nausea, mal di testa, irritabilità ecc. legati ad esposizioni anche di breve durata ad ultrasuoni di "bassa" frequenza (sotto i 50 KHz) [4]. Nonostante il meccanismo percettivo di onde di pressione di questa frequenza sia ad oggi poco compreso [5], la presenza di questi effetti appare stabilita al di là di ogni ragionevole dubbio. Di conseguenza è effettivamente opportuno che, negli ambienti di lavoro nei quali esistono riconosciute sorgenti di ultrasuoni, l'esposizione venga valutata con attenzione, anche se più che di rischio in senso stretto, sarebbe più opportuno ragionare in termini di discomfort e della conseguente possibile interferenza con l'attività lavorativa.

## 2. DESCRITTORI – COSA SAPPIAMO?

### 2.1 Brevissima sintesi storica

L'identificazione del descrittore da utilizzare per la valutazione dell'esposizione professionale ad ultrasuoni, così come quella dei relativi limiti di accettabilità, che procede di pari passo, possiede una storia lunga e molto tormentata.

Il documento "Interim guidelines on limits of human exposure to airborne ultrasound" redatto nel 1984 dalla IRPA-INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association) [6] utilizza il livello medio sulle 8 ore della giornata lavorativa tipo, ovvero una quantità analoga al  $L_{EX}$  della valutazione del rischio rumore. A questa quantità viene assegnato un limite di accettabilità di 110 dB in ciascuna banda di terzo d'ottava fra 25 e 100 KHz.

Il documento "Guidelines for the Safe Use of Ultrasound: Part II Industrial and Commercial Applications" [7] redatto nel 1991 a cura di Health Canada, pur mantenendo gli stessi valori numerici per i limiti di accettabilità (ancorchè limitati a 50 KHz), ne modifica radicalmente il significato, svincolandoli dal tempo di esposizione. Benchè non sia chiarissimo quale tipo di descrittore si prefiguri, sicuramente si tratta di un descrittore su tempi brevi (un livello equivalente o addirittura uno short Leq o un massimo fast/slow).

Lo standard tedesco VDI 3766 [8] pubblicato nel 2012 si allinea a questa posizione, precisando che i valori limite (adesso limitati alle bande di terzo d'ottava a 20, 25, 31,5 e 40 KHz) si applicano al massimo dei livelli equivalenti in banda di terzo d'ottava, calcolati con un tempo di integrazione di 5 minuti.

Infine, una posizione ancora diversa è quella assunta dall'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) che nei suoi TLV pubblicati annualmente [9] utilizza ancora un descrittore di breve durata indipendente dal tempo (non meglio precisato), ma con valori limite che per trasmissione in aria diventano molto più elevati, fra 140 e 145 dB. L'utilizzo di un descrittore integrato sull'intera giornata lavorativa viene invece esplicitamente limitato alle frequenze sonore, ovvero fino a 20 KHz, di fatto negando l'esistenza di effetti uditivi legati ad esposizioni prolungate ad ultrasuoni.

A questo quadro oggettivamente caotico va aggiunto un altro elemento molto rilevante, ovvero la totale e perdurante assenza di uno standard tecnico internazionale che si occupi di fissare se non i limiti, almeno il descrittore da utilizzare per l'esposizione ad ultrasuoni e le relative modalità di misura.

Duole dirlo, ma una lacuna relativa ad un aspetto fondamentale come questo, è veramente difficile da accettare e da giustificare.

## 2.2 Il caso Polonia

Stranamente, con una inconsueta inversione dei ruoli, per l'esposizione professionale ad ultrasuoni è la legislazione a presentare gli elementi più utili. In particolare ci possiamo riferire alla legislazione polacca [10], l'unica che in tempi recenti abbia dedicato attenzione al tema dell'esposizione professionale ad ultrasuoni, per la quale essa individua due descrittori:

- uno con una base temporale lunga, più precisamente il livello equivalente nelle bande di terzo d'ottava fino a 40 KHz, normalizzato ad una giornata lavorativa della durata nominale di 8 ore, indicato con il simbolo  $L_{f,eq,8-hr}$ . In pratica si tratta dell'analogo del livello di esposizione  $L_{EX}$  che compare nella legislazione italiana sull'esposizione professionale al rumore, art. 187 del D. Lgs. 81/2008 [1]. I corrispondenti limiti di accettabilità sono fissati a 105/110/110 dB a 25/31,5/40 KHz.
- uno con una base temporale corta chiamato, con una qualche dose di indeterminazione, livello massimo di pressione ultrasonora, anch'esso in banda di terzo d'ottava, e indicato con il simbolo  $L_{f,max}$  [10]. Tale livello, alla luce di una indicazione più precisa contenuta in un lavoro del 2007 [11] può essere identificato nel livello massimo con ponderazione slow ( $L_{Smax}$ ). I corrispondenti limiti di accettabilità sono fissati a 125/130/130 dB a 25/31,5/40 KHz.

## 3. COSA, DOVE E QUANDO MISURARE?

### 3.1 Identificazione del descrittore

Considerata la strabordante prevalenza degli effetti extra-uditivi rispetto a quelli uditivi, di cui si è detto nella sezione 1, è evidente che il descrittore da utilizzare in una valutazione degli ultrasuoni non potrà che essere rappresentativo di esposizioni anche di breve durata, e pertanto va individuato nel secondo dei due descrittori menzionati nella precedente sezione 2.2 ovvero il livello massimo slow  $L_{Smax}$ . Va precisato che la quantità da confrontare con i valori limite di accettabilità è il livello massimo slow relativo all'intera esposizione. Pertanto, nel caso in cui la popolazione dei livelli rilevanti venga campionata in modo incompleto, esso va ricavato dai dati misurati con una procedura statistica inferenziale. Ciò a differenza di quanto avviene per il valore medio di una distribuzione, ad esempio quella dei livelli equivalenti, per il quale il dato ricavato su un campione finito è approssimato, ma senza bias, e quindi può essere utilizzato come miglior stima sperimentale.

### 3.2 Variabilità spaziale

Per analogia con le indicazioni fornite dalla norma tecnica UNI EN ISO 9612 [12] riguardo alle misure di rumore, le misure di ultrasuoni vanno eseguite in prossimità (10 – 40 cm) dell'orecchio più esposto del lavoratore. La posizione di quest'ultimo varia con tutta probabilità nel corso dell'esposizione. In considerazione della natura del descrittore prescelto (il valore massimo di una distribuzione), è evidente che le misure vanno eseguite nella posizione nella quale si determina il livello ultrasonoro più elevato. Il pattern di emissione degli ultrasuoni è sempre fortemente direzionale, come naturale che sia considerando il range di frequenza (20 – 100 KHz) che stiamo considerando. Di questo elemento va tenuto conto nell'individuare la posizione nella quale eseguire la misura, che non è detto sia quella più prossima alla sorgente.

### 3.3 Variabilità temporale

L'andamento nel tempo dell'emissione ultrasonora può assumere diverse caratteristiche in funzione della tipologia di sorgente considerata.

In alcuni casi l'emissione è caratterizzata da un massimo associato allo spunto iniziale che si manifesta in fase di accensione. Identifichiamo questo caso come non stazionario. I valori di  $L_{Smax}$  rilevanti sono pertanto soltanto quelli che si verificano durante tale spunto e quindi la popolazione da analizzare ha una consistenza

$$N = N_{start} \quad (1a)$$

pari al numero di accensioni. Dato che tale numero è presumibilmente piccolo, si può ragionevolmente procedere alla misura di tutti i livelli massimi slow che si verificano durante le diverse accensioni, e quindi calcolare il descrittore mediante stima diretta (sezione 4.1). Se al contrario il numero di accensioni non fosse piccolo, diventerebbe opportuno procedere mediante stima indiretta (sezione 4.2).

Nel caso opposto nel quale l'emissione avviene in modo indipendente dalla fase operativa dell'apparecchio (caso stazionario), i valori di  $L_{Smax}$  rilevanti sono raccolti casualmente nell'intero tempo di esposizione e quindi la popolazione da analizzare ha una consistenza

$$N = T_{exp}/T_{mis} \quad (1b)$$

dove

- $T_{exp}$  è il tempo complessivo di esposizione agli ultrasuoni e
- $T_{mis}$  è la durata individuale della misura.

In questo caso, dato che tale numero è presumibilmente grande, si procede mediante la stima indiretta descritta nella sezione 4.2.

## 4. STIMA DIRETTA O STIMA INDIRETTA?

### 4.1 Stima diretta

La stima diretta si ha quando la popolazione degli  $L_{Smax}$  è completamente campionata. In questo caso non c'è ovviamente bisogno di nessuna estrapolazione ed il livello cercato è semplicemente il più grande dei valori misurati. Per giunta l'incertezza da campionamento si azzerava. Il vantaggio è che è il metodo più semplice e più preciso. Lo svantaggio è che può richiedere tempi di misura anche molto lunghi.

### 4.2 Stima indiretta (statistica)

Una possibilità alternativa, e di fatto l'unica realmente praticabile nel caso in cui la popolazione degli  $L_{Smax}$  sia molto numerosa, è una stima inferenziale basata sull'estrapolazione dei valori ottenuti in misure di durata individuale breve ( $T_{mis} = 30 - 120$  s). In questo approccio gli  $M$  livelli massimi slow ottenuti nelle  $M$  misure eseguite vengono utilizzati per stimare il massimo della distribuzione dei livelli massimi slow "misurabili" durante l'intera esposizione. Il vantaggio è che i tempi di misura complessivi sono molto brevi. Lo svantaggio è che il campione è normalmente molto piccolo, e quindi l'estrapolazione richiesta può essere molto spinta, con conseguenze negative sull'incertezza.

L'equazione per stimare statisticamente il livello massimo slow dell'intera esposizione è

$$L_{Smax-stat} = L_{SM} + k\sigma_{SM} \quad (2)$$

dove

- $L_{SM}$  è la media dei livelli massimi slow misurati
- $\sigma_{SM}$  è la deviazione standard dei livelli massimi slow misurati
- $k$  è un coefficiente che dipende dalla forma della distribuzione e dal quantile  $q$  della distribuzione in cui posizionare il massimo.

Il quantile  $q$  più probabile in cui posizionare il massimo di  $N$  elementi facenti parte di una distribuzione infinita è quello per cui

$$(1-q)^N = 0,5 \quad (3)$$

[13] ovvero esiste una probabilità  $\frac{1}{2}$  che nemmeno uno degli  $N$  elementi sia maggiore del massimo. Invertendo l'equazione (3) si ottiene

$$q = 1 - 0,5^{1/N} \quad (4)$$

Assumendo che la distribuzione degli  $L_{Smax}$  sia normale, il coefficiente  $k$  vale

$$k = z(1 - q) = z(0,5^{1/N}) \quad (5)$$

dove  $z$  è la funzione cumulativa della distribuzione normale standardizzata (media = 0, deviazione standard = 1) ed  $N$  è dato dall'equazione (1b).

### 4.3 Esempio di stima diretta

Assumiamo qui un caso in cui l'esposizione è associata unicamente alla fase di accensione dell'apparecchio. L'apparecchio viene acceso 5 volte in un giorno per cui  $N = 5$ , un numero sufficientemente piccolo da far sì che tutte vengano campionate. I risultati ottenuti nelle  $M = N = 5$  misure eseguite, relativi alla banda di terzo d'ottava con i livelli più elevati, sono:

$$L_{Smax-1} = 118,5 \text{ dB}$$

$$L_{Smax-2} = 116,9 \text{ dB}$$

$$L_{Smax-3} = 121,2 \text{ dB}$$

$$L_{Smax-4} = 120,9 \text{ dB}$$

$$L_{Smax-5} = 117,5 \text{ dB}$$

da cui

$$L_{Smax-mis} = \max(L_{Smax-1} \dots L_{Smax-5}) = 121,2 \text{ dB}$$

### 4.4 Esempio di stima indiretta

Assumiamo qui un caso in cui l'esposizione avviene in modo continuo

$$T_{exp} = 1 \text{ ora} = 3600 \text{ s}$$

$$T_{mis} = 60 \text{ s}$$

da cui

$$N = 3600/60 = 60$$

$$q = 0,0115$$

$$k = 2,27$$

I risultati ottenuti nelle  $M = 3$  misure eseguite, relativi alla banda di terzo d'ottava con i livelli più elevati, sono:

$$L_{Smax-1} = 105,5 \text{ dB}$$

$$L_{Smax-2} = 104,3 \text{ dB}$$

$$L_{Smax-3} = 107,2 \text{ dB}$$

da cui

$$L_{SM} = 105,7 \text{ dB}$$

$$\sigma_{SM} = 1,46 \text{ dB}$$

$$L_{\text{Smax-stat}} = L_{\text{SM}} + k\sigma_{\text{SM}} = 109,0 \text{ dB}$$

## 5. CONSIDERAZIONI FINALI

Sul fatto che gli ultrasuoni siano realmente un agente di rischio, ho più di un dubbio. Tuttavia il fatto che la legislazione italiana li consideri tale, rappresenta una eccellente occasione per valutarne l'impatto relativamente allo sfumato mondo degli effetti extra-uditivi, più sfuggenti ma non necessariamente meno invalidanti, e che non vanno mai sottovalutati. La sconcertante e perdurante assenza di normativa tecnica ISO sul tema dell'esposizione professionale ad ultrasuoni determina un vuoto che si è fatto e si fa fatica a colmare. Questo lavoro ha l'ambizione di produrre una raccomandazione ragionata almeno su uno degli elementi lasciati in sospeso, ovvero il descrittore da utilizzare. Poi, se ce ne sarà il tempo e la volontà, procederemo a rimuovere anche gli altri ostacoli.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Lgs. 9 aprile 2008, n.81, Testo coordinato con D. Lgs. 3 agosto 2009, n.106. Aggiornamento agosto 2022, <https://www.ispettorato.gov.it/it-it/strumenti-e-servizi/Documents/TU-81-08-Ed-Agosto-2022.pdf> (ultimo accesso: 2 novembre 2022)
- [2] Allen C.H., Rudnik I., Frings H., Some biological effects of intense high frequency airborne sound, *Journal of the Acoustical Society of America* 1948; 20(1): 62-65
- [3] Davis H. Biological and psychological effects of ultrasonic, *Journal of the Acoustical Society of America* 1948; 20(5): 605-607
- [4] Smagowska B., Pawlaczyk-Łuszczynska M., Effects of Ultrasonic Noise on the Human Body - A Bibliographic Review, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 2013; 19(2): 195-202
- [5] Nishimura T., Okayasu T., Yamashita A., Hosoi H., Kitahara T., Perception Mechanism of Bone-Conducted Ultrasound and Its Clinical Use, *Audiology Research* 2021; 11: 244-253
- [6] 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* 1984; 46(4): 969-974

- [7] 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
- [8] VDI 3766:2012, Ultrasound - Workplace - Measurement, assessment, judgement and reduction, Verein Deutscher Ingenieure, Germania
- [9] The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Guide to Occupational Exposure Values, 2022
- [10] Announcement of Minister of Family, Labour and Social Policy (2018), Regulation of the Minister of Family, Labour and Social Policy of 12 June 2018 on the maximum permissible concentrations and intensities of factors harmful to health in the working environment, Journal of Laws 2018, item 1286
- [11] Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz A., Śliwińska-Kowalska M., Theoretical Predictions and Actual Hearing Threshold Levels in Workers Exposed to Ultrasonic Noise of Impulsive Character – A Pilot Study, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 2007; 13(4): 409-418
- [12] UNI EN ISO 9612:2011, Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale
- [13] Lenzuni P., Application of the Extreme Value Distribution to Estimate the Uncertainty of Peak Sound Pressure Levels at the Workplace, Annals of Occupational Hygiene 2015; 59(6): 775-787

## **ULTRASUONI NEI LUOGHI DI LAVORO: SORGENTI E STRUMENTI PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ESPOSIZIONE**

**Raffaele Mariconte (1), Claudia Giliberti (1), Rosaria Falsaperla (2), Diego Annesi (2), Andrea Bogi (3), Nicola Stacchini (3).**

(1) Laboratorio Valutazione dei rischi e degli strumenti per la tutela del lavoratore, DIT, INAIL

(2) Laboratorio rischio agenti fisici, DIMEILA, INAIL

(3) Laboratorio di Sanità Pubblica, AUSL Toscana Sud Est

### **INTRODUZIONE**

L'impiego crescente di tecnologie basate sull'utilizzo di ultrasuoni in diversi ambiti (industriale, medico, estetico, civile ecc.) comporta una potenziale esposizione sia per la popolazione che per i lavoratori a questo agente fisico. Allo stato attuale, tuttavia, non esistono né metodologie per la misurazione del rumore ultrasonico, né procedure per la valutazione del rischio che siano standardizzate e condivise a livello internazionale.

Gli ultrasuoni rientrano nel campo di applicazione del Titolo VIII del D. Lgs.81/08 [1] in quanto elencati tra gli agenti fisici nel Capo I (Articolo 180) ma, a differenza dei campi elettromagnetici, del rumore, delle vibrazioni e delle radiazioni ottiche artificiali, non possiedono un capo specifico che indichi una metodica di valutazione e le conseguenti misure di prevenzione e protezione da applicare in ambiente di lavoro. Pertanto, si fa riferimento a quanto indicato al comma 1 dell'Articolo 181 - Valutazione dei rischi, in cui è riportato che *“il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi”*. Per la valutazione del rischio ci si può quindi riferire a norme tecniche, raccomandazioni di Organismi Protezionistici, di Enti e Associazioni a livello nazionale e internazionale. Al momento, i riferimenti più rilevanti sono: il documento dell'International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (IRPA-INIRC) *“Interim guidelines on limits of human exposure to airborne ultrasound”* [2]; le linee guida Canadesi del 1991 *“Guidelines for the Safe Use of Ultrasound: Part II Industrial and Commercial Applications”* [3] a cura dell'Health Canada; il documento *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices* dell'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) [4].

Il presente lavoro descrive un possibile approccio alla misura degli ultrasuoni che si propagano in aria, emessi da alcune sorgenti presenti in ambito occupazionale e le principali misure di tutela da mettere in atto ai fini del controllo del rischio.

## **SORGENTI DI ULTRASUONI IN AMBIENTI DI LAVORO**

Gli ambiti di applicazione degli ultrasuoni possono essere suddivisi in medico, industriale, commerciale ed estetico [3, 5].

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  $100 \text{ mW/cm}^2$ , ad eccezione dei sistemi Doppler dove le intensità possono raggiungere  $1 \text{ W/cm}^2$ .

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 (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  $1000 - 10000 \text{ W/cm}^2$ .

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.

Per quanto riguarda l'ambito industriale, con riferimento alla propagazione in aria, le principali sorgenti sono costituite da: sistemi antintrusione, dissuasori per roditori, volatili, insetti, distanziometri ecc. Nei liquidi le principali sorgenti sono: sonar, doppler, misure di profondità, pulizia e lavaggio a ultrasuoni, megasonic cleaning, foratura, incisione,

emulsificazione ecc. Infine, nei solidi le applicazioni si riferiscono: a controlli non distruttivi, trafilatura, incisione, saldature di metalli e plastiche, prove a fatica ecc.

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.

La Tabella 1 [3] riporta esempi di applicazioni industriali che utilizzano ultrasuoni ad alta potenza, con indicazione delle frequenze e delle intensità tipiche di utilizzo.

La Tabella 2 [3] 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.

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

<b>Applicazione</b>	<b>Descrizione del processo</b>	<b>Frequenza [kHz]</b>	<b>Intensità [W/cm<sup>2</sup>]</b>
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 [3] 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.

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 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.

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.).

**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

## CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE PER LA MISURA DEGLI ULTRASUONI IN ARIA

A differenza delle misurazioni del livello di pressione sonora nella gamma delle frequenze udibili (effettuate con fonometri i cui requisiti sono stabiliti da consolidati standard internazionali, ad esempio la norma IEC 61672-1), la strumentazione per la misurazione del livello di pressione sonora nella gamma delle frequenze ultrasoniche, allo stato attuale, non ha standard internazionali che definiscano in maniera chiara ed univoca sia i requisiti stessi della strumentazione, che le procedure di calibrazione e le indicazioni riguardo la taratura periodica.

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

- la risposta in frequenza della catena di misura copra l'intervallo di frequenze di interesse (in genere non superiore a 100 kHz);

- la frequenza di campionamento dello strumento digitale sia almeno il doppio della massima frequenza che si vuole misurare;
- la frequenza centrale della banda di terzi di ottava più alta fra quelle disponibili nella strumentazione utilizzata sia superiore alla frequenza da misurare;
- la gamma dinamica e la linearità dello strumento siano settate in funzione della sensibilità del microfono e sufficienti per la misurazione dei reali livelli di pressione sonora.

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 di sottomultipli di ottava più strette (1/6, 1/12, 1/24 di ottava) oppure con un'analisi a larghezza di banda costante tramite FFT (Fast Fourier Transform).

I descrittori acustici che possono essere impiegati per il confronto con i criteri di valutazione sono, per ogni banda di terzo di ottava:

- il Livello equivalente di pressione sonora  $L_{eq,T}$ ;
- il Livello di esposizione giornaliera;
- il Livello massimo di pressione sonora con ponderazione temporale (Fast, Slow);
- il Livello di pressione sonora massimo (SPL).

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

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

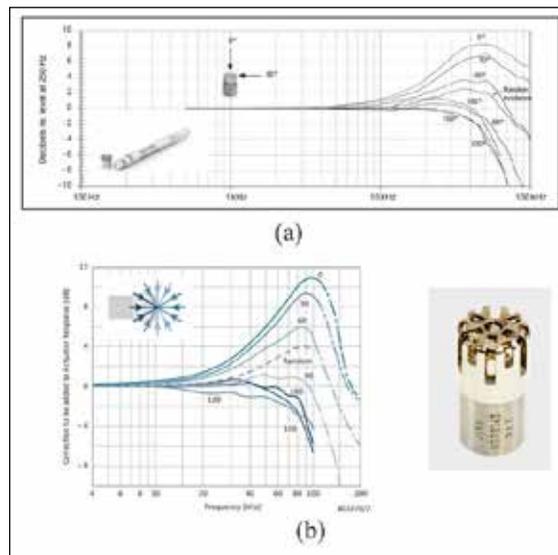
Qualsiasi verifica periodica nella gamma delle frequenze pertinenti dovrebbe includere almeno:

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

Il microfono rappresenta un elemento di particolare importanza nella catena

di misura. Tenendo in considerazione, da un lato il range di frequenze da misurare nonché dei livelli di pressione sonora minimo e massimo osservati tipicamente e dall'altro le proprietà elettroacustiche dei microfoni disponibili in commercio, la scelta ottimale ricade su microfoni per campo libero con un diametro nominale di 1/4" o 1/8" (figura 1).

Il microfono di misurazione, in combinazione con il misuratore/analizzatore, dovrebbe garantire una banda passante piatta fino alle frequenze massime di indagine (il sistema dovrebbe permettere di correggere elettronicamente la risposta in frequenza del microfono).



**Figura 1** – curve di correzione in frequenza in campo libero per vari angoli di incidenza per due microfoni tipicamente impiegati nella misura degli ultrasuoni: (a) GRAS 46BF-1 da 1/4", (b) B&K Type 4138 da 1/8"

Inoltre, l'impiego di un microfono in configurazione con griglia di protezione è possibile quando è noto l'effetto di quest'ultima sulla risposta in frequenza del microfono (gli effetti della presenza della griglia potrebbero comportare incrementi fino a 5 dB per frequenze intorno a 40 kHz [6]). 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 [6]). Tuttavia, qualora si verificasse la necessità di impiegare tale protezione, ad esempio in presenza di flussi di aria, il comportamento del microfono con tale accessorio dovrebbe essere noto. Nell'impiego di cavi di prolunga microfonica va

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

L'effetto della direttività nella gamma delle frequenze ultrasoniche, aumenta con l'aumentare della frequenza dal momento che, ad esempio, il pattern di direttività di un microfono da 1/4 di pollice, approssimativamente omnidirezionale nella gamma delle frequenze udibili, diventa direzionale per frequenze superiori a 20 kHz. Inoltre, l'effetto dipende dalla configurazione del microfono ed è decisamente più accentuato in presenza di griglia di protezione.

Il rumore intrinseco della catena di misura nelle bande di terzo d'ottava di interesse determina il limite inferiore del campo di misurazione e può influenzare i risultati delle misurazioni dei livelli di pressione, quando questi sono bassi. L'effetto del rumore intrinseco diventa non più trascurabile quando la differenza tra il livello misurato rispetto al livello di rumore intrinseco è inferiore a 10 dB.

## **METODICHE DI MISURA**

La calibrazione della catena di misura con l'uso di un calibratore acustico ed adattatore per la specifica capsula microfonica (94 -114 dB @ 1 kHz), effettuato prima e dopo le sessioni di misurazione, può essere un fattore importante per il contenimento dell'incertezza delle misurazioni del livello di pressione sonora. Infatti, la calibrazione in condizioni ambientali reali compensa in una certa misura gli effetti derivanti da variazioni di pressione statica, temperatura e umidità, purché le misurazioni non siano eccessivamente prolungate nel tempo e le condizioni ambientali non varino troppo.

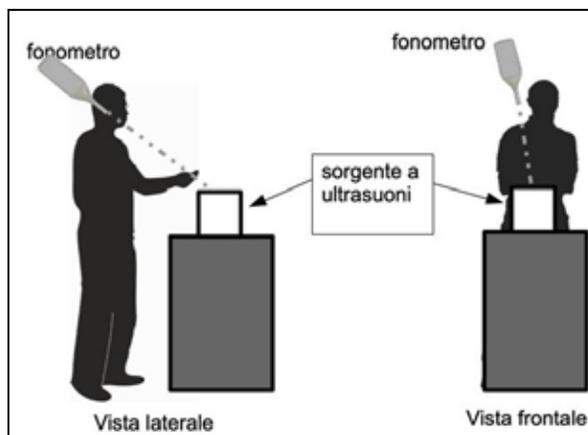
In analogia alle misure di esposizione al rumore, prima di effettuare una campagna di misura, si devono acquisire le informazioni sullo scenario espositivo, incluse le postazioni occupate e le modalità di lavoro degli operatori. Occorre quindi tener presente:

- le caratteristiche temporali dell'emissione ultrasonica (costante, fluttuante, impulsiva, ciclica, ecc.) nonché di direttività;
- le condizioni acustiche intorno alla postazione di misura, compresa la presenza di eventuali sorgenti interferenti;
- i parametri microclimatici più significativi (temperatura, umidità, pressione, velocità dell'aria, ecc.) se possono influenzare i valori

misurati e il corretto funzionamento degli strumenti utilizzati.

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

- una serie di misure intorno alla sorgente in modo da verificarne la natura e la direttività ed individuare le direzioni in cui si ha massima emissione;
- una mappatura dei livelli di esposizione nelle aree accessibili ai lavoratori al fine di identificare e segnalare eventuali zone ad accesso controllato;
- per gli operatori addetti alla specifica sorgente che stazionano nelle vicinanze della stessa durante il suo funzionamento (figura 2), al fine di quantificare il livello di esposizione, eseguire le misure in prossimità dell'orecchio maggiormente esposto, orientando il microfono verso la sorgente (entro +/- 20 gradi si ha una variazione minima dei valori misurati) e ad una distanza dall'orecchio non superiore a 10 cm (per distanze maggiori si riscontrano forti variazioni dei livelli) [7].



**Figura 2** – posizionamento del microfono rispetto al lavoratore esposto ad una sorgente ultrasonica

## ESEMPI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'EMISSIONE ULTRASONICA DI SORGENTI

Si riportano, a seguire, due esempi di caratterizzazione dell'emissione ultrasonica di un ablatore dentale e di un bagno a ultrasuoni, tipicamente impiegato nei laboratori per la pulizia di oggetti.

### **Ablatore dentale**

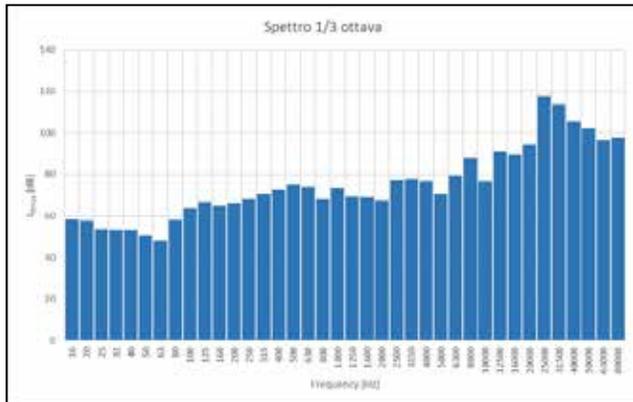
Al fine di aumentare il controllo sui parametri che potrebbero influenzare i risultati, la misurazione è stata eseguita applicando l'ablatore su un osso di animale (figura 3) che approssima, come caratteristiche meccaniche, quelle dei denti umani. Rispetto ad una condizione tipica di utilizzo su un paziente, manca l'effetto schermante della cavità orale per alcune direzioni di propagazione dell'onda ultrasonica, la condizione studiata risulta comunque conservativa. La distanza del microfono dalla sorgente è di circa 50-60 cm, che corrisponde circa alla distanza tra l'orecchio del lavoratore esposto e l'applicatore.

Nelle figure seguenti, sono riportati gli andamenti del descrittore  $L_{Smax}$  in terzi di ottava e in banda stretta, ad ampiezza di banda costante (FFT).

Dall'analisi degli spettri (figura 4), emerge che i valori di livelli massimi di pressione sonora con ponderazione temporale Slow si collocano tra le bande di terzi di ottava di 25 e 31.5 kHz e valgono rispettivamente 117.8 e 113.5 dB. Procedendo all'analisi in banda stretta (figura 5), è evidente il picco di funzionamento alla frequenza di 28.1 kHz, con valore di 108.3 dB. Nel grafico, inoltre è presente un ulteriore picco alla frequenza di circa 56 kHz, armonica della fondamentale, oltre a diversi picchi con campana molto più ampia dovuti al funzionamento del sistema.

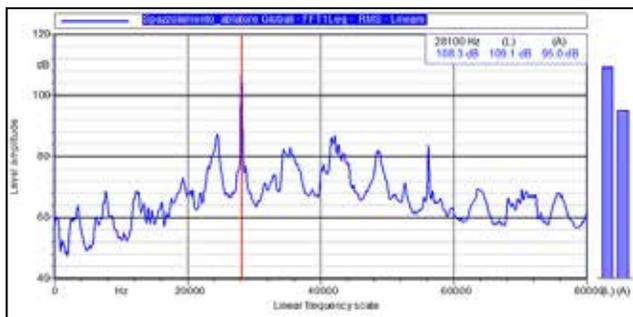


**Figura 3** – ablatore dentale in funzione a contatto con osso animale



**Figura 4**

Ablatore dentale: Spettri in 1/3 di ottava del descrittore  $L_{Smax}$



**Figura 5**

Ablatore dentale: FFT del descrittore  $L_{Smax}$

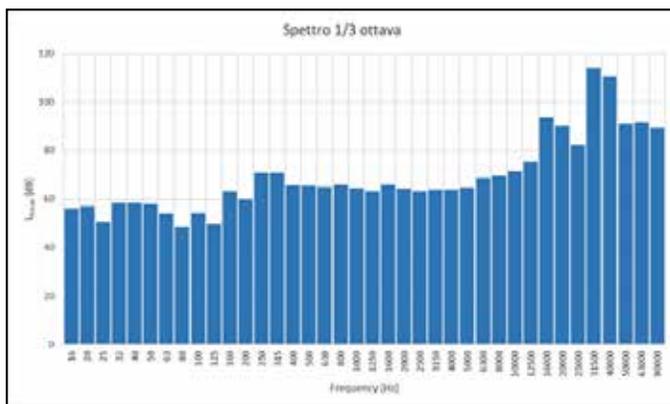
### Bagno a ultrasuoni

Il bagno ad ultrasuoni è stato caratterizzato nel laboratorio in cui è normalmente impiegato (figura 6), nelle normali condizioni di utilizzo, con e senza il coperchio protettivo. Il microfono è stato posizionato a circa 1 m dalla sorgente, all'altezza dal pavimento di circa 1.5 m, corrispondente alla posizione della testa di un operatore in fase di accensione del macchinario.



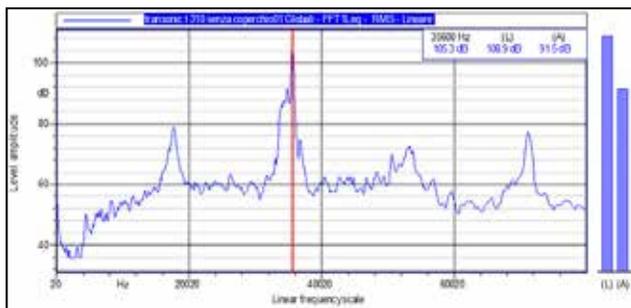
**Figura 6** – bagno ad ultrasuoni in funzione con microfono di misura

Nelle figure seguenti, sono riportati gli andamenti del descrittore  $L_{Smax}$  in terzi di ottava e in banda stretta, ad ampiezza di banda costante (FFT) nelle condizioni più gravose dal punto di vista espositivo, cioè in assenza di coperchio protettivo.



**Figura 7** – Bagno ad ultrasuoni: Spettri in 1/3 di ottava del descrittore  $L_{Smax}$

Dall'analisi degli spettri (figura 7), emerge che i valori di livello massimo di pressione sonora con ponderazione temporale Slow si collocano nelle bande di terzi di ottava di 31.5 e 40 kHz e valgono rispettivamente 113.8 e 110.5 dB.



**Figura 8** – Bagno ad ultrasuoni: FFT del descrittore  $L_{Smax}$

Procedendo all'analisi in banda stretta (figura 8), è evidente il picco di funzionamento alla frequenza di 35.6 kHz, con valore di 105.3 dB. Nel grafico è presente un ulteriore picco nel range udibile alla frequenza di circa 14 kHz, sub-armonica della fondamentale, con ampiezza di circa 78 dB.

## **MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE**

Una volta stabiliti i livelli di esposizione ai quali potrebbero essere esposti gli operatori sul luogo di lavoro, si dovranno mettere in atto specifiche misure di tutela al fine di prevenire gli effetti avversi sulla salute e la sicurezza.

In Italia non esistono limiti cogenti per quanto riguarda l'esposizione agli ultrasuoni. Tuttavia l'analisi delle linee guida internazionali e della letteratura, già citati nell'introduzione al presente lavoro, permette di stabilire, all'aumentare del livello di esposizione, i possibili effetti avversi sia uditivi che extra uditivi, che si suppone possano verificarsi.

Si ricorda che uno dei principi generali dettati dal D. lgs. 81/08 è la riduzione dell'esposizione dei lavoratori sia come numero di esposti che come livello. A tal fine, le emissioni di ultrasuoni dovranno essere eliminate alla fonte o ridotte al minimo ottenibile in base al progresso tecnologico, all'ottimizzazione delle metodiche di lavoro, alle informazioni fornite da produttore in termini di installazione, manutenzione ed utilizzo.

La segregazione della sorgente e la successiva zonizzazione con affissione di opportuna cartellonistica, rappresentano un metodo per prevenire l'esposizione degli operatori non addetti alle sorgenti ed agli ambienti ove sono presenti livelli rilevanti di ultrasuoni; questo a protezione prima di tutto dei soggetti più sensibili all'esposizione.

Ai fini della riduzione del rischio di possibili effetti uditivi sui lavoratori esposti, possono essere efficaci i DPI uditivi utilizzati per proteggere dal rumore, tenendo comunque presente che le certificazioni delle attenuazioni offerte non coprono la banda ultrasonica.

Infine, l'esposizione agli ultrasuoni pone l'obbligo della formazione e dell'informazione.

## **CONCLUSIONI**

Nonostante il numero sempre crescente di sorgenti di ultrasuoni in ambito lavorativo e non solo, non sono presenti in Italia normative cogenti che indichino i limiti di esposizione e le metodiche di valutazione.

L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di fornire una prima indicazione sui possibili criteri da seguire per il controllo del rischio da esposizione ad ultrasuoni, attraverso una panoramica sulle sorgenti presenti, sui requisiti della strumentazione di misura e sulle metodiche di misura, al fine di valutare i livelli di ultrasuoni presenti nel luogo di lavoro.

Sono, infine, indicate anche le principali misure di tutela da mettere in atto per preservare la salute e la sicurezza dei lavoratori.

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] D. Lgs. 9 aprile 2008, n.81, Testo coordinato con D. Lgs. 3 agosto 2009, n.106. Aggiornamento agosto 2022.

[2] 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.

[3] 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.

[4] The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Guide to Occupational Exposure Values, 2021.

[5] Health protection Agency (HPA): Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound. Documents of the Health Protection Agency. Radiation Chemical and Environmental Hazards RCE-14 February 2010. ISBN 978-0-85951-662-4.

[6] 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>.

[7] Radosz J. (2012), Methodology issues of ultrasonic noise exposure assessment, Noise Control Engineering Journal, 60(6): 645–654, doi: 10.3397/1.3701038.

## **EFFETTI NON UEDITIVI DEL RUMORE**

**Sergio Luzzi (1), Giulio Arcangeli (2), Francesco Asdrubali (3), Franco Cotana (4), Pietro Nataletti (5)**

- (1) Vie en.ro.se. Ingegneria, Firenze
- (2) Università di Firenze - Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica
- (3) Università Roma Tre - Dipartimento di Ingegneria Industriale, Elettronica e Meccanica
- (4) Università di Perugia - Dipartimento di Ingegneria
- (5) Inail - Dipartimento Medicina Epidemiologia Igiene del Lavoro e Ambientale

### **1 – INTRODUZIONE**

Tra i rischi fisici emergenti nei luoghi di lavoro si inseriscono gli effetti non uditivi dell'esposizione al rumore.

L'articolo 32 della Costituzione della Repubblica Italiana riconosce la tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo e interesse della collettività. La tutela della salute e la ricerca del benessere sono i principi che dovrebbero guidare chiunque si occupa a vari livelli di progettare spazi pubblici e privati, ambienti aperti e costruiti, luoghi e scenari destinati alla permanenza di persone, inclusi gli ambienti di lavoro.

La presenza di rumore negli ambienti di lavoro non è solo una possibile fonte di patologie dell'apparato uditivo ma anche potenzialmente responsabile di danni ad altri apparati e, più in generale, di condizioni psicologiche di stress e malessere percepito.

Al momento il D.Lgs. 81/2008 [1] e, più in generale, l'insieme della legislazione italiana sulla sicurezza e l'igiene dei luoghi di lavoro non comprendono espressamente la valutazione del rischio extra-uditivo. Pochi sono i riferimenti normativi e di giurisprudenza per la valutazione infortunistica e forense e per la conseguente compensazione delle malattie professionali non uditive collegate ad ambienti e attività lavorative rumorose. Molte sono, al contrario, le evidenze scientifiche significative di correlazione tra ambienti rumorosi ed effetti avversi alla salute, diversi dalle ipoacusie sulla salute dei lavoratori, che sono emerse negli ultimi anni. Sono evidenze di natura fisiologica, psicologica, neuro-comportamentale o percettiva-cognitiva.

## 2 – GLI EFFETTI NON UEDITIVI DELL’ESPOSIZIONE AL RUMORE

Le categorie che rappresentano gli effetti del rumore sulla salute sono oggetto di studio e di ridefinizione a livello scientifico e applicativo, allo scopo di andare a ricomprendere insieme alle patologie che determinano problemi funzionali dell’apparato uditivo anche problemi e patologie conseguenti alla percezione organica e multisensoriale del discomfort. Si tratta di tutti quegli aspetti percettivi che rientrano nelle categorie del disturbo da rumore e dell’*annoyance*, parametro definito dall’Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) le cui più recenti linee guida sul rumore ambientale sono state pubblicate dall’Ufficio Regionale per l’Europa nell’ottobre 2018 [2]. In questo importante rapporto dell’OMS si sostanzia, attraverso evidenze basate su dati di ricerca e di letteratura, l’importanza dell’esposizione a rumore e del relativo disturbo per la popolazione come problema di salute pubblica, non solo in termini di danni uditivi. Vi sono infatti altre evidenze fisiologiche di danno alla salute derivante da esposizione al rumore, diverse dalle ipoacusie e dagli acufeni: effetti sulla funzionalità cardiaca derivanti dall’aumento della frequenza dei battiti e della pressione arteriosa, aumento della frequenza respiratoria, disturbi dell’organo dell’equilibrio e persino dell’apparato digerente. E, ovviamente, effetti fisiologici legati allo sforzo vocale, diffusi tra chi lavora in ambienti destinati al parlato e all’ascolto con livelli elevati di rumore di fondo.

Dalla letteratura di commento alle linee guida OMS si ricavano importanti indicazioni su come e quanto l’esposizione al rumore possa sviluppare, in virtù dei meccanismi di reazione e adattamento tipici del corpo umano, effetti e disturbi non uditivi, in modo diretto e indiretto.

Gli effetti diretti sono danni strutturali alla coclea, iperattività dei nuclei uditivi centrali, interessamento di aree del sistema uditivo centrale e attivazione del sistema di allarme e dell’asse ipotalamo-ipofisi-surrene. L’esposizione a determinate tipologie ed entità di emissioni acustiche può stimolare l’iperattività nel sistema uditivo centrale. L’attivazione a lungo termine del sistema di allarme può causare disturbi dell’equilibrio ormonale e cambiamenti morfologici e funzionali nel cervello, potenzialmente alla base del meccanismo per il successivo deterioramento cognitivo indotto dal rumore e per le manifestazioni neuro-comportamentali. Le linee guida OMS parlano in modo esplicito di possibili conseguenze dirette dell’esposizione al rumore sulla gravidanza e sulla nascita e di una potenziale comparsa di malattie metaboliche come diabete ed obesità.

Indirettamente il rumore agisce poi interferendo con la capacità di udire chiaramente i suoni, in particolare riducendo l’intelligibilità del parlato a causa della permanenza eccessiva delle componenti riverberate o agendo con

azioni distraenti che rendono difficile la comprensione dei messaggi e sgradevole l'ascolto. Inoltre, il maggiore sforzo di interpretazione necessario per compensare questo disagio provoca tensione e affaticamento psicologico nei soggetti esposti, portando a modificazioni comportamentali inconsce.

Di queste evidenze e delle conseguenze patologiche non si trova traccia nella legislazione vigente che regola i sistemi di gestione della sicurezza e le metodologie di valutazione dei rischi in ambito occupazionale, incluse la stesura dei relativi documenti e la progettazione delle bonifiche e delle soluzioni di mitigazione acustica.

Anche nel Portale degli Agenti Fisici [3], strumento sempre aggiornato di supporto per la valutazione dei rischi da agenti fisici, si dà evidenza al fatto che non ci sono riferimenti legislativi a metodologie di valutazione dell'esposizione che può produrre effetti e danni extra-uditivi e, pur rimandando al manuale operativo prodotto da INAIL nel 2013 [4] riguardante le buone pratiche per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro, testualmente si afferma che il D.Lgs. 81/08 non contiene criteri valutativi specifici per la prevenzione degli effetti extra-uditivi.

Il Portale contiene però una buona descrizione di tali effetti e danni, distinguendo gli effetti fisiologici e quelli psico-comportamentali. E fornisce definizioni utili per la comprensione dell'importanza di questi fattori di rischio.

Riportando in rapida sintesi quanto derivabile, oltre che dal Portale, da ampia e consolidata letteratura, si può dire che gli effetti fisiologici non uditivi principali sono generati dall'interferenza del rumore con le attività mentali che richiedono attenzione e concentrazione e generano a loro volta ricadute sulla salute quali l'insorgenza di problemi fisiologici e psico-comportamentali. A questi si aggiungono gli effetti cognitivi sull'apprendimento e gli effetti di disturbo del riposo e del sonno. L'importanza degli effetti non uditivi risulta ancora più evidente se li si considerano nell'ottica della promozione della salute, ovvero di quella disciplina che tratta delle correlazioni tra rischi occupazionali e abitudini di vita.

Riprendendo in modo sistematico quanto sopra esposto si può giungere a una possibile catalogazione degli effetti non uditivi, distinguendo cinque categorie.

Alla categoria degli EFFETTI FISIologici appartengono l'interferenza del rumore con la capacità di attenzione, la memoria ed abilità nell'affrontare problemi complessi.

Fra le strategie di adattamento si segnalano l'aumento della pressione arteriosa, elevati livelli ematici degli ormoni legati allo stress, indebolimento difese immunitarie, problemi gastrointestinali e, primi fra tutti, problemi cardiovascolari con ipertensione e incremento del rischio di infarto.

Esiste ampia e documentata evidenza in letteratura della relazione tra esposizione a rumore ed insorgenza della cardiopatia ischemica e dell'ipertensione, a partire da livelli espositivi giornalieri compresi fra 65 e 70 dB(A) di  $L_{Aeq}$ , quindi ben inferiori al livello inferiore di azione previsto dal D.Lgs. 81/2008 [5].

Gli effetti extrauditivi dell'esposizione al rumore possono produrre malattie attraverso meccanismi lenti, che si manifestano dopo mesi o anni, e questi sono quelli più studiati. Vi sono però anche effetti extrauditivi acuti da esposizione al rumore che possono essere molto gravi, anche mortali. Lo studio degli effetti acuti merita grande attenzione e sono auspicabili nuove e diffuse ricerche epidemiologiche e cliniche.

Nella panoramica sugli effetti non uditivi dell'esposizione al rumore si dovrebbero quindi includere anche particolari effetti acuti che sono di competenza dei dipartimenti di emergenza. Per quanto anche in questo ambito siano state storicamente considerate solo le gravi lesioni timpaniche e delle strutture dell'orecchio interno in caso di traumi da onda sonora, negli ultimi anni alcuni studi hanno iniziato ad affrontare in modo sistematico i contesti che hanno originato rischi da esposizione, complicati da eventi acuti: questi sono prevalentemente quelli aeroportuali, il traffico cittadino, alcuni luoghi di lavoro del manifatturiero, la cantieristica [6].

Alla categoria degli EFFETTI SULLA COMUNICAZIONE appartiene l'Interferenza del rumore con la capacità di concentrazione e di memoria, nonché sul livello di intelligibilità dei suoni (il parlato di un oratore, i segnali di avvertimento o allarme). Negli ambienti caratterizzati da alti livelli di rumore di fondo, la necessità di farsi intendere fa alzare la voce, incrementando conseguentemente il rumore di fondo (effetto Lombard) e può indurre comportamenti aggressivi come effetto estremo della progressione. Negli ambienti lavorativi destinati al parlato e all'ascolto, o dove è importante la ricezione chiara e tempestiva di avvertimenti sonori, il livello equivalente  $L_{Aeq}$  del rumore di fondo dovrebbe essere di almeno 10 dB(A) più basso rispetto al livello della voce del parlatore o del segnale da udire [7].

In questo contesto è possibile trovare, fra i parametri di valutazione previsti dal D.Lgs.81/2008, un punto di contatto generale con gli effetti extrauditivi, in particolare sulla riduzione dell'intelligibilità: il Decreto richiede infatti che nel processo valutativo dei rischi vengano prese in considerazione anche le eventuali interazioni fra rumore e segnali di avvertimento, riconoscendo che livelli di rumore di fondo elevati potrebbero causare problematiche di udibilità dei segnali e, di conseguenza, costituire un potenziale pericolo per la sicurezza dei lavoratori, da considerare nella valutazione dei rischi.

Un altro potenziale effetto non uditivo da prendere in considerazione nel processo valutativo dell'esposizione al rumore è quello legato alla valutazione dell'efficacia degli otoprotettori: il potenziale fenomeno

dell'iperprotezione, infatti, riguarda quei possibili effetti sulla sicurezza dei lavoratori derivante da un eccessivo isolamento provocato proprio dai DPI-udito indossati, che può portare quindi a non recepire segnali fondamentali come quelli di avvertimento, di allarme, o anche le comunicazioni e gli avvertimenti dei colleghi.

Alla categoria degli EFFETTI SULL'APPRENDIMENTO appartengono i deficit nella capacità di concentrazione e lo stress psico-fisico, nonché gli effetti negativi sulle abilità nella lettura e nella lingua parlata [8].

A queste categorie si aggiungono quelle degli EFFETTI SUL RIPOSO E SUL SONNO e degli EFFETTI PSICOLOGICI E COMPORTAMENTALI. Le prime comprendono tutti gli aspetti della correlazione tra esposizione al rumore e disturbi del sonno: difficoltà ad addormentarsi, riduzione della fase di sonno profondo, aumento dei risvegli ed effetti avversi dopo il risveglio, come affaticamento e deficit delle prestazioni. Le seconde riguardano gli aspetti di *annoyance* e malessere causati dal rumore: il rumore elevato induce stress e incrementa la possibilità di comportamenti aggressivi su soggetti predisposti e riduzione dei riflessi istintivi in risposta a situazioni di pericolo, con potenziali ricadute in termini di sicurezza.

In molti ambiti lavorativi la combinazione di questi effetti riduce in modo decisivo la sicurezza e, in caso di operatori di servizi, anche la qualità delle prestazioni. In ambito sanitario, ad esempio, gli effetti sulla comunicazione, sull'apprendimento, sul riposo e sul sonno, sul malessere in genere, possono avere ripercussioni sulla efficacia operativa degli operatori sanitari, rappresentando un complesso multifattoriale che può aumentare il rischio clinico, il peggioramento dei rapporti operatore sanitario/paziente, aumento del rischio di burn-out, soprattutto in settori difficili come i Dipartimenti di Emergenza, le Terapie Intensive, le Sale Operatorie [9].

Anche la problematica dell'esposizione al rumore dei lavoratori nei locali destinati alle pause lavorative (mense, locali di riposo) esistenti all'interno degli ambienti di lavoro è compresa fra gli aspetti da prendere in considerazione nel processo valutativo previsto dal D.Lgs. 81/2008: i livelli adeguati di comfort acustico che tali locali devono assicurare ai fini della prevenzione di effetti extra uditivi possono essere desunti dalle leggi e dalle norme di buona tecnica in materia di acustica edilizia e architettonica (es. requisiti acustici degli edifici) e dalla normativa a tutela della popolazione in generale.

### **3 – IL PROGETTO BRIC INAIL 2019-ID 14**

Tra le indagini presenti in letteratura, nei diversi scenari occupazionali, gli ambienti scolastici risultano particolarmente critici e rivestono particolare interesse per gli aspetti medico-sanitari e di corretta progettazione acustica

edilizia e architettonica che potrebbero portare a una revisione della normativa [10] [11].

Spesso le attività didattiche si svolgono in aule con proprietà acustiche non adeguate, dove il rumore di fondo è elevato e presenta caratteristiche spettrali sfavorevoli. La presenza di rumore sembra incidere in maniera significativa sul comportamento degli allievi delle scuole dell'infanzia così come di quelli delle scuole primarie e secondarie e in modo analogamente significativo sulle reazioni dei docenti messe in atto per condurre le classi al silenzio o moderare le intemperanze tipiche dell'età evolutiva [12].

Il progetto BRIC 2019 - ID14 ha permesso di indagare in modo sistematico gli effetti extra-uditivi da esposizione al rumore in ambito scolastico, a partire da una valutazione oggettiva e soggettiva (strumentale e percepita) del clima acustico e dell'*annoyance* provocata dagli elevati livelli di rumore a cui sono sottoposti docenti e studenti.

Oltre a un'ampia serie di rilevazioni fonometriche e valutazioni dei parametri dell'acustica ambientale e architettonica, tra le attività di indagine, sono stati predisposti e somministrati tre diversi questionari, destinati ai fruitori degli ambienti (insegnanti e allievi) e volti a indagare la percezione acustica degli ambienti in cui si svolgono le attività didattiche.

Un campione costituito da nove scuole situate nelle città di Firenze, Perugia e Roma, selezionate con criteri di massima rappresentatività dell'universo nazionale dell'edilizia scolastica hanno costituito la base applicativa della ricerca. Le scuole appartengono a tre ordini diversi (tre scuole dell'infanzia, tre scuole primarie e tre secondarie) e le indagini hanno coinvolto docenti di varie materie e studenti di varie età, dai 3 ai 18 anni.

Nelle nove scuole si è proceduto all'implementazione di un protocollo di indagine, definito come azione propedeutica all'interno del progetto.

Come criteri di selezione dei casi studio, sono stati considerati il contesto urbano in cui si trova l'edificio scolastico, il clima acustico esterno, l'età di costruzione, la tipologia di edificio e di costruzione, la presenza di misure di mitigazione acustica esterna e interna, e la presenza degli scenari di indagine individuati nel protocollo. Sono state considerate sette tipologie di scenari didattici per ciascuna scuola: aula scolastica, laboratorio, auditorium/sala polivalente, palestra, area comune, refettorio e spazio esterno.

Il protocollo ha permesso di misurare e calcolare in modo omogeneo e confrontabile i parametri acustici più appropriati per valutare le caratteristiche acustiche delle diverse tipologie di ambienti scolastici, vuoti e occupati, e i livelli di sforzo vocale degli insegnanti.

I valori dei parametri misurati e calcolati sono stati correlati con le valutazioni soggettive della qualità degli spazi, effettuate attraverso la somministrazione dei citati questionari a studenti e insegnanti, con domande incentrate sulla percezione del comfort acustico e sulla indicazione delle sorgenti considerate più fastidiose e sullo sforzo vocale necessario per lo svolgimento dell'attività didattica.

#### **4 - LE LINEE GUIDA PER LA PREVENZIONE DEGLI EFFETTI NON UDITIVI**

Nell'ambito dei risultati e dei prodotti del progetto Bric INAIL 2019-ID 14 una posizione di rilievo è occupata dalla predisposizione di nuove linee guida per la prevenzione degli effetti extra-uditivi che contengono in modo sistematico e ragionato l'elenco degli strumenti, delle metodologie e delle indicazioni operative derivanti dall'implementazione del progetto e dalla sperimentazione nei casi studio.

Seguendo lo schema di implementazione del progetto, si è creato uno schema di corrispondenza diretta dei capitoli e dei paragrafi delle linee guida con gli obiettivi e le attività del progetto.

La prima parte del manoscritto destinato a diventare il volume delle linee guida inizia con la presentazione generale e l'introduzione al problema dei danni extra-uditivi da esposizione al rumore: essa contiene la definizione di *annoyance*, come introdotta dall'OMS e la sua declinazione in ambito di rumore occupazionale e con cenni di metrologia acustica finalizzata all'accertamento dei livelli di *annoyance* in ambito lavorativo.

Vengono poi esplorate le evidenze di correlazione tra rumore ed effetti non uditivi sulla salute, attraverso un lavoro di rassegna comprendente la raccolta e catalogazione delle evidenze presenti nella letteratura scientifica per quanto prodotto dalla ricerca su animali ed esseri umani e nella giurisprudenza relativa ad effetti di disturbo in ambito civile e di diritto del lavoro.

Si considerano poi le sorgenti acustiche e gli scenari di rumore complessi che determinano patologie extra-uditivie da esposizione al rumore e si conclude la prima parte con la disamina dei conseguenti danni alla salute di natura fisiologica, psicologica, psichiatrica e neurocomportamentale.

La seconda parte delle linee guida è dedicata all'ambito di prima applicazione della ricerca: le aule e gli altri ambienti scolastici.

A partire da una accurata analisi acustica dei plessi scolastici campione, si descrivono la metodologia di selezione degli spazi e di effettuazione delle rilevazioni, considerando la misura e valutazione del clima acustico e delle altre caratteristiche che determinano la qualità acustica degli ambienti destinati allo studio e alla permanenza di allievi e insegnanti, considerando una serie di parametri fonometrici e non, di cui si riportano i risultati in forma organica e comparata.

Pur considerando le peculiarità di alcuni spazi, modificati durante l'implementazione del progetto a causa delle restrizioni sanitarie messe in atto durante il periodo della pandemia, si sono comunque raccolti e riportati nelle linee guida i risultati di una serie di campagne di misura effettuate nelle varie scuole oggetto di sperimentazione sul campo. Si tratta di misure del

clima acustico esterno agli edifici e di misure ad aule occupate e non occupate dei parametri principali dell'acustica architettonica, associati alle caratteristiche geometriche e di destinazione d'uso delle aule e degli altri ambienti indagati nelle scuole. A queste campagne se ne sono aggiunte altre con misure e valutazioni dello sforzo vocale degli insegnanti e infine, per valutare la percezione del disturbo da rumore così come l'impatto sulle reazioni psico-comportamentali si sono effettuati test e somministrati questionari sulla comprensione verbale e sulla percezione soggettiva dell'ambiente sonoro nei diversi ambienti.

La terza parte delle linee guida è dedicata alla descrizione delle strategie e delle possibili soluzioni da adottare per progettare nuovi ambienti di lavoro e correggere acusticamente quelli esistenti allo scopo di ridurre il rischio di possibili danni extra-uditivi per i lavoratori e i frequentatori degli ambienti (anche in questo caso si è fatto particolare riferimento all'ambito primario di ricerca rappresentato dagli ambienti scolastici e dalle tipologie di ambienti selezionate e modellate come casi studio).

In pratica si è cercato di definire una prima bozza di possibili strategie e metodiche di valutazione del rischio di effetti extra-uditivi che potrebbe essere la base per un aggiornamento normativo, andando a compensare la carenza di riferimenti di cui si è già detto, integrando i disposti legislativi esistenti, riferiti principalmente, se non esclusivamente, alla valutazione del rischio di tipo uditivo.

In appositi punti delle linee guida, corrispondenti ad attività svolte da specifici gruppi di lavoro, si tratta della valutazione del livello di discomfort percepito e della correlazione con il clima acustico e della valutazione dei rischi di patologie ed effetti neuro-comportamentali a partire dalla misura della qualità acustica.

Si considerano le correlazioni e i rapporti causa-effetto fra qualità acustica e performance percettivo-cognitiva, fra qualità acustica e sforzo vocale, fra qualità acustica e altre patologie di natura fisiologica, sempre nell'ottica di fornire indicazioni per la progettazione acustica di nuovi spazi didattici e correzione acustica di spazi didattici esistenti.

Nell'ultima parte delle linee guida si considera una serie di interventi non-tecnici di miglioramento organizzativo e procedurale per ridurre l'esposizione al rumore, anche considerando gli aspetti di promozione della salute che possono essere integrati nelle strategie e metodi per la prevenzione del rischio rumore.

Anche a integrazione di quanto contenuto nelle *Linee Guida per la corretta progettazione acustica degli ambienti di lavoro*, frutto di un precedente progetto Bric, pubblicate da INAIL nel 2021 [13], i capitoli conclusivi delle *Linee Guida per la prevenzione degli effetti non uditivi* contengono quindi una raccolta di indicazioni progettuali per la progettazione e correzione acustica spazi didattici e ricreativi acusticamente confortevoli, aventi

caratteristiche progettuali orientate al miglioramento delle prestazioni cognitive e alla prevenzione dei danni fisiologici e dei disturbi comportamentali.

Nella tabella 1 è riportato l'indice delle Linee Guida, che rappresenta lo schema di corrispondenza tra il manoscritto e le azioni del progetto.

## **5 - CONCLUSIONI**

Il rumore produce impatti negativi sulla salute e sul benessere delle persone mediante effetti patologici uditivi ed extra-uditivi, che interessano l'organo dell'udito e altri organi ed apparati. Per questo è giusto e necessario che le politiche di prevenzione considerino, o meglio riconsiderino, anche il rumore fra i rischi fisici emergenti.

Il progetto Bric INAIL 2019-ID 14 ha visto impegnate dal 2020 al 2022 cinque università italiane nell'ambizioso lavoro di ricerca su come contesti acustici non adeguati possano comportare una serie di patologie non uditive come la compromissione delle abilità cognitive, lo sforzo associato al parlato e all'ascolto, l'insorgere di affaticamento e conseguenze patologiche o comportamentali in allievi e insegnanti delle scuole di ogni ordine e grado.

In questa memoria si sono presentati in modo estremamente sintetico gli obiettivi del progetto, le azioni che hanno caratterizzato la sua implementazione, riportate attraverso, uno schema di corrispondenza puntuale nel manoscritto delle linee guida per la prevenzione degli effetti non uditivi da esposizione al rumore, che costituiranno uno dei prodotti principali del progetto.

Per i risultati della ricerca e della sperimentazione nei casi studio utilizzati per l'implementazione e validazione del progetto si rimanda a quello che sarà il testo definitivo delle linee guida per la prevenzione degli effetti non uditivi che sono in via di elaborazione e che saranno pubblicate da INAIL successivamente alla conclusione del progetto prevista per la fine del 2022.

La produzione e diffusione delle linee guida, nell'auspicio e nelle intenzioni dei partner del progetto, potrebbe generare una serie di implicazioni positive, volte a colmare le lacune di riferimenti derivanti dalla mancante o non completa considerazione del problema a livello legislativo, normativo e giuridico.

## **RINGRAZIAMENTI**

I partner del progetto Bric INAIL 2019-ID 14 sono grati a Inail per aver finanziato il progetto e per l'importante supporto tecnico e la collaborazione scientifica che hanno caratterizzato la sua implementazione.

*Tabella 1 – Indice del volume contenente le linee guida per la prevenzione degli effetti non uditivi da esposizione al rumore*

<b>CAPITOLO 1. I danni extra-uditivi da esposizione al rumore.</b>
1.1. Introduzione (definizione di annoyance, rumore occupazionale, metrologia acustica finalizzata all'accertamento in ambito scolastico e non, ...)
1.2. Evidenze di correlazione tra rumore ed effetti non uditivi sulla salute
<i>1.2.1 Raccolta e catalogazione delle evidenze in letteratura scientifica</i>
<i>1.2.2 Raccolta delle evidenze in ambito forense</i>
1.3. Sorgenti acustiche e scenari di rumore complessi
1.4. Patologie extra-uditiva da rumore
<i>1.4.1 Danni di natura fisiologica (sistema cardo-circolatorio, endocrino<sub>7</sub>)</i>
<i>1.4.2 Danni di natura fisiologica (sforzo vocale)</i>
<i>1.4.3 Danni di natura psicologica e psichiatrica</i>
<i>1.4.4 Effetti neuro-comportamentali dell'esposizione al rumore</i>
<b>CAPITOLO 2. Analisi acustica dei contesti scolastici</b>
2.1. Misura e valutazione della qualità acustica degli ambienti scolastici
<i>2.1.1 Misure ad ambienti non occupati</i>
<i>2.1.2 Misure ad ambienti occupati</i>
<i>2.1.3 Misure del clima acustico esterno e valutazioni del paesaggio sonoro</i>
<i>2.1.4 Indagini sulla percezione soggettiva</i>
<i>2.1.5 Casi studio</i>
2.2. Parametri acustici e caratteristiche delle aule scolastiche
2.3. Misura e valutazione dello sforzo vocale degli insegnanti
2.4. Acustica e impatto sulle reazioni psico-comportamentali
2.5. Test e questionari su comprensione verbale e percezione dell'ambiente sonoro
<b>CAPITOLO 3. Strategie e soluzioni per avere ambienti di lavoro a basso rischio di danni extra-uditivi (con particolare riferimento agli ambienti scolastici).</b>
3.1 Valutazione del rischio di effetti extra-uditivi - Strategie e metodi
<i>3.1.1. Valutazione del livello di discomfort percepito e della correlazione con il clima acustico</i>
<i>3.1.2. Valutazione dei rischi di patologie ed effetti neuro-</i>

<i>comportamentali a partire dalla misura della qualità acustica.</i>
<i>3.1.3. Valutazione del legame tra clima acustico e performance percettivo-cognitiva</i>
<i>3.1.4. Valutazione del legame tra clima acustico e sforzo vocale.</i>
<i>3.1.5. Valutazione del legame tra clima acustico e altre patologie di natura fisiologica</i>
3.2 Progettazione acustica di nuovi spazi didattici e correzione acustica di spazi didattici esistenti
<i>3.2.1. Indicazioni progettuali per spazi didattici e ricreativi acusticamente confortevoli</i>
<i>3.2.2. Caratteristiche progettuali per migliorare le prestazioni cognitive</i>
<i>3.2.3. Caratteristiche progettuali per prevenire danni fisiologici e disturbi comportamentali</i>
3.3. Interventi di miglioramento organizzativo e procedurale per ridurre l'esposizione al rumore
3.4 Promozione della salute, strategie e metodi per la prevenzione del rischio rumore

## BIBLIOGRAFIA

- [1] D.Lgs. 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 e sue successive modifiche e integrazioni.  
*www.ispettorato.gov.it/it-it/strumenti-e-servizi/Documents/TU-81-08-Ed.-Agosto-2022.pdf.*
- [2] World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region.  
*www.who.int/europe/publications/i/item/97892890535632018*
- [3] Portale degli agenti fisici *www.portaleagentifisici.it.*
- [4] INAIL, Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro (2013).  
*www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/catalogo-generale/metodologie-interventi-tecnici-per-riduzione-rumore.html.*
- [5] Basner M. et al., Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet*, 383, 1325–1332 (2014).
- [6] Haralabidis A. et al., Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports, *European Heart Journal*, 29/5, 658–664 (2008)
- [7] Hotchkin C, Parks S., The Lombard effect and other noise-induced vocal modifications: insight from mammalian communication systems, *Biological Review* 8, 809-824 (2013).
- [8] Billings, M.E. et al., Physical and social environment relationship with sleep health and disorders. *Chest*, 157, 1304–1312 (2020).
- [9] Luzzi, S. Falchi S., "Noise pollution in a general hospital", *Canadian Acoustic*, 30/3 (2002).
- [10] Stansfeld S., Clark C., Effetti sulla salute dell'esposizione al rumore nei bambini, *Curr. Environ. Rep Salute*, 2/2015, 171-178 (2015).
- [11] Carta M. et al., Coping with the new era: noise and light pollution, hyperactivity and steroid hormones towards an evolutionary view of bipolar disorders. *Clin. Pract. Epidemiol. Ment. Heal.*, 14, 33–36 (2018).
- [12] McCreery R. et al., Auditory, cognitive, and linguistic factors predict speech recognition in adverse listening conditions for children with hearing loss. *Front. Neurosci.*, 1093 (2019).
- [13] Inail, Corretta Progettazione acustica di ambienti di lavoro industriali e non – Manuale Operativo (2021).  
*www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/catalogo-generale/pubbl-corretta-progettazione-acustica-ambienti-lav-industr.html*
- [14] G. Arcangeli et al., Ricerca e catalogazione delle tipologie di danno extra-uditivo da esposizione al rumore”, Atti del XXI Congresso Ciriap (2021).

- [15] F. Asdrubali et al., Scelta e catalogazione degli scenari di indagine e indicazioni operative per l'analisi acustica degli ambienti scolastici possibili sedi di danno extra-uditivo da esposizione al rumore, Atti del XXI Congresso Ciriad (2021).
- [16] N. Mucci et. al., Neurobehavioral alterations in occupational noise exposure: a systematic review, *Sustainability*, 13/2021.
- [17] F. Cotana et al., Il progetto BRIC INAIL 2019 - ID 14: ricerca, analisi e correlazioni tra danni extra-uditivi ed esposizione al rumore in ambito scolastico, Atti del 47° Convegno Nazionale AIA (2021).
- [18] G. Arcangeli et. al., Neurobehavioral alterations from noise exposure in animals: a systematic review, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18/2021
- [19] F. Cotana et al., Il progetto BRiC INAIL 2019 ID 14 sui danni extra-uditivi da esposizione al rumore in ambiente scolastico, 37° Congresso Nazionale AIDII (2021).
- [20] R. Fusi et al., Non-auditory effects of exposure to noise in the workplace, *Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 01/2022.
- [21] S. Luzzi et al., Esposizione al rumore in ambito scolastico: effetti extra-uditivi emersi dalla somministrazione di questionari a docenti e studenti, Atti del 48° Convegno Nazionale AIA (2022).
- [22] C. Guattari et al., Effetti extrauditivi dell'esposizione al rumore nelle scuole italiane: livelli di rumore ad ambienti occupati, 37° Congresso Nazionale AIDII (2022).
- [23] S. Luzzi et al., Extra-Auditory Effects from Noise Exposure in Italian Schools, *Proceedings of ICA Congress* (2022).



## **APPROCCIO METODOLOGICO GENERALE PER LA PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI NEL CASO DELLE INDUSTRIE CON PRESENZA DI NORM**

**Rosabianca Trevisi(1), Andrea Bogi(2), Silvia Bucci(3), Elena Caldognetto(4), Giuseppe La Verde(5), Laura Luzzi(6), Federica Leonardi(1), Cristina Nuccetelli(7), Ilaria Peroni(3), Francesco Picciolo(2), Gabriele Pratesi(3), Flavio Trotti(4), Raffaella Ugolini(4), Gennaro Venoso(1), Mariagabriella Pugliese(5)**

- 1) Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del lavoro e Ambientale – INAIL, Monte Porzio Catone (RM), Italia
- 2) Servizio Sanitario della Toscana, Unità Sanitaria Toscana Sud-Est, Siena, Italia
- 3) Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT), Firenze, Italia
- 4) Agenzia regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV), Verona, Italia
- 5) Dipartimento di Fisica “E. Pancini” Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia
- 6) Dip. Ing. Astron. Elett.Energ. (DIAEE), Università degli Studi di Roma “Sapienza”, Roma, Italia
- 7) Centro Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale, Istituto Superiore di Sanità, Roma, Italia

## **INTRODUZIONE**

Con il recepimento della Direttiva del Consiglio 59/2013/EURATOM [1], il sistema regolatorio italiano in materia di radioprotezione (D.Lgs. 101/2020, [2]) ha introdotto nuovi obblighi per gli esercenti di diversi settori industriali con presenza di “NORM”, ove l’acronimo NORM sta per *Naturally Occurring Radioactive Materials*.

In questo articolo si farà riferimento ai risultati di un progetto di ricerca che, a partire dal 2019, INAIL ha avviato per sviluppare strumenti tecnico-operativi, formativi e informativi e soprattutto una metodologia di lavoro utile all’applicazione delle disposizioni di legge in materia di radioprotezione da parte degli *stakeholders*, che sono *in primis* gli esercenti delle *Industrie con presenza di NORM*.

Come già descritto in [3], questo progetto ad oggi si è realizzato attraverso molte attività, portate avanti grazie al contributo di un gruppo di lavoro costituito dai colleghi di ARPAT, ARPAV, ISS, Università di Napoli

Federico II<sub>5</sub> e Laboratorio di Sanità Pubblica della USL Toscana Sud Est. Prima di entrare nel merito dei risultati del progetto di ricerca, è di seguito riportato un breve cenno agli aspetti normativi.

## CENNI SULLA NORMATIVA ITALIANA

Nel nuovo quadro legislativo [2], le *industrie con presenza di NORM* sono classificate come “pratiche”, ovvero “situazioni di esposizione pianificata”, quindi come “situazioni per le quali la radioprotezione può essere pianificata in anticipo, prima che le esposizioni abbiano luogo, e per le quali l’entità delle esposizioni può essere ragionevolmente prevista”.

Per la gestione della radioprotezione, la norma introduce come strumenti operativi i *livelli di esenzione* ed i *livelli di allontanamento*. Analogamente alla direttiva europea, i *livelli di esenzione* si definiscono su due diversi livelli, uno in termini di concentrazione di attività ed uno in termini di dose efficace, sia in relazione ai lavoratori che ai membri del pubblico. Per quello che riguarda i livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività, questi sono sia generali che specifici e si applicano alle matrici solide, quali le materie prime, prodotti intermedi e residui (vedi la definizione n.120 del decreto). Le tabelle 1 e 2 riassumono, rispettivamente, i livelli di esenzione generali e specifici definiti in termini di concentrazione di attività, mentre la tabella 3 riporta i livelli di esenzione in termini di dose.

*I livelli di allontanamento hanno gli stessi valori dei livelli di esenzione.*

Tabella 1. Livelli di esenzione generali

Serie di U-238 e serie Th-232 equilibrio secolare per tutta la serie	Tutti i radionuclidi	1 kBq/kg
Serie di U-238 e serie Th-232 non in equilibrio secolare	Tutti i radionuclidi, tranne Pb-210 e Po-210	1 kBq/kg
	Pb-210 e Po-210	5 kBq/kg
K-40		10 kBq/kg

Tabella 2. Livelli di esenzione specifici per situazioni particolari

Situazioni particolari	Radionuclidi	Livello di esenzione
Fanghi petroliferi	U-nat, Th-230, Th-232, Pb-210, Po-210	100 kBq/kg
	Ra-228	10 kBq/kg
	Per tutti gli altri radionuclidi delle serie di U-238 e Th-232	5 kBq/kg
	K-40	50 kBq/kg
Smaltimento in discarica o riutilizzo per la costruzione di strade	Serie di U-238 e serie di Th-232	0,5 kBq/kg
	Pb-210; Po-210	2.5 kBq/kg
	K-40	5 kBq/kg
Incenerimento	Valutazione della dose efficace alla popolazione	

Tabella 3. Livelli di esenzione in termini di dose

Livello di esenzione per i lavoratori	1 mSv/anno
Livello di esenzione per i membri del pubblico	0,3 mSv/anno

Una pratica con presenza di NORM si considera “esente” dall’obbligo di notifica quando non sono superati entrambi i livelli di esenzione in termini di dose efficace.

Analizzando la Tabella II-1 dell’Allegato II del D.Lgs 101/2020, è evidente che gli obblighi di legge si applicano a settori industriali con presenza di NORM molto diversi tra loro. Per tale ragione si è ritenuto utile sviluppare un approccio metodologico generale seguito da una serie di applicazioni a casi specifici.

L’esperienza sinora maturata ha evidenziato che il testo del decreto presenta difficoltà nella interpretazione e nella sua applicazione soprattutto dal punto di vista scientifico/metodologico.

Per tale ragione, anche sulla base dei risultati del nuovo censimento delle Industrie con presenza di NORM, i cui dati aggiornati sono descritti in [4], la metodologia generale è stata applicata ai settori industriali di seguito elencati:

- produzione di cemento
- industria dello zirconio e dello zirconio
- produzione di energia geotermica
- produzione del pigmento TiO<sub>2</sub>

## APPROCCIO METODOLOGICO GENERALE PER APPLICARE IL TITOLO IV D.LGS.101/2020 PER SETTORI INDUSTRIALI NORM

Il D.lgs.101/2020, all'art.22 riporta le disposizioni per l'esercente delle industrie con presenza di NORM. Sulla base di precedenti studi, nonché di nuovi approfondimenti, analisi, visite in industrie NORM e interazioni con gli esercenti, è stato sviluppato un approccio metodologico di ausilio agli *stakeholders*, ove per *stakeholders* – oltre agli esercenti delle industrie con presenza di NORM, si considerano anche gli esperti di radioprotezione, le figure tecniche coinvolte nelle fasi di controllo, ecc.

Una metodologia generale deve dare risposta ad alcuni quesiti fondamentali per l'applicazione della legge. In particolare:

- Quali sono le matrici di interesse da sottoporre ad analisi di laboratorio e dei radionuclidi da misurare?
- Quali sono i metodi di analisi da utilizzare?
- Si può disporre di metodi semplificati per la stima della dose efficace per lavoratori e per l'individuo rappresentativo della popolazione?

Nella elaborazione della metodologia generale, è stata posta attenzione alla elaborazione di una modalità per individuare le matrici di interesse, tenuto conto della definizione riportata nell'art. 7 del D. Lgs.101/2020, ove si intende *“matrice” “qualsiasi sostanza o materiale che può essere contaminato da materie radioattive; sono ricomprese in tale definizione le matrici ambientali (ivi compresa aria, acqua e suolo) e gli alimenti”*.

In base a tale definizione, nel caso delle industrie con presenza di NORM, si considerano matrici le materie prime, i residui, gli effluenti liquidi e gassosi e i prodotti finiti. La Fig. 1 riporta una sintesi delle matrici di interesse, suddivise in varie categorie: materie prime, residui, prodotti finali, effluenti liquidi ed effluenti gassosi.

Avendo ben presente che, secondo le Raccomandazioni ICRP 103 [5], alla base della Direttiva 59/2013/Euratom e del D.Lgs 101/2020 *“occorre invece prevedere un insieme graduale di obblighi in funzione della riconducibilità ai controlli normativi di una particolare sorgente o situazione di esposizione, e in funzione del livello di esposizione/rischio associati a tale sorgente o situazione”*, la metodologia generale proposta (vedi fig. 2) consiste in una sequenza di passaggi che, con un *“approccio graduale”*, consentono di individuare le situazioni di esposizione più critiche dal punto di vista radioprotezionistico e di verificarne il livello di esposizione/rischio da confrontare con i livelli di esenzione. La metodologia si compone pertanto di due fasi, articolate in passaggi successivi, secondo un *“graded approach”*.

Figura 1. Rappresentazione schematica delle matrici di interesse (tratta da [4])



La Fase 1 inizia con l'individuazione della "pratica" ovvero, laddove la norma indichi soltanto l'intero processo industriale, si ritiene necessario un attento studio del processo industriale per individuare le situazioni espositive più critiche dal punto di vista della radioprotezione e le matrici di interesse.

Figura 2. Metodologia generale - Le due fasi del "graded approach" (tratta da [4])



In relazione alla pratica individuata, il passaggio successivo consiste nella identificazione delle matrici solide di interesse ed – in relazione a queste - i radionuclidi da misurare che devono tener conto delle condizioni chimico/fisiche del processo industriale. La tabella 4 propone uno schema per l'individuazione delle matrici solide (materie prime e residui di lavorazione), i radionuclidi di interesse e le tecniche di analisi per la caratterizzazione radiologica, secondo quanto previsto nella Fase 1. Viene

proposta oltre alla spettrometria gamma anche la spettrometria alfa per la determinazione della concentrazione di attività del Po-210 per esempio, da prevedere in maniera opportuna per i residui derivanti da processi termici che possono portare alla volatilizzazione del radionuclide. Il contenuto radiologico dei radionuclidi nelle matrici di interesse va confrontato con i livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività, descritti nelle tabelle 1 e/o 2.

Tabella 4. Schema di supporto alla Fase 1

Matrice solida		Tecnica di analisi	Radionuclidi
Materie prime	Materia prima di origine naturale	Spettrometria gamma	K-40, catene U-238 e Th-232
	Materia prima, derivante processi precedenti di origine artificiale	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
Residui	Residuo 1	Spettrometria gamma Spettrometria alfa	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232, Po-210
	Residuo 2	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232
	Fango 1	Spettrometria gamma	K-40, segmenti di catena U-238 e Th-232

Se le concentrazioni di attività dei nuclidi presenti nelle matrici solide superano i livelli di esenzione, è necessario procedere con la Fase 2, che ha come obiettivo il confronto con i livelli di esenzione in termini di dose. Per procedere a tale confronto, la Fase 2 è articolata in passaggi successivi, che si basano sulla identificazione degli scenari espositivi più significativi per i lavoratori e per i membri del pubblico.

A scopo metodologico, è stata elaborata la tabella 5 nella quale, per ciascun settore/pratica con presenza di NORM, sono classificate le matrici di interesse e per ciascuna di esse i possibili scenari espositivi di maggior rilievo, sia in relazione alla stima dell'esposizione dei lavoratori sia in relazione ai membri del pubblico.

Tabella 5. Schema generale per l'individuazione delle fonti di esposizione

	Esposizione dei lavoratori		Esposizione dei membri del pubblico	
	Matrice	Scenario	Matrice	Scenario
<b>Settore industriale con presenza di NORM</b>	<b>Materie prime</b>	Esposizione al cumulo	<b>Materie prime</b>	Trasporto
		Trasporto		
		Lavorazioni	<b>Residui</b>	Allontanamento (discarica, recupero, ecc.)
		Trasporto		
	<b>Residui</b>	Gestioni (raccolta, carico, scarico)	<b>Effluenti liquidi</b>	Rilascio di acqua reflua
				Esposizione della popolazione agli effluenti
	<b>Prodotti finali</b>	Lavorazioni di finitura	<b>Effluenti gassosi</b>	Rilascio degli effluenti gassosi dai camini
		Imballaggio		Esposizione della popolazione nella zona di emissione
		Trasporto		

Analogamente a quanto elaborato per la Fase 1, l'applicazione della Fase 2, schematizzata nella tabella 5, si avvale di due tabelle di dettaglio (tabelle 6 e 7) che forniscono schemi per la valutazione della dose rispettivamente per i lavoratori e per i membri del pubblico. Le tabelle 6 e 7 descrivono per ciascuno scenario specifico la matrice di interesse e la modalità di esposizione da considerare in funzione delle caratteristiche della matrice stessa.

Tabella 6. Schema di supporto alla Fase 2 – stima della dose per il lavoratore

<b>Scenari specifici</b>	<b>Matrice</b>	<b>Vie di esposizione</b>
Esposizione a cumuli Trasporto, ecc.	Materia prima di origine naturale	Irraggiamento, inalazione, radon
	Materia prima, di origine artificiale	Irraggiamento, inalazione, radon
Gestione residui (raccolta, carico e scarico...)	Residuo 1	Irraggiamento, inalazione, radon
	Residuo 2	Irraggiamento, inalazione, radon
Trasporto	Fango	Irraggiamento, radon
Finitura del prodotto Trasporto	Prodotto finale	Irraggiamento, radon

Tabella 7. Schema di supporto alla Fase 2 – stima della dose per i membri del pubblico

<b>Scenari specifici</b>	<b>Matrice</b>	<b>Vie di esposizione</b>
Trasporto	Materie prime	Irraggiamento, inalazione, radon
Rilascio dal camino	Effluente aeriforme	Irraggiamento, inalazione, catena alimentare
Rilascio in corpo idrico o in fognatura	Effluente liquido	Irraggiamento, inalazione, catena alimentare
Esposizione ai residui con c.a. > livelli di allontanamento, nel caso di allontanamento	Residuo 1, Residuo 2, fango	Irraggiamento, inalazione, radon

Analizzando la tabella 7, è evidente che gli scenari espositivi di interesse per la stima della dose ai membri del pubblico considerano l'impatto di matrici diverse da quelle solide (effluenti liquidi e/o gassosi), che non erano state caratterizzate nella Fase 1. Per tale ragione, la figura chiamata a fare le

valutazioni di dose, l'esperto di radioprotezione, analizzando la documentazione elaborata nella Fase 1, potrebbe non trovare tutte le informazioni di supporto ad una accurata stima della dose e richiedere ad esempio che venga effettuata la caratterizzazione radiometrica delle matrici non solide.

Per poter procedere al confronto con i livelli di esenzione in termini di dose efficace (tabella 3), è necessario conoscere il contenuto radiologico di tutte le matrici, individuare gli scenari espositivi più significativi e, per ciascuno scenario, valutare i contributi derivanti dalle diverse modalità di esposizione (irraggiamento esterno, inalazione, ingestione).

## **CONCLUSIONI**

Nel presente lavoro sono stati discussi i nuovi risultati di un progetto di ricerca sulle industrie con presenza di NORM. In particolare è stata presentata una metodologia per l'individuazione di situazioni di particolare interesse dal punto di vista della radioprotezione. Questa metodologia si articola su più fasi, con un approccio di tipo graduale. La Fase 1 ha inizio dalla identificazione della pratica e, quindi, delle situazioni più critiche dal punto di vista della radioprotezione e comprende la verifica dell'esenzione della pratica in termini di concentrazione di attività; la Fase 2 prevede, invece, la verifica di esenzione attraverso la valutazione della dose efficace per i lavoratori e gli individui rappresentativi della popolazione. La metodologia generale sviluppata è stata applicata su alcuni settori industriali coinvolti dalla legislazione nazionale in materia di radioprotezione [2] (produzione di cemento, industria dello zircone e dello zirconio, produzione di energia geotermica e produzione di pigmento di biossido di titanio) ma, con opportuni adattamenti, può essere estesa anche agli altri settori industriali. Come detto alcune applicazioni sono state già sviluppate ed altre saranno disponibili a breve.

## **BIBLIOGRAFIA**

---

- [1] European Commission (EC), «Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97,» Off. J. Eur. Union, pp. 1-73, December 2013.
- [2] D.Lgs.101/2020, «Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom...» Suppl. ordinario alla Gazzetta ufficiale n.201 del 12 agosto 2020 , Roma, 2020.
- [3] L. Luzzi, F. Leonardi, R. Trevisi, 2021. Radiazioni ionizzanti naturali: la protezione dal radon ed il piano nazionale d'azione per il radon. In: atti del convegno nazionale dBA2021 "Agenti fisici nei luoghi di lavoro- radiazioni ionizzanti" 2-3 Dicembre 2021; Bologna: Italia. (Pag. 115-124). ISBN 978-88-945863-2-9.
- [4] Trevisi R. et al. La radioprotezione applicata alle industrie NORM: sviluppo di un sistema di strumenti metodologici, conoscitivi e formativi a sostegno degli stakeholders. Stato dell'arte del progetto di INAIL. 2022. XXXVIII Congresso Nazionale AIRP di Radioprotezione. Milano.
- [5] AIFM, AIRM e AIRP, 2008. Raccomandazioni 2007 Della Commissione Internazionale Per La Protezione Radiologica. Traduzione della ICRP Publication 103 'The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection' Annals of the ICRP Volume 37/2-4, 2008. Milano, 27 giugno 2008, ISBN 88-88648-08-9.

## **ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SU TOMOGRAFI SUPERCONDUTTORI PER RISONANZA MAGNETICA A BASSO CONTENUTO DI ELIO**

**Massimo Mattozzi, Wanda D'Amico, Maria Antonietta D'Avanzo, Francesco Campanella.**

Sezione di supporto tecnico al SSN in materia di radiazioni, DIMEILA, INAIL

### **INTRODUZIONE**

I magneti superconduttori sono i più utilizzati nella diagnostica medica per immagini a risonanza magnetica (di seguito RM) in quanto consentono di ottenere livelli di campo magnetico statico significativamente più alti rispetto ai magneti di tipo resistivo e permanente. Il fenomeno della superconduzione si verifica nel momento in cui l'avvolgimento conduttore viene portato e mantenuto al di sotto di una determinata temperatura critica prossima allo zero assoluto (0k). Al fine di garantire il mantenimento di questa condizione si utilizza come sistema refrigerante l'elio liquido che, in tale stato fisico, rappresenta la materia più fredda a disposizione sulla terra. Tutte le apparecchiature RM dotate di magneti superconduttore tradizionali, ovvero quelle installate fino a pochi anni fa, necessitavano di ingenti quantitativi di elio liquido quale sistema utile a mantenere stabile lo stato di superconduzione dei magneti utilizzati. Le prime apparecchiature erano equipaggiate di un'ulteriore camicia di azoto liquido, che contornava quella di elio (come ancora attualmente negli spettrometri NMR utilizzati nella ricerca scientifica tipicamente non clinica), utile a garantire un basso punto di boil off (evaporazione spontanea) e ridurre quindi la necessità di continuo rabbocco dell'elio. Tale soluzione costruttiva nel tempo è stata sostituita dall'utilizzo di una camicia isolante di vuoto spinto, fermo restando l'immutato scenario di rischio correlato all'ingente presenza di elio liquido quale fluido criogenico. Recentemente sono invece comparse sul mercato delle nuove apparecchiature con magneti superconduttore che utilizzano un basso contenuto di elio (successivamente indicate con acronimo BCE): il presente documento analizza le problematiche di sicurezza inerenti queste nuove installazioni, almeno per le soluzioni tecnologiche evidenziate nella banca dati Inail, ovvero conosciute, alla data del 31 ottobre 2022 in Italia.

## DISCUSSIONE

I rischi associati all'utilizzo massivo di elio liquido nelle apparecchiature RM tradizionali ha portato, in Europa, alla codifica di dettagliate indicazioni per la gestione del rischio quench<sup>1</sup>, nonché di misure di sicurezza specifiche da seguire in caso di rilascio di elio gassoso dall'apparecchiatura all'interno della sala esami [vedi norma di buona tecnica IEC 60601-2-33].

La scelta in Italia invece è stata, fin dal 1991, quella di regolamentare, mediante specifici standard di sicurezza, obblighi normativi che definissero in modo chiaro gli impianti e i dispositivi di sicurezza da installare a corredo di un'apparecchiatura RM di tipo superconduttore.

Gli standard di sicurezza, oggi rappresentati in Italia dal d.m. Salute 14/01/2021, dispongono l'installazione di dispositivi di sicurezza attivi e passivi.

attivi:

- un rilevatore del tenore di ossigeno che, in caso di improvvisa riduzione della percentuale di ossigeno in sala esami, dovuta alla dispersione di elio gassoso, attiva una segnalazione di preallarme al raggiungimento di una prima soglia di intervento pari al 19% O<sub>2</sub> e una segnalazione di allarme alla soglia di rischio del 18% O<sub>2</sub>;
- un impianto di ventilazione di emergenza che, al raggiungimento della soglia del 18% O<sub>2</sub>, viene attivato automaticamente con conseguente aumento del numero di ricambi d'aria all'interno della sala ad almeno 18 ricambi /ora.

passivi:

- una linea di evacuazione dell'elio (denominata tubazione di quench), che rappresenta il principale dispositivo di sicurezza per i magneti superconduttori tradizionali. La tubazione è, infatti, in grado di garantire l'espulsione all'esterno del gas prodotto durante le fasi di un quench in aree non accessibili al pubblico, costruita con particolari materiali in grado di resistere alla sollecitazione alle basse temperature, dimensionata e certificata installata a regola d'arte da un installatore abilitato ai sensi del d.m. 37/2008 e s.m.i..

Tenuto conto delle criticità gestionali insite in un sistema di prevenzione del rischio come quello di cui alle apparecchiature con magneti superconduttore tradizionale, gli investimenti economici nella ricerca da parte delle principali aziende operanti nel settore elettromedicale hanno

---

<sup>1</sup> repentino passaggio di stato dell'elio dalla fase liquida a quella gassosa dovuto ad un'anomalia di sistema che ha indotto un aumento di temperatura

mirato, nell'ultimo decennio, a sviluppare tecnologie innovative in grado di utilizzare quantitativi di elio sempre minori.

La prima apparecchiatura a BCE è stata introdotta sul mercato in Italia alla fine della prima decade degli anni 2000 ed è caratterizzata da un campo magnetico statico di 0,5 tesla. Questi tomografi utilizzano come superconduttore il diboruro di magnesio che presenta una temperatura critica pari a 38 K, più alta di quella richiesta dai materiali superconduttori tipicamente utilizzati nei magneti tradizionali. Tale condizione è garantita mediante un sistema di criorefrigerazione che utilizza 30 litri di elio allo stato gassoso, contenuti all'interno di un circuito completamente sigillato.

Nel 2018 è comparsa sul mercato la prima apparecchiatura dotata di magneti superconduttore a BCE da 1,5 tesla, contenente 7 litri di elio liquido (rispetto ai classici 800 - 1500 litri contenuti nei magneti superconduttori tradizionali da 1,5 tesla). Alla fine del 2021 è stata messa in commercio la prima apparecchiatura con soli 0,7 litri di elio liquido, caratterizzata da un campo magnetico statico di 0,55 tesla.

Grazie alle informazioni desumibili dalla banca dati Inail, è possibile vedere che alla data del 31 ottobre 2022 le apparecchiature a BCE installate sul territorio nazionale coprono appena il 2,5% del totale, con un trend di crescita comunque interessante negli ultimi tre anni. Va infatti considerato che la tecnologia a BCE (con elio allo stato liquido) è stata introdotta alla fine del 2018 e le prime apparecchiature sono state installate in Italia nel 2019. Infine la stasi generale di sistema, causata dal periodo pandemico vissuto in questi ultimi anni, ne ha probabilmente rallentato la diffusione. Si precisa che delle n.33 apparecchiature BCE attualmente installate sul territorio nazionale, solo 4 utilizzano 30 l di elio gassoso. La tecnologia dei tomografi a BCE ha di fatto minimizzato il rischio correlato alla gestione dei fluidi criogenici e ad un possibile evento di quench, così consentendo la semplificazione delle dotazioni di sicurezza di ogni installazione.

## **RISULTATI**

La sezione Supporto al SSN in materia di radiazioni dell'INAIL ha condotto, su richiesta delle case costruttrici, specifiche istruttorie tecniche per le apparecchiature RM a BCE, preventive alla loro messa sul mercato italiano, e finalizzate alla verifica delle misure di sicurezza adottate alla luce dei nuovi possibili scenari di rischio.

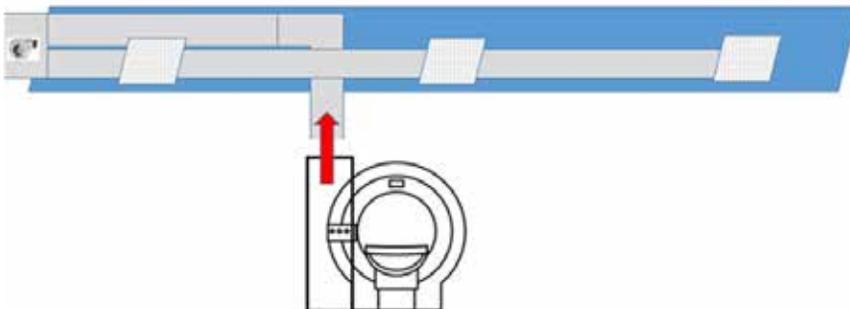
Di seguito si riportano gli esiti delle istruttorie in relazione a quanto proposto dalle stesse case costruttrici come emendato delle indicazioni di ottimizzazione della sicurezza individuate dalla Sezione durante le istruttorie medesime.

Nello specifico, dallo studio della documentazione tecnica messa a disposizione dai produttori e dai confronti succeduti durante le fasi di approfondimento, sono emerse nuove criticità legate alle diverse scelte costruttive adottate, aventi connotazioni evidentemente meno rilevanti rispetto a quelle dei magneti superconduttori tradizionali.

Infatti, mentre la tecnologia che utilizza 7 litri di elio liquido è caratterizzata da un circuito completamente sigillato in grado di contenere tutto il gas sprigionato durante le fasi di un quench all'interno della macchina, l'altra, contenente 0,7 litri, consente, qualora si venissero a creare condizioni estreme, il rilascio del gas prodotto in sala esami, seppure in quantità molto esigue.

In quest'ultimo caso è stata valutata come opportuna l'adozione di una misura di mitigazione del rischio residuo, che non prevede impianti dedicati ma un'integrazione al sistema di ventilazione della sala che, da obbligo normativo vigente in Italia, deve essere comunque sempre presente nelle sale esami RM per garantire almeno 6 ricambi/ora in condizioni di normale esercizio.

La misura di sicurezza adottata prevede il prolungamento di una condotta di ripresa dell'impianto di ventilazione da posizionare a ridosso del punto dell'apparecchiatura di possibile rilascio dell'elio (figura 1), al fine di permettere l'evacuazione del gas direttamente all'esterno ed evitare la libera dispersione all'interno della sala esami. Tale soluzione consente, a costi pari a zero sia per il fabbricante dell'apparecchiatura che per l'esercente, di mantenere un elevato standard di sicurezza anche in queste installazioni. La certificazione di installazione a regola d'arte dell'impianto di ventilazione, ai sensi del d.m. 37/2008 e s.m.i., copre anche la misura di mitigazione del rischio residuo in quanto parte integrante dell'impianto stesso.



**Figura 1:** Misura di mitigazione del rischio residuo associata all'impianto di ventilazione della sala esami RM per un'apparecchiatura a BCE

## CONCLUSIONI

Le tecnologie a BCE hanno dato l'avvio a una nuova era nel settore RM e promettono nei prossimi anni di rivoluzionarne il mercato, con un conseguente nuovo approccio nella gestione della sicurezza.

La presenza di scenari di rischio semplificati nei quali, a parità di prestazioni diagnostiche, appare del tutto risolta la problematica legata alla presenza di ingenti quantità di fluido criogenico, ha infatti rappresentato in queste prime installazioni una grande opportunità di sviluppo soprattutto nei casi di ubicazioni "difficili" quali condomini, centri commerciali e zone interessate da vincoli paesaggistici, per le quali le sovrintendenze rilasciano, con sempre maggiore difficoltà, le autorizzazioni per la realizzazione all'esterno degli edifici di grossi impianti UTA e della tubazione di quench (necessari per la messa in esercizio di magneti superconduttori tradizionali).

L'installazione di un'apparecchiatura a BCE consente, infatti, una gestione semplificata delle problematiche di rischio in fase di progettazione, messa in esercizio e nell'intero ciclo di vita dell'apparecchiatura con conseguente riduzione dei costi di gestione, seppure a fronte di un costo iniziale attualmente maggiore dell'apparecchiatura rispetto all'equivalente non BCE.

In conclusione preme comunque evidenziare che il rischio legato alla presenza del campo magnetico statico permanente rappresenta, anche per queste apparecchiature, la principale fonte di rischio per operatori e pazienti. L'introduzione involontaria di un oggetto ferromagnetico all'interno della sala RM può, infatti, causare incidenti anche letali a causa della forte attrazione esercitata dal campo magnetico sull'oggetto che si trasforma in un pericoloso proiettile.

La regolamentazione degli accessi nelle zone di rischio, la codifica di dettagliate procedure operative e un'attenta formazione del personale rappresenta, pertanto, l'irrinunciabile approccio necessario per la gestione in sicurezza dell'attività RM e per la prevenzione di tali incidenti.

L'effetto proiettile resta, quindi, per quanto sopra esposto, il fattore di rischio elettivo nelle installazioni di risonanza magnetica, in ciò prescindendo dalla tecnologia utilizzata, considerando la formazione degli operatori come l'azione di cautela più efficace e comunque irrinunciabile nell'ottica di adottare una strategia di prevenzione che possa garantire significativi margini di successo nell'ottica della prevenzione degli incidenti.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

- Norma IEC 60601-2-33:2022 - Medical electrical equipment - Part 2-33: Particular requirements for the basic safety and essential performance of magnetic resonance equipment for medical diagnosis.
- Decreto Ministero Salute salute 14 gennaio 2021 - Determinazione degli standard di sicurezza e impiego per le apparecchiature a risonanza magnetica e individuazione di altre tipologie di apparecchiature a risonanza magnetica settoriali non soggette ad autorizzazione.
- Decreto Ministero dello Sviluppo Economico 22 gennaio 2008, n. 37 - Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici.
- INAIL - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale. Indicazioni operative dell'Inail per la gestione della sicurezza e della qualità in Risonanza Magnetica. Ed. INAIL, 2015.
- INAIL - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale. Caratterizzazione delle apparecchiature di risonanza magnetica installate in Italia. Ed. INAIL, 2017
- INAIL - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale. Obbligo di comunicazione di avvenuta installazione delle apparecchiature a risonanza magnetica: aggiornamento ai sensi del DM Salute 14/01/2021 e indicazione all'utenza.

## **RASSEGNA DI UNO STUDIO PILOTA SULLA REALE ATTENUAZIONE DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE DELL'UDITO.**

**Annesi Diego (1), Pietro Nataletti (1), Annalisa Fregolent (2), Mara Lombardi (2), Shafik Karim (2), Andrea Vestrucci (2).**

(1) INAIL Centro ricerche Monte Porzio Catone;

(2) Facoltà di ingegneria Civile e Industriale - Università La Sapienza Roma

### **Premessa**

Per molti anni, l'attenuazione del rumore è stata considerata come un meccanismo esclusivamente passivo, secondo il principio dell'Insertion Loss. Secondo tale principio, l'inserimento di materiale nella zona esterna dell'orecchio, porta all'abbassamento dei decibel in arrivo sulla membrana timpanica. Questo metodo, però, sebbene sia molto semplice e pratico da applicare, non riesce ad essere performante rispetto al problema dell'isolamento, soprattutto se consideriamo che la conformazione del condotto uditivo amplifica alcune frequenze e ne attenua altre, per cui, utilizzando dei DPI-u passivi, non si avranno le stesse performance su tutto lo spettro delle frequenze.

A questo scopo nascono i dispositivi dotati di sistema attivo di ripristino del suono in grado di non isolare il lavoratore durante le normali fasi lavorative.

Ciascun dispositivo, da un punto di vista elettronico, è composto da:

- Un microfono esterno al dispositivo;
- Un microprocessore di segnale digitale (DSP);
- Un amplificatore;
- Una cassa acustica interna al dispositivo.

Lo studio portato avanti nasce con l'idea di comprendere il funzionamento di alcuni dispositivi elettronici di protezione individuale per l'udito. Nello specifico, sono stati testati sia dei tappi auricolari che delle cuffie, entrambi con un funzionamento basato sull'attenuazione variabile nel tempo del rumore. Sia tappi che cuffie sono stati testati all'interno della camera anecoica del Centro Ricerche INAIL di Monte Porzio Catone.

Al fine di confrontare i risultati sperimentali, è stato utilizzato lo stesso protocollo di misura per entrambi i dispositivi, che prevede l'utilizzo del simulatore della testa e del dorso prodotto dalla Bruel & Kjaer modello 4128, al quel sono stati indossati correttamente i DPI-u e di volta in volta è

stata cambiata l'ampiezza del segnale generato da una cassa acustica posta a circa un metro frontale dal manichino (vedere figura 1).



**Figura 1 - Postazione di misura**

I canali fonometrici utilizzati sono stati 3, due corrispondenti ai “timpani” del manichino e uno posto a circa 15 cm dalla testa di esso. I microfoni interni alla testa rilevavano il livello di pressione sonora direttamente sotto il dispositivo di protezione individuale, il canale esterno è stato necessario a verificare il livello di pressione sonora generato dalla cassa al variare delle prove sperimentali. I livelli generati dalla cassa, sono stati aumentati di “step” di 5 dB(A) a partire dai 75 dB(A) fino ai 100 dB(A), ed il segnale generato è stato un Pink Noise. Questa condizione ci è servita per verificare l'attenuazione variabile dei dispositivi al variare dell'ampiezza esterna.

Di seguito saranno illustrati i risultati sperimentali riferiti al tappo auricolare e alla cuffia.

### **Inserti auricolari**

Questi dispositivi sono in grado di attenuare il rumore esterno ed emettere il suono all'interno della cavità auricolare ripristinando alcune frequenze ma, comunque, diminuendo il livello di pressione sonora globale.

Al fine di realizzare uno studio completo su questa tipologia di DPI-u, da poter dunque confrontare con la normativa vigente, sono state analizzate due coppie di inserti, ogni coppia è stata testata più volte, tre per l'esattezza, per ridurre l'incertezza legata alle misurazioni, nelle diverse condizioni di utilizzo, secondo un protocollo che prevede: spento (Off), volume 1 (On1),

volume 2 (On2) e volume 3 (On3) (amplificazione crescente del segnale generato dal tappo), a sei livelli sonori esterni : 75 dB(A), 80 dB(A), 85 dB(A), 90 dB(A), 95 dB(A), 100 dB(A).

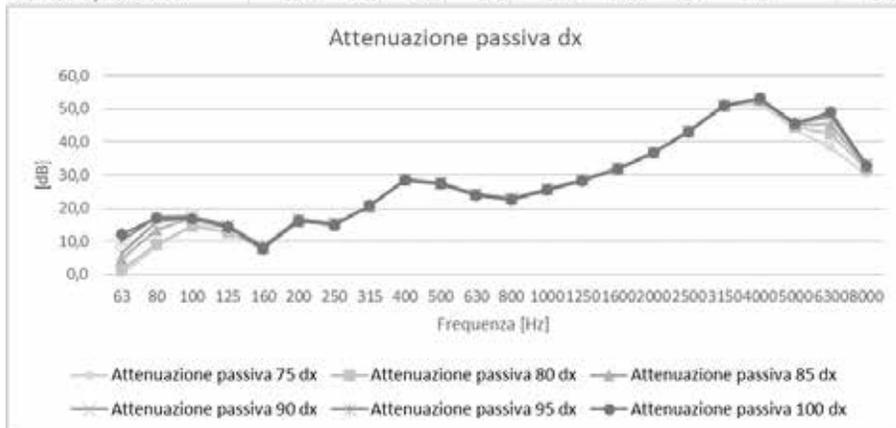


**Figura 2 – Inserti auricolari ad attenuazione controllata**

A valle dei test, sono state calcolate l'attenuazione passiva e le varie amplificazioni. L'attenuazione passiva è stata determinata confrontando i test Orecchio Nudo (misura definita senza auricolare inserito) con i test relativi alla configurazione Off dei tappi (tappo correttamente inserito ma spento). Le amplificazioni, invece, sono state calcolate confrontando i test con il dispositivo acceso (On1, On2 e On3) con i test a dispositivo spento (Off).

L'attenuazione passiva costituisce un'informazione molto importante, ovvero l'attenuazione massima che i tappi possono offrire, ovvero una sorta di limite fisico. Nei grafici che seguono viene presentata l'attenuazione passiva di una coppia di inserti (verdi), calcolata dai test eseguiti ai vari livelli sonori; si riportano, in particolare, i dati raccolti sull'auricolare destro.

Spettro	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Attenuazione passiva 75 dx	0.4	14.3	15.2	27.3	25.6	36.9	51.5	30.1	26.4
Attenuazione passiva 80 dx	1.4	12.6	15.2	27.4	25.7	36.8	52.5	31.8	26.6
Attenuazione passiva 85 dx	4.7	14.5	15.0	27.5	25.7	36.9	52.9	32.4	26.6
Attenuazione passiva 90 dx	6.2	14.5	15.3	27.3	25.8	36.8	53.0	32.9	26.6
Attenuazione passiva 95 dx	10.1	14.9	15.5	27.6	25.8	36.8	53.2	33.2	26.7
Attenuazione passiva 100 dx	12.0	14.2	14.9	27.5	25.6	36.6	53.0	33.0	26.5



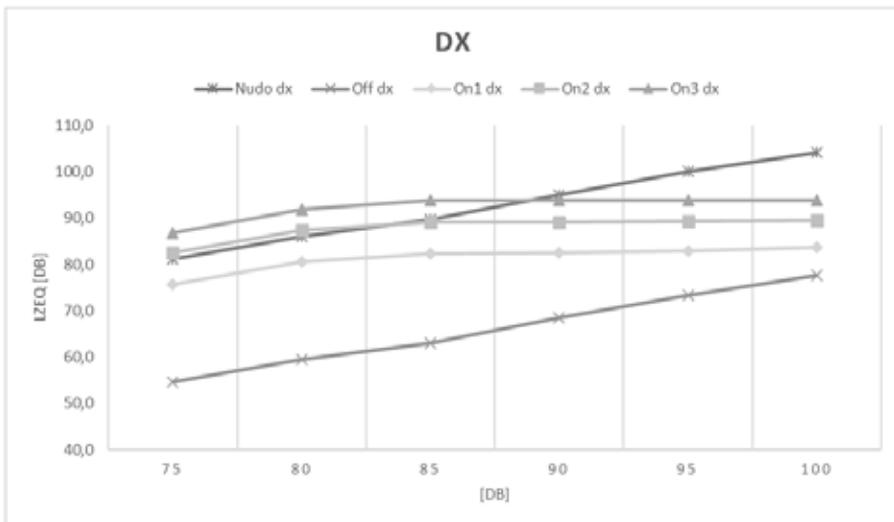
**Figura 3 – Attenuazione passiva inserti auricolari**

Analizzando i risultati, è evidente che nella configurazione Off il comportamento degli inserti è analogo a quello di classici tappi passivi, da notare la classica forma della curva dove si osserva un'attenuazione maggiore alle alte frequenze. Questo risultato è confrontabile con i dati forniti dal costruttore; infatti, nella documentazione relativa al dispositivo acustico, viene riportato un valore di SNR di 32 dB.

Quando i dispositivi sono accesi, il suono viene prima attenuato dalla parte in silicone (attenuazione passiva), successivamente però viene amplificato dalla cassa interna, facendo in modo che l'attenuazione complessiva non risulti troppo elevata e che, dunque, l'utilizzatore non venga isolato. Si riportano di seguito tabelle e grafici corrispondenti relativi ai livelli globali, ottenuti sotto cuffia, nelle varie condizioni di utilizzo, seguiti da un'analisi delle diverse amplificazioni.

Nello specifico, la colonna definita "dx" rappresenta i valori misurati all'esterno del dispositivo indagato, la colonna di valori "Nudo dx" rappresenta il livello globale misurato al timpano del manichino (riferito all'orecchio destro) senza auricolare indossato mentre per i valori "Off" ed "On 1,2,3" si intendono i livelli globali ottenuti per effetto dell'attenuazione passiva e delle amplificazioni in ampiezza crescente.

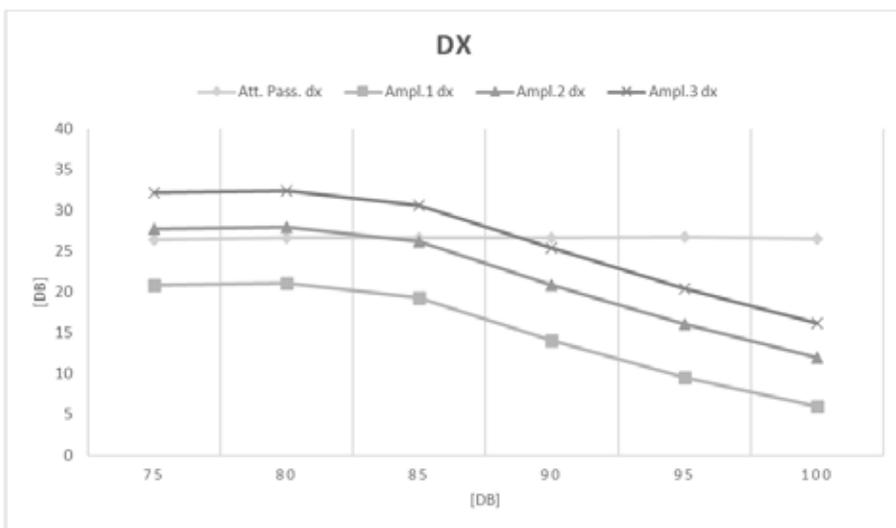
dx	Nudo dx	Off dx	On1 dx	On2 dx	On3 dx
75	81.2	54.8	75.6	82.5	86.9
80	86.1	59.5	80.5	87.4	91.8
85	89.7	63.1	82.4	89.2	93.7
90	95.0	68.4	82.5	89.2	93.7
95	100.0	73.3	82.9	89.4	93.7
100	104.2	77.7	83.7	89.6	93.9



**Figura 4 – Livelli globali inserti auricolari nelle varie configurazioni**

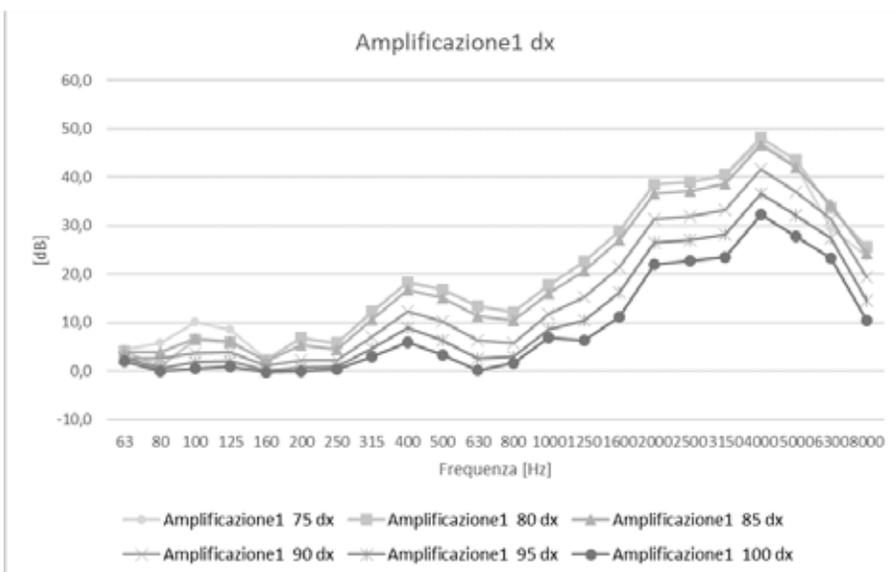
Una volta ottenuti i livelli sopra descritti, tramite una sottrazione aritmetica, si sono determinati i valori assoluti dell'attenuazione passiva e delle amplificazioni portate dal dispositivo esaminato.

dx	Att. Pass.	Ampl. 1 dx	Ampl. 2 dx	Ampl. 3 dx
75	26.4	20.9	27.7	32.1
80	26.6	21.0	27.9	32.3
85	26.6	19.3	26.1	30.6
90	26.6	14.1	20.8	25.3
95	26.7	9.6	16.1	20.4
100	26.5	6.0	12.0	16.2



**Figura 5 – Andamenti attenuazione e Amplificazioni inserti auricolari**

A titolo rappresentativo, in questa sede, pur avendo analizzato anche le altre amplificazioni del sistema, si riporta il grafico dell'analisi in frequenza della prima amplificazione del dispositivo (On1), la minima.



**Figura 6 – Amplificazione1 inserti auricolari**

Si può osservare come la componente di amplificazione sia maggiore nei test dove il volume esterno è più basso; man mano che aumenta il volume esterno diminuisce l'amplificazione data dalla cassa interna ai tappi. Da

questi risultati, è evidente come, all'interno degli inserti ci sia un microprocessore di segnale digitale (DSP), che, di volta in volta, analizza il segnale raccolto decidendo il livello di amplificazione. Fondamentale, dunque, capire come questi dispositivi abbiano memorizzato al loro interno delle curve target, una per configurazione, che si vanno a ricercare, facendo in modo che si abbiano dei differenti livelli di amplificazione legati al livello sonoro esterno in arrivo sui dispositivi.

Dall'analisi dei risultati si può intuire come la configurazione On1 sia quella più efficace, in quanto il livello sonoro globale tende a restare sempre attorno agli 80 dB, limite imposto dalla normativa. Per quanto riguarda le altre configurazioni a dispositivo acceso, On2 e On3, si vanno a superare di molto i limiti consentiti dalla legge, arrivando addirittura a superare i 90 dB con il terzo livello, facendo dunque sì che i dispositivi risultino inadeguati per il loro scopo. Addirittura, in una condizione in cui, senza l'utilizzo dei tappi non si è esposti ad alcun rischio per l'orecchio, ad esempio 75 dB, l'utilizzo degli inserti auricolari, al secondo o al terzo livello di amplificazione, può essere esso stesso causa di rischio per l'utilizzatore.

Osservando l'andamento delle curve, si può, inoltre, notare un picco di amplificazione tra i 2000 Hz e i 4000 Hz. Questo avviene poiché i tappi testati utilizzano un filtro passa banda, ovvero una combinazione di filtri passa alto e passa basso, con lo scopo di aumentare l'intelligibilità del parlato, andando ad amplificare quelle che sono le frequenze tipiche delle consonanti più utilizzate nelle lingue occidentali, risolvendo, in questo modo, il problema dell'isolamento dovuto all'over protezione.

## **Cuffia**



**Figura 7 – Cuffia esaminata posizionata sul simulatore**

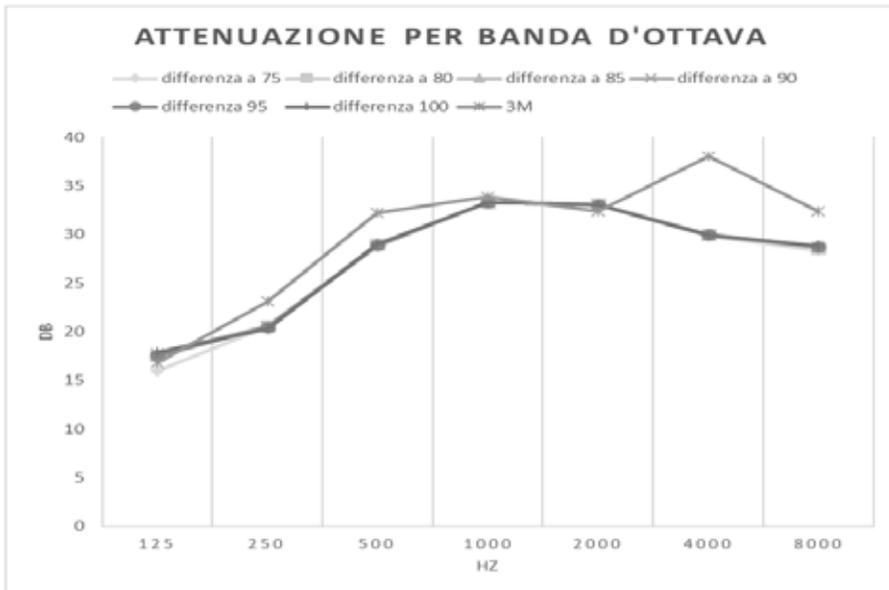
Il modello di cuffia (vedere figura 7) utilizzato per le prove è stato concepito per tutelare il lavoratore nei confronti delle sorgenti sonore rumorose. Oltre

alla possibilità di attenuazione variabile, è possibile collegare al suddetto dispositivo anche sistemi radio e Bluetooth. Ne deriva, che per le cuffie esaminate, oltre all'attenuazione elettronica è stato studiato il funzionamento con il sistema Bluetooth attivo.

In aggiunta al protocollo esaminato per i tappi auricolari, qui sono state eseguite delle prove sperimentali collegando la cuffia ad un computer portatile dal quale è stata emessa una registrazione audio di un parlato. Per testare il dispositivo, è stata mandata la voce registrata, ponendo l'amplificazione del canale Bluetooth della cuffia al minimo e al massimo.

I risultati sperimentali dell'attenuazione passiva della cuffia (cuffia Off) sono confrontabili con quelli dichiarati dal costruttore sia per i valori globali che per l'andamento in frequenza.

Nella figura 8 si può osservare quanto affermato precedentemente.



**Figura 8 – Attenuazione passiva Cuffia**

Per quanto riguarda i valori ottenuti con cuffia accesa, ma in assenza di sorgente Bluetooth, possiamo affermare che sono allineati al valore imposto dalla normativa pari a 80 dB. Infatti, il risultato ottenuto nelle condizioni peggiori, ovvero volume massimo di amplificazione da parte della cuffia e pressione sonora esterna di 100 dB(A), è pari a 82.5 dB come valore globale. In seguito all'analisi in frequenza, così come per gli inserti auricolari, è emersa nitidamente l'altra caratteristica della cuffia a controllo elettronico del rumore, cioè quella di non rendere del tutto isolato dal mondo esterno l'operatore. Abbiamo osservato come da 400 a 4000 Hertz, fascia di frequenze del parlato, la cuffia riesca ad amplificare quei rumori che altrimenti risulterebbero sotto la soglia di udibilità. Al contempo, qualora l'operatore si avvicini ad una sorgente che lo potrebbe mettere in una situazione di pericolo, il dispositivo è in grado di limitarne il rumore. Questo tipo di comportamento deriva dalla presenza, all'interno dell'apparecchio, di un filtro passa banda e di un limitatore.

Analizzando la condizione di cuffia accesa e con Bluetooth attivo, è stata riscontrata una notevole amplificazione del segnale riprodotto dal computer (registrazione audio di un parlato). In particolare, il livello di pressione sonora misurato con il volume al massimo del canale Bluetooth si è aggirato attorno ai 90 dB, mentre nella condizione di amplificazione al minimo i livelli globali si sono fermati sotto gli 80 dB (guardare figura 9).

## Bibliografia

- [1] Renato Spagnolo: Manuale di acustica applicata.
- [2] Gianfranco Cellai, Simone Secchi: Fondamenti di acustica.
- [3] Massimiliano Salfi: Elementi di acustica.
- [4] Brüel & Kjær: Basic Concepts of Sound.
- [5] Brüel & Kjær: Corso di acustica di base.
- [6] Ing. Paolo Bistulfi, Ing. Luigi Motta: Per difenderci dal rumore impariamo a conoscerlo.
- [7] INAIL: Storia della prevenzione.
- [8] Presidente dell'Inail Massimo De Felice: Relazione annuale 2017.
- [9] ISPESL: Linee guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro.
- [10] Raffaele Sabatino: La valutazione del rischio rumore.
- [11] Filippo Cassano, Ingrid Aloise, Piero Bavaro: Compendio di igiene industriale.
- [12] Claudio Galbiati: Dispositivi di protezione individuale: considerazioni sui requisiti e sulle caratteristiche di scelta ed uso.
- [13] Franca Merluzzi, Nicola Di Credico: The determination of the criteria for selecting and using personal means of acoustic protection.
- [14] J. Voix, L.D. Hager: Individual fit testing of hearing protection devices.
- [15] A. Peretti, F. Pedrielli, A. Pasqua di Bisceglie, F. Bonomini: Valutazione dell'adeguatezza dei dispositivi individuali di protezione uditiva.
- [16] E. H. Berger, J. Voix, R. W. Kieper, C. Le Cocq: Development and validation of a field microphone-in-real-ear approach for measuring hearing protector attenuation.
- [17] E. H. Berger, J. Voix, R. W. Kieper, C. Le Cocq: Methods of developing and validating a Field-MIRE approach for measuring hearing protector attenuation.
- [18] Decreto Legislativo n. 81 del 9 aprile 2008: Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro.
- [19] Decreto Ministeriale del 02/05/2001: Criteri per l'individuazione e l'uso dei dispositivi di protezione individuale (DPI).
- [20] Norma UNI EN ISO 9612:2011: Acustica – Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro – Metodo tecnico progettuale
- [21] Norma UNI EN 458:2016: Protettori dell'udito -Raccomandazioni per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione -Documento guida.
- [22] Norma UNI 9432:2008: Acustica – Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro
- [23] Norma UNI EN 13819-2:2021: Protettori dell'udito – Metodi di prova acustici

[24] Norma UNI EN 352-8:2021: Protettori dell'udito - Requisiti di sicurezza - Parte 8: Cuffie con possibilità di ascolto audio non legato al lavoro



## **VIBRAZIONI TRASMESSE ALL’UOMO ATTRAVERSO I PIEDI E PROPOSTA DI REVISIONE DELLA ISO 2631-1**

**Marco Tarabini (1), Stefano Marelli (1), Angelo Tirabasso (2), Enrico Marchetti (2)**

- 1) Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano
- 2) Laboratorio Rischio Agenti Fisici, DIMEILA, INAIL

### **1. INTRODUZIONE**

I membri dell’equipaggio di cabina sugli aerei, i marinai e il personale in servizio a bordo dei treni sono giornalmente esposti a vibrazione di tipo “corpo intero” (Whole-Body Vibration, WBV) trasmessa attraverso i piedi. La vibrazione deriva dal movimento del mezzo di trasporto e dalla sua interazione con l’ambiente esterno (strada, aria, acqua, ferrovia), ma anche dalla propagazione delle vibrazioni generate dalle macchine (motori, reattori, pompe, ecc.). I dati occupazionali mostrano che nel mondo ci sono circa 1,6 milioni di lavoratori nell’ambiente marittimo e circa 700 mila assistenti di volo; al momento, non sono disponibili dati affidabili sul numero di membri del personale che lavora a bordo di convogli ferroviari. Queste categorie professionali hanno condizioni di lavoro simili, tra cui lo stare in piedi per tempi prolungati, camminando in un ambiente soggetto a vibrazioni di diverso tipo.

Gli effetti negativi delle vibrazioni “corpo intero” trasmesse attraverso il sedile sono ben documentati nella letteratura scientifica e le vibrazioni a bassa frequenza sono un cofattore delle malattie professionali che coinvolgono la schiena. Questo tipo di vibrazione è ben considerato nella norma ISO 2631; al momento, l’effetto della vibrazione sui soggetti in piedi o in cammino è considerato nella ISO 2631-1 in modo marginale e soltanto con riferimento ad eventuali effetti sul comfort. Gli effetti sulla salute sono riferiti solo alle persone sedute, in quanto gli effetti sui soggetti in piedi o sdraiati sono “non noti” (punto 7.1, primo comma).

Studi epidemiologici hanno evidenziato la necessità di controllare due tipi di vibrazioni:

- vibrazioni ad alta frequenza trasmesse a soggetti in piedi,
- la vibrazione a bassa frequenza trasmessa ai soggetti che camminano.

## 2. STATO DELL'ARTE

### 2.1. Vibrazione trasmessa attraverso i piedi

Diversi lavori negli ultimi 20 anni hanno documentato gli effetti sulla salute delle vibrazioni trasmesse attraverso i piedi (Foot Transmitted Vibration, FTV, esempio in Figura 1). Il primo caso di studio di un lavoratore con diagnosi di compromissione della circolazione sanguigna nelle dita dei piedi senza effetti negli arti superiori è stato pubblicato nel 2010. Il lavoratore aveva lavorato come minatore per 18 anni, con esposizione mista alle vibrazioni attraverso il piano di seduta, le mani e i piedi; il tempo stimato di esposizione giornaliera a FTV era pari a 4 ore, per tre giorni alla settimana. La postazione di lavoro era disegnata in modo specifico per ridurre le vibrazioni trasmesse al sistema mano braccio, ed il sistema di perforazione era collegato al piano di supporto. Ciò ha comportato un'esposizione giornaliera limitata alle vibrazioni di tipo mano braccio, ma un'esposizione continua alle FTV. I test medici hanno confermato la presenza di vasospasmi indotti dal freddo nei piedi, confermando quindi la sindrome del dito bianco nel piede (Vibration Induced White Foot, VIWFt).

Casi simili, in letteratura, sono piuttosto frequenti. Ad un allevatore con un pregresso di 12 anni di esposizione a FTV è stata diagnosticata la sindrome del dito bianco al piede, con una scottatura indotta dal freddo nel piede



**Figura 1. Soggetto esposto a vibrazione trasmessa attraverso i piedi in condizioni di laboratorio.**

sinistro. I dati degli studi sul campo offrono ulteriori prove di compromissione da esposizione a FTV. Nel 1989, Hedlund raccolse dati sull'esposizione alle vibrazioni per 27 minatori. Tutti i minatori erano esposti alle vibrazioni mano-braccio e un sottogruppo era esposto a FTV; in

questo sottogruppo, a tutti i lavoratori è stata diagnosticata la VIWFt. Anche Leduc e colleghi hanno riportato problemi inquadrabili nell'ambito delle VIWFt: i sintomi sono simili alla componente vascolare della sindrome da vibrazione mano-braccio (HAVS) e si manifestano tipicamente come fenomeno di Raynaud nelle dita dei piedi con sbiancamento in una o più dita in seguito all'esposizione al freddo. Alcuni lavoratori hanno riportato la presenza di formicolio e intorpidimento delle dita dei piedi.

Ad oggi, gli studi sulla VIWFt sono limitati, in quanto la comunità medica ha spesso associato, erroneamente, i sintomi osservati nei piedi ad una risposta sistemica all'esposizione alle vibrazioni mano-braccio e a una diagnosi di HAVS. Recentemente, invece, Noël e Settembre hanno evidenziato come le vibrazioni sembrano innescare meccanismi di iperplasia delle pareti delle arterie digitali nei pazienti affetti da sindrome di Raynaud indotta da vibrazioni.

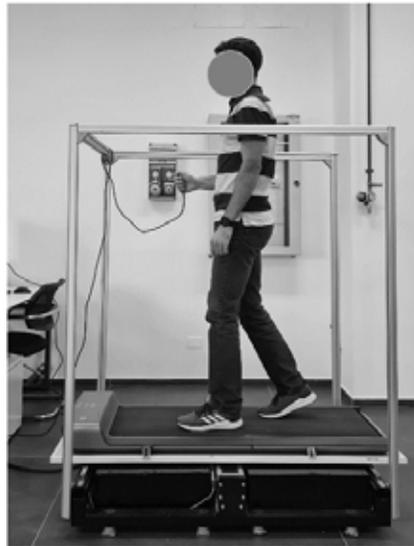
Inoltre, il quadro normativo vigente ha spinto i datori di lavoro a ridurre l'esposizione dei lavoratori a vibrazioni mano-braccio; in alcuni casi, ciò ha comportato un aumento dell'esposizione alle FTV, e ad oggi il periodo di latenza tra la prima esposizione e la diagnosi medica di VIWFt è sconosciuto. Pertanto, è fondamentale agire sia sulla formazione e informazione dei lavoratori esposti a FTV, che devono essere consapevoli dei sintomi di VIWFt (come lo sbiancamento delle dita dei piedi o il formicolio e l'intorpidimento dei piedi) per consultare il prima possibile un medico competente. In parallelo è necessario sviluppare strategie di controllo per mitigare l'esposizione alla FTV e adeguare il quadro normativo per considerare la pericolosità di vibrazioni ad alta frequenza trasmesse attraverso i piedi.

Le curve di ponderazione della ISO 2631-1 trascurano completamente gli effetti delle vibrazioni vascolari che causano il VIWF. La frequenza di risonanza fondamentale del sistema piede-gamba ha parecchie somiglianze con quella del sistema mano-braccio. In particolare, le frequenze di risonanza delle dita dei piedi (99-147 Hz) sono simili a quella riportata per le dita. Inoltre, la gamma di frequenze di risonanza trovata a metà piede (51-88 Hz) è simile a quella riportata per il dorso della mano e quella trovata per la caviglia (19-39 Hz) è simile a quella precedentemente riportata al polso.

La risposta biodinamica del piede e i dati epidemiologici sulla FTV suggeriscono che l'attuale metodo ISO 2631-1 per valutare l'esposizione permanente alla WBV non è appropriato per valutare i rischi per la salute. La curva di ponderazione  $W_k$  diminuisce l'influenza delle frequenze superiori a 10 Hz e la ISO 5349 può essere più appropriata per identificare il rischio di salute/lesioni per i piedi, magari tenendo conto anche del metodo supplementare per la valutazione del rischio di disturbi vascolari proposto dal rapporto tecnico ISO 18570. Bibliografia di riferimento [1]-[7].

## 2.2. WBV durante il cammino

Studi epidemiologici hanno evidenziato che la prevalenza di lombalgia è molto alta tra gli assistenti di volo negli Stati Uniti, Corea, Norvegia e Canada e che la natura dei sintomi è spesso cronica. La letteratura scientifica ha anche evidenziato che i pescatori hanno riportato condizioni muscoloscheletriche come lombalgia e sindrome del tunnel carpale più diffuse che in tutte le popolazioni di lavoratori.



**Figura 2. Soggetto che cammina esposto a vibrazione medio-laterale in condizioni di laboratorio.**

Studi di laboratorio hanno evidenziato che i parametri spaziotemporali dell'andatura umana (lunghezza e frequenza del passo) variano in presenza di vibrazioni verticali e medio-laterali. A velocità costante, la vibrazione medio-laterale è destabilizzante e i soggetti aumentano il loro ritmo e frequenza, risultando in passi più brevi, più veloci e più ampi per mantenere l'equilibrio. I soggetti che camminano mentre sono esposti a vibrazioni medio-laterali non solo avevano uno spostamento maggiore del centro di pressione, ma anche una maggiore velocità laterale all'aumentare delle frequenze di vibrazione (**f**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.). Bibliografia di riferimento [8]-[13].

### 3. CONCLUSIONI

Il pericolo associato alla FTV deve essere valutato sia secondo la norma ISO 2631 (per i disturbi muscoloscheletrici) sia secondo la ISO 5349 per gli effetti ad alta frequenza.

La strumentazione e le caratteristiche della catena di misura possono essere opportunamente derivate dalla ISO 5349, mentre le scarpe possono essere trattate come guanti antivibranti per estendere la validità della norma ISO 10819 alle scarpe antinfortunistiche utilizzate in presenza di vibrazioni.

Per quanto riguarda il pericolo associato alla WBV, gli attuali standard per la valutazione dei rischi sono stati derivati dalla risposta biomeccanica del corpo umano alle vibrazioni. Esperimenti di laboratorio e letteratura scientifica hanno dimostrato che la risposta alle vibrazioni mentre si cammina differisce da quella misurata in posizione eretta. La trasmissione della vibrazione ai segmenti del corpo umano e alla massa apparente del corpo umano dipende non solo dalla postura globale del corpo, ma anche dagli aspetti dinamici dell'attività. L'andatura risente pesantemente della presenza di WBV verticale e medio-laterale. Un ruolo centrale, che necessita comunque di ulteriori approfondimenti, è sicuramente quello dato dal riflesso tonico da vibrazioni (o TVR, dall'inglese Tonic Vibration Reflex) che porta le fibre muscolari a contrarsi in modo sincrono allo stimolo vibratorio esterno con il conseguente impatto sul compito motorio esercitato dai segmenti corporei interessati.

È quindi evidente che l'attuale procedura ISO 2631-1 per la valutazione degli effetti sulla salute del WBV sottovaluta il rischio quando i soggetti sono in movimento. In questo caso, sembra ragionevole suggerire l'adozione di una nuova curva di ponderazione e/o fattori moltiplicatori che diano maggiore rilevanza alle caratteristiche dell'andatura umana, come l'ampiezza e la frequenza del passo. Poiché la vibrazione medio-laterale è stata documentata come quella con maggiore influenza sull'andatura umana, è anche possibile utilizzare l'attuale procedura ISO 2631-1 ma adottare un fattore moltiplicatore maggiore per l'asse medio-laterale.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Eger, T., Thompson, A., Leduc, M., Krajnak, K., Goggins, K., Godwin, A., & House, R. (2014). Vibration induced white-feet: overview and field study of vibration exposure and reported symptoms in workers. *Work*, 47(1), 101-110.
- [2] Tingsgård, I., & Rasmussen, K. (1994). Vibration-induced white toes. *Ugeskrift for læger*, 156(34), 4836-4838.
- [3] Goggins, K. A., Tarabini, M., Lievers, W. B., & Eger, T. R. (2019). Biomechanical response of the human foot when standing in a natural position while exposed to vertical vibration from 10–200 Hz. *Ergonomics*, 62(5), 644-656.
- [4] Goggins, K., Godwin, A., Lariviere, C., & Eger, T. (2016). Study of the biodynamic response of the foot to vibration exposure. *Occupational Ergonomics*, 13(1), 53-66.
- [5] Thompson, A. M. S., House, R., Krajnak, K., & Eger, T. (2010). Vibration-white foot: a case report. *Occupational Medicine*, 60(7), 572-574.
- [6] Wee, H., & Voloshin, A. (2013). Transmission of vertical vibration to the human foot and ankle. *Annals of biomedical engineering*, 41(6), 1172-1180.
- [7] Noél, C., & Settembre, N. (2022). Assessing mechanical vibration-altered wall shear stress in digital arteries. *Journal of Biomechanics*, 131, 110893.
- [8] Chadefaux, D., Moorhead, A. P., Marzaroli, P., Marelli, S., Marchetti, E., & Tarabini, M. (2021). Vibration transmissibility and apparent mass changes from vertical whole-body vibration exposure during stationary and propelled walking. *Applied ergonomics*, 90, 103283.
- [9] Moorhead, A. P., Chadefaux, D., Zago, M., Marelli, S., Marchetti, E., & Tarabini, M. (2021). Spatiotemporal gait parameter changes due to exposure to vertical whole-body vibration. *Gait & Posture*, 89, 31-37.
- [10] Törner, M., Blide, G., Eriksson, H., Kadefors, R., Karlsson, R., & Petersen, I. (1988). Musculo-skeletal symptoms as related to working conditions among Swedish professional fisherman. *Applied ergonomics*, 19(3), 191-201.
- [11] Doza, S., Bovbjerg, V. E., Vaughan, A., Nahorniak, J. S., Case, S., & Kincl, L. D. (2021). Health-related exposures and conditions among US fishermen. *Journal of agromedicine*, 1-8.
- [12] Luckhaupt, S. E., Dahlhamer, J. M., Gonzales, G. T., Lu, M. L., Groenewold, M., Sweeney, M. H., & Ward, B. W. (2019). Prevalence, recognition of work-relatedness, and effect on work of low back pain among US workers. *Annals of internal medicine*, 171(4), 301-304.
- [13] Han, H. M. (2003). Development of low back pain prevention program for civil airline flight attendants. *Unpublished doctoral dissertation, Yonsei University, Seoul.*

## La biblioteca di

- **dB A'85 Il rumore industriale - Prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro.**  
Atti del Convegno di Modena del 14, 15 e 16 febbraio 1985
- **dB A'90 Rumore e vibrazioni - Valutazione, prevenzione e bonifica**  
Atti del Convegno di Bologna e Modena del 20, 21, 22 e 23 novembre 1990
- **dB A'94 Rumore e vibrazioni - Valutazione, prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro**  
Atti del Convegno di Modena del 20, 21 e 22 ottobre 1994
- **dB A'98 Dal rumore ai rischi fisici - Valutazione, prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro**  
Atti del Convegno di Modena del 17, 18 e 19 ottobre 1998
- **dB A<sub>incontri</sub>'99 Rumore e vibrazioni negli ambienti di lavoro – Dalla valutazione alla bonifica**  
Atti del Seminario di Modena del 23 settembre 1999
- **dB A<sub>incontri</sub>2000 Rumore e vibrazioni - Linee Guida per la corretta applicazione della legislazione negli ambienti di lavoro**  
Atti del Seminario di Modena del 20 settembre 2000
- **dB A'02 Rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione, onde elettromagnetiche - Valutazione, prevenzione e bonifica negli ambienti di lavoro**  
Atti del Convegno di Modena del 25, 26 e 27 settembre 2002

- **dB<sub>A</sub>incontri2003 Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro – Verso un Manuale di buona pratica**  
Atti del Seminario di Modena del 16 ottobre 2003
- **dB<sub>A</sub>incontri2004 - Vibrazioni - Valutazione e prevenzione del rischio da vibrazioni nel quadro legislativo attuale e in quello in divenire**  
Atti del Convegno di Modena del 13 ottobre 2004
- **dB<sub>A</sub>incontri2004 - Microclima - Valutazione, prevenzione e protezione dai rischi e comfort nei luoghi di lavoro**  
Atti del Convegno di Modena del 14 ottobre 2004
- **dB<sub>A</sub>incontri2005 – Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro - Verso un Manuale di buona pratica**  
Atti del Convegno di Bologna del 14 settembre 2005
- **dB<sub>A</sub>'06 Rumore, vibrazioni, microclima, campi elettromagnetici, radiazioni ottiche e ionizzanti - Valutazione, prevenzione e bonifica negli ambienti di lavoro**  
Atti del Convegno di Modena del 12 e 13 ottobre 2006  
*Volume 1: Rumore e vibrazioni*  
*Volume 2: Microclima*  
*Volume 3: Campi elettromagnetici, radiazioni ottiche e ionizzanti*
- **dB<sub>A</sub>incontri2008 – Titolo VIII del DLgs.81/2008 – Prevenzione e protezione dagli agenti fisici nei luoghi di lavoro: facciamo il punto**  
Atti del Convegno di Modena del 9 ottobre 2008
- **dB<sub>A</sub>incontri2009 – Interventi per la riduzione del rischio rumore. Legislazione, normativa, tecnologie, esperienze**  
Atti del Convegno di Modena del 24 settembre 2009
- **dB<sub>A</sub>'10 Rischi Fisici: valutazione, prevenzione e bonifica nei luoghi di lavoro. A che punto siamo**  
Atti del Convegno di Modena del 6 e 7 ottobre 2010

- **dB<sub>A</sub>incontri2011 – Laser e Radiazioni Ottiche Artificiali non coerenti. Valutazione, prevenzione, protezione, esperienze**  
Atti del Convegno di Modena del 21 settembre 2011
- **dB<sub>A</sub>incontri2012 – Aggiornamenti sul rischio rumore. Valutazione, prevenzione e protezione nei luoghi di lavoro**  
Atti del Convegno di Modena del 11 ottobre 2012
- **dB<sub>A</sub>incontri2014 – Agenti Fisici nei luoghi di lavoro: aggiornamenti, approfondimenti, esperienze**  
Atti del Convegno di Modena del 17 settembre 2014
- **dB<sub>A</sub>'15 Trent'anni di Prevenzione e Protezione dagli Agenti Fisici**  
Atti del Convegno di Modena del 27 maggio 2015
- **dB<sub>A</sub>incontri2016 – Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro. Legislazione, Valutazione, Tutela.**  
Atti del Convegno di Bologna del 21 ottobre 2016
- **dB<sub>A</sub>incontri2017 – Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti: valutazione e protezione alla luce della nuova normativa europea.**  
Atti del Convegno di Modena del 14 settembre 2017
- **dB<sub>A</sub>2018 – I rischi fisici nei luoghi di lavoro.**  
Atti del Convegno di Bologna del 17 ottobre 2018
- **dB<sub>A</sub>2019 – Agenti fisici e salute nei luoghi di lavoro.**  
Atti del Convegno di Bologna del 17 ottobre 2019
- **dB<sub>A</sub>2020 – La gestione del microclima nei luoghi di lavoro in presenza di una emergenza epidemica**  
Atti del Convegno on-line del 3 dicembre 2020
- **dB<sub>A</sub>2021 – Agenti fisici nei luoghi di lavoro – Radiazioni ionizzanti**  
Atti dei Convegni di Bologna del 2 e 3 dicembre 2021



- **dBA2022 – Rischi fisici emergenti nei luoghi di lavoro**  
Atti del Convegno di Bologna del 23 novembre 2022

## **Altre pubblicazioni**

### **Collana REACH**

- **REACH-OSH2022 – Sicurezza Chimica e Scheda di Dati di Sicurezza. La Nuova Scheda di Dati di Sicurezza per una nuova Valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, tossici per la riproduzione, cancerogeni, mutageni. (2022)**
- **REACH-OSH2021 – Sicurezza Chimica. Individuazione del pericolo, Valutazione del rischio, Valutazione dell’esposizione, Misure di gestione del rischio. (2021)**
- **CLP-REACH\_2020-COVID - Rischio chimico nei luoghi di vita e di lavoro. (2020)**
- **REACH-OSH\_2019 – Sostanze Pericolose: Valutazione del rischio, Scheda di Dati di Sicurezza, Scenari di Esposizione, Misure di gestione del rischio. (2019)**
- **REACH2018 – Sostanze Pericolose. Identificazione, Registrazione, Valutazione, Autorizzazione, Restrizione e Gestione del Rischio. (2018)**
- **REACH 2017 – L’applicazione dei Regolamenti REACH e CLP nei luoghi di vita e di lavoro e nel comparto metalmeccanico (2017)**
- **REACH 2016 – L’applicazione dei regolamenti REACH e CLP nei luoghi di vita e di lavoro (2016)**
- **REACH 2015 – L’applicazione dei regolamenti REACH e CLP nei luoghi di lavoro. L’applicazione dei Regolamenti Europei delle Sostanze Chimiche in ambito sanitario (2015)**
- **REACH 2014 - I Regolamenti Europei REACH e CLP: l’interazione tra le normative sociali e di prodotto, il confronto**

e l'assistenza alle imprese, l'armonizzazione europea dei controlli (2014)

## **Collana Risch**

- **RisCh 2014 – L'aggiornamento della valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni:** la valutazione della sicurezza chimica, la nuova scheda di dati di sicurezza e gli scenari di esposizione
- **RisCh 2012 – Agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni, REACH, CLP, SDS**
- **RisCh 2011 – Le nuove valutazioni del rischio da agenti chimici pericolosi e dell'esposizione ad agenti cancerogeni, mutageni**
- **RisCh 2010 – Le sostanze pericolose nei luoghi di lavoro.** Individuazione del pericolo, Regolamenti REACH e CLP, Scheda Dati di Sicurezza, Valutazione del rischio da agenti chimici pericolosi, cancerogeni e mutageni
- **RisCh 2008 – Sostanze pericolose:** agenti chimici pericolosi, cancerogeni, mutageni e l'amianto
- **RisCh 2006 – Il rischio chimico nei luoghi di lavoro:** identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione, sorveglianza sanitaria, esperienze ed approfondimenti
- **RisCh 2005 – Sostanze e preparati pericolosi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.** Classificazione ed autoclassificazione, etichettatura di pericolo e scheda di sicurezza, valutazione del pericolo e del rischio, aspetti critici ed innovativi. Il caso della silice libera cristallina

- **RisCh 2004 – Agenti cancerogeni, mutageni e chimici pericolosi:** l'applicazione dei Titoli VII e VII-bis DLgs.626/94, l'assistenza e la collaborazione con le parti sociali, la vigilanza e il controllo
- **RisCh-Bitume - Il rischio da agenti chimici nella produzione e messa in opera dei conglomerati bituminosi (2004)**
- **RisCh-La valutazione del rischio e dell'esposizione ad Agenti Chimici Pericolosi (2003)**
- **RisCh-Prevenzione e Protezione da Agenti Chimici Pericolosi. Le novità del D.Lgs.25/02, la valutazione e la giustificazione del rischio, le misurazioni e la sorveglianza sanitaria (2002)**
- **RisCh-Prevenzione e Protezione da Agenti Cancerogeni e Mutageni.** Le novità del D.Lgs.66/2000, la valutazione dell'esposizione, la sostituzione e i protocolli di prevenzione (2001)
- **RisCh'Alt-Prodotti chimici e tecnologie alternative all'impiego delle sostanze pericolose:** formulazioni e tecnologie meno pericolose per l'uomo e l'ambiente, le schede informative in materia di salute, sicurezza e ambiente (2000)
- **RisCh'Amb-La produzione compatibile con l'ambiente di vita e di lavoro:** approfondimenti sul D.Lgs.626/94, gestione dei rischi ambientali, assicurazione dell'ambiente (1999)
- **RisCh'dpi-I dispositivi di protezione individuale delle vie respiratorie:** aspetti normativi ed applicativi, linee guida e criteri per la scelta e l'uso, stato di applicazione del Titolo IV D.Lgs.626/94 (1999)
- **RisCh'flr-I fluidi lubrorefrigeranti nelle lavorazioni meccaniche:** Fattori di rischio - Misure di sicurezza ed igiene del lavoro - Tutela dell'ambiente (1998)



- **RisCh'SP-Le sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente:** identificazione dei pericoli, valutazione dei rischi, classificazione, obbligo di ricerca, imballaggio ed etichettatura, scheda di dati di sicurezza, vigilanza e controlli (1998)
- **RisCh'96-II rischio chimico negli ambienti di lavoro:** identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione (1996)

## **Collana SICUREZZA**

- **SICUREZZA 2017 – La gestione della sicurezza delle attrezzature di lavoro: i controlli e le verifiche periodiche.**
- **SICUREZZA 2015 – Aggiornamenti sugli ambienti confinati e sulle ATEX**
- **SICUREZZA 2010 – Attrezzature di lavoro e Direttive Comunitarie.** Applicazione dei RES e conformità delle attrezzature
- **SICUREZZA 2008 – La nuova organizzazione della sicurezza.** I sistemi della gestione della sicurezza ed i lavori in appalto
- **SICUREZZA 2006 – Procedure di sicurezza.** Progettazione e applicazione
- **SICUREZZA 2005 – Lavori in quota.** Apprestamenti di sicurezza e DPI
- **SICUREZZA 2004 – Atmosfere esplosive:** la valutazione e la gestione del rischio negli ambienti di lavoro
- **SICUREZZA 2003 – Sei anni di coordinamento nei cantieri temporanei e mobili**
- **SICUREZZA 2002 - Dall'eliminazione del pericolo alla gestione del rischio.** La sicurezza degli ambienti di lavoro, degli impianti, delle macchine

## Collana ASL incontri

- **ASL incontri-Esposizione professionale a silice libera cristallina.** Attuali livelli di esposizione e modelli di intervento per la riduzione del rischio. Ruolo della sorveglianza sanitaria tra obblighi di legge e efficacia preventiva (2008)
- **ASL incontri-Strutture sanitarie.** La sicurezza degli operatori e dei pazienti (2004)
- **ASL incontri-Promozione della qualità in medicina del Lavoro.** Orientamenti e Linee Guida per l'attività del medico competente (2002)
- **NIP 2001-Nuovi Insediamenti Produttivi. Requisiti e standard prestazionali degli edifici destinati a luoghi di lavoro.** Responsabilità del progettista. Sportello Unico per le Imprese. Requisiti d'uso, strutturali e di sicurezza. Requisiti igienistici e ambientali. Regolamento edilizio tipo
- **DPI 2000-II ruolo dei Dispositivi di Protezione Individuali nell'ambito della Prevenzione.** Prevenzione e DPI. Protezione da rumore e vibrazioni. Protezione degli occhi, delle vie respiratorie, degli arti superiori, del corpo. Protezione contro le cadute. Protezione del capo e dei piedi. Protezione antincendio e d'emergenza. Protezione in ambito sanitario. Aspetti critici ed obiettivi
- **ASL incontri-La smaltatura dei metalli.** Principali rischi per la salute. Indicazioni di prevenzione (2000)
- **Mmc-La movimentazione manuale degli ospiti nei servizi socio-assistenziali.** Valutazione del rischio. Orientamenti per la prevenzione (1999)







Il progetto dBA nasce a Modena nel 1985 da un'idea di Omar Nicolini. In un mondo del lavoro che chiedeva tutele e rivendicava salute dBA'85 si propose come un'occasione di confronto, un punto di riferimento, di coagulo per le tante esperienze disponibili sul rischio rumore che rappresentavano anche le esperienze trainanti per gli altri rischi per la salute e la sicurezza e che certamente diede impulso a molte altre idee ed iniziative, come il Salone Ambiente Lavoro. Evidenziare la praticabilità della prevenzione primaria fu infatti uno dei principali obiettivi di dBA, sostenuto già nel 1985 dalla presenza di una rassegna espositiva delle principali ditte del settore. Per inciso, la denominazione dell'iniziativa, più che per l'evidente assonanza con i decibel ponderati (A), segnala la volontà di realizzare una mostra convegno "della Bonifica Acustica".

Le successive edizioni del Convegno si sono tenute assumendo connotazioni diverse in relazione alle più importanti novità legislative ed alla volontà di affrontare l'insieme dei rischi fisici (rumore, vibrazioni, microclima, campi elettromagnetici, radiazioni ottiche e radiazioni ionizzanti) in un unico contenitore.

Oggi dBA è un'iniziativa matura che porta a sintesi il progetto di un confronto multidisciplinare sui rischi fisici e approfondisce gli argomenti più attuali in incontri dedicati a temi specifici, sempre nell'ambito dei rischi fisici, con contributi tecnicospicientifici sulle novità normative e la loro interpretazione, sugli effetti biologici dei fattori di rischio, sui problemi della sorveglianza sanitaria, delle tecniche di valutazione, misurazione e previsione dei rischi, delle misure di bonifica e di protezione degli esposti, nonché degli aspetti connessi al controllo ed alla vigilanza.

Ancora oggi dBA mantiene vivo l'interesse sui temi della salute nei luoghi di lavoro e tale intende continuare a essere anche con la vostra attenzione.



PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

---

ISBN 978-88-945863-6-7



---

Stampato in Italia – Printed in Italy – Marzo 2023

Stampato da Premiato Stabilimento Tipografico dei Comuni  
Soc.Coop. - Santa Sofia (FC)

