

- **Efficienza:** dati relativi a stato del macchinario (in funzione, in pausa, spento), tempi di produzione, controllo ph emulsione, oltre a una gestione ottimizzata delle manutenzioni;
- **Sicurezza:** monitoraggio di stato del macchinario (in funzione, in pausa, spento), dispositivi di protezione, calcolo del livello di pressione sonora presente e vibrazioni meccaniche prodotte.



Figura 8: Raccolta dati di monitoraggio in un ambiente di lavoro

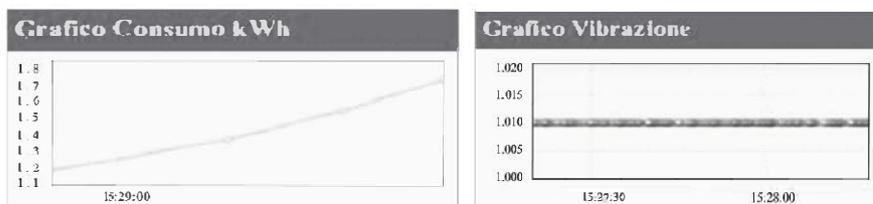


Figura 9: Grafici relativi ai dati di monitoraggio in un ambiente di lavoro

Oltre ai dati raccolti e ai relativi grafici, sul gestionale è presente il layout aziendale e per ogni macchinario è possibile visualizzare in tempo reale lo stato:

- In funzione (etichetta verde)
- In pausa (etichetta gialla)
- Fermo (etichetta rossa)

Sviluppato su tecnologie web 2.0, il sistema non richiede l'installazione di alcun software, non fissa un limite al numero di utenti ed è disponibile anche per Android.

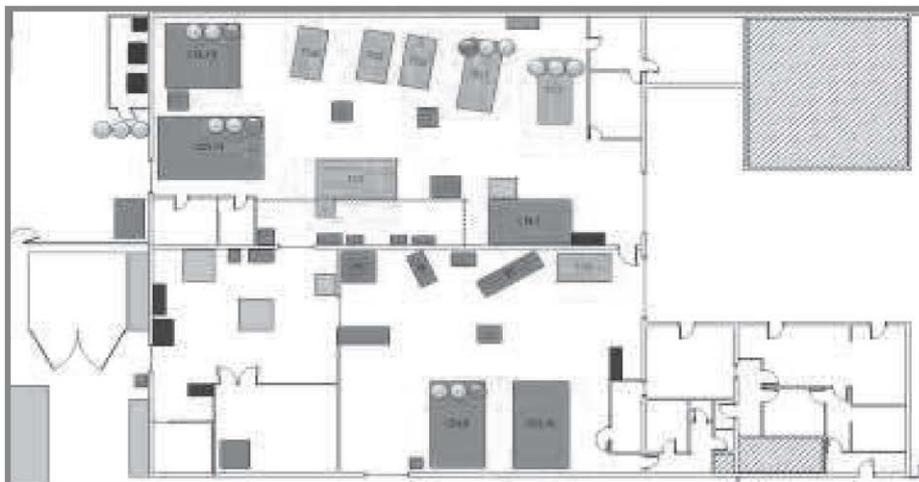


Figura 10: Layout aziendale con visualizzazione in tempo reale dello stato dei macchinari

Department Info						
Name: Sede Principale						
Address: Via S. Allende 111, Modena						
Phone: 059.250306 Fax: 059.253831						
Total Consumption: 335.95 kWh						
Device List						
Name	State	Port	Consumption	Noise	Vibration	
CDI.8	●●●	Chiusa	36.7 kWh	79.41 dB(A)	1.3 m/s ²	
CDI.13	●●●	Chiusa	20.5 kWh			
CDI.14	●●●	Assente	43.9 kWh			
TCI	●●●	Aperta	34.0 kWh	83.11 dB(A)		
TC7	●●●	Aperta	0.0 kWh	0.0 dB(A)	0.0 m/s ²	
CMP	●●●	Assente	192.9 kWh			
Alert List						
Label	State	Alarms	Time	Actions		

Figura 11: Report relativo allo stato dei macchinari in real-time

4 – CONCLUSIONI

FactoryMote è una soluzione semplice ed efficace per rispondere alle esigenze delle aziende. Il monitoraggio in tempo reale degli stabilimenti produttivi e dei macchinari e la raccolta di diversi dati hanno molteplici vantaggi.

Per la *sicurezza dei lavoratori*, tra i principali vantaggi si evidenziano:

- Monitoraggio remoto di attività non presidiate;
- Monitoraggio della sicurezza delle attività sui macchinari;
- Raccolta dati per il monitoraggio dell'esposizione del lavoratore da agenti fisici;
- Visualizzazione in tempo reale dello stato del singolo macchinario (in funzione, in pausa, fermo).

Per l'*analisi del processo produttivo*, tra i principali vantaggi si evidenziano:

- Acquisizione di dati relativi ai costi di produzione;
- Acquisizione di dati relativi ai consumi;
- Visualizzazione in tempo reale dello stato del singolo macchinario (in funzione, in pausa, fermo);
- Monitoraggio di qualità e performance del processo produttivo;
- Individuazione delle cause di inefficienza attraverso il monitoraggio in real-time.

5 - FONTI UTILIZZATE

Sitografia:

www.uni.com
www.iso.org
www.cen.eu
www.accredia.it
www.portaleagentifisici.it

Legislazione:

D.Lgs.81/2008 Titolo VIII - Agenti fisici
D.Lgs.475/92
D.Lgs.17/2010

Normative:

UNI EN ISO 9612:2011
UNI EN ISO 9001:2008
UNI EN ISO 14001:2004
UNI 9432:2011
UNI/TR 11347:2010

TUTTI INSIEME APPASSIONATAMENTE: RUMOURS, ANDROID E LA UNI ISO 1999:2015

Stefano Casini

CONTARP – INAIL Direzione Regionale Sicilia
Membro della Commissione Acustica UNI

Siamo alla fine di maggio e la scuola volge al termine, facciamo un veloce ripasso di tutte le materie prima degli esami.

1 – STORIA

<010100110101010001001111010100100100100101000001>

La prima versione della ISO 1999^[1] risale al 1975, ed è focalizzata alla determinazione del rischio di danni all'udito legato all'esposizione professionale a rumore.

L'esposizione presa in considerazione per valutare il rischio è quella settimanale; il criterio di rischio è che la media della somma delle perdite uditive a 500, 1000 e 2000 Hz sia superiore a 25 dB; non vengono fornite né le formule né il database di riferimento per il calcolo delle perdite uditive; viene fornita solo una tabella che indica il rischio in funzione del livello di esposizione settimanale (ad intervalli di 5 dBA) e degli anni di esposizione (ad intervalli di 5 anni).

A titolo di curiosità, nell'allegato A viene descritto il metodo a banda d'ottava per calcolare il livello d'esposizione di chi indossa dispositivi di protezione individuale dell'udito (la prima edizione della ISO 4869^[2] uscirà solo nel 1981, e la EN 458^[3] ancora dopo).

Nel 1984 esce la ISO 7029^[4] che da allora camminerà di pari passo con la ISO 1999; la norma ISO 7029 contiene il database di riferimento per le perdite uditive dovute al solo invecchiamento di una popolazione di individui "otologicamente normali", dove l'individuo otologicamente normale è colui che è privo di patologie all'orecchio e non è stato esposto indebitamente a rumore nel corso della propria vita; i valori del database sono differenti tra maschi e femmine.

Già nel 1984 la ISO 1999 era in revisione, in forma di bozza: la seconda edizione verrà definitivamente pubblicata nel 1990, e resterà lo stato dell'arte per oltre vent'anni.

Rispetto alla prima versione, la ISO 1999:1990^[5] già dal titolo è diversa, è una norma ricca e completa tanto da diventare norma di riferimento per la Direttiva Europea 2003/10/CE^[6] sull'esposizione al rumore dei lavoratori.

La ISO 1999:1990 contiene adesso le definizioni per il livello di pressione sonora equivalente (L_{eq}) e per il livello di esposizione sonora normalizzato alle 8 ore (in Italia $L_{ep,d}$

col D.Lgs. 277/1991^[7], $L_{EX,BH}$ dal D.Lgs. 195/2006^[8]; viene descritto in dettaglio come misurare l'esposizione al rumore (strumentazione, metodi, campionamento e statistica); vengono fornite le formule per calcolare le perdite uditive in funzione dell'età e dell'esposizione a rumore; viene fornito il database di riferimento della ISO 7029 per popolazione di individui "otologicamente scremati" (database A), nonché un database di esempio riferito ad una popolazione di individui "otologicamente non scremati" (database B); il criterio di rischio è che la media della somma delle perdite uditive a 1000, 2000 e 4000 Hz sia superiore a 27 dB.

Passano gli anni, la ISO 7029 si evolve nel 2000^{[9][10]} e dopo oltre dieci anni esce la ISO 1999:2013^[11]: la terza edizione della norma è dimagrita nella parte relativa alle definizioni e nella parte relativa alla misurazione dell'esposizione al rumore, per le quali si fa riferimento alla ISO 9612^{[12][18]}; rimangono pressoché invariate le formule per calcolare le perdite uditive in funzione dell'età e dell'esposizione al rumore; vengono fatti piccoli cambiamenti ai valori del database A per seguire l'evoluzione della ISO 7029; la norma viene però arricchita con ben 3 database riferiti a "popolazioni reali" di Svezia, Norvegia e USA.

Infine, su proposta dell'Autore di questo articolo, la ISO 1999:2013 viene tradotta in italiano e recepita in Italia diventando la UNI ISO 1999:2015^[13].

2 - GEOGRAFIA

<010001110100010101001111010001110101001001000001010001100100100101000001>

Le diverse versioni della ISO 1999 (e della 7029) sono state sviluppate sulla base di studi ed indagini epidemiologiche eseguiti in nazioni del Nord Europa, Stati Uniti e Giappone; tant'è che nella ISO 1999:2013^[11] sono stati inseriti i database per popolazione reale B2 (Svezia), B3 (Norvegia) e B4 (USA); purtroppo non abbiamo notizia né di contributi né di studi italiani su larga scala dai quali poter ricavare un database B che rispecchi le perdite uditive legate all'invecchiamento degli individui nel nostro paese; questo costituisce un limite nell'applicare le formule di calcolo delle perdite uditive statisticamente attese per una popolazione reale; pertanto, fino ad oggi si è preferito utilizzare il database A riferito ad una popolazione ideale.

A titolo informativo, dal confronto tra i 3 database emerge che, per la popolazione maschile, il database B3 (Norvegia) è quello che si avvicina maggiormente al database ideale A, seguendone l'andamento con una differenza limitata generalmente a 3-4 dB; il database B2 (Svezia) manifesta i valori di perdita uditiva maggiori fino a 3000 Hz, mentre per le frequenze superiori le perdite maggiori si hanno con il database B4 (USA).

Per la popolazione femminile si ha invece una forte similitudine tra il database B3 ed il database B4, mentre il database B2 mostra perdite sensibilmente maggiori rispetto agli altri due; inoltre, fino a 2000 Hz, le differenze tra B3 e B4 ed il database ideale A sono dell'ordine dei 10 dB, mentre alle frequenze superiori le differenze scendono ad un paio di decibel; superati i 70 anni d'età, addirittura le perdite alle alte frequenze sono superiori nella popolazione reale rispetto a quelle stimate per la popolazione norvegese e statunitense!

3 - FILOSOFIA

<0100011001001001001100010011110101001101001111010001100100100101000001>

La UNI ISO 1999:2015^[13] presenta, in termini statistici, la relazione tra l'esposizione al rumore e lo spostamento permanente della soglia uditiva causata dal rumore (NIPTS) nelle persone di diversa età; fornisce procedure per stimare la perdita di udito causata dall'esposizione al rumore di popolazioni selezionate (*"otologicamente scremate"*), prive di menomazioni dell'udito che non siano quelle causate dal rumore, o di popolazioni non selezionate (*"otologicamente non scremate"*) la cui capacità uditiva sia stata misurata o stimata mediante studi epidemiologici.

Per una popolazione campione, esposta ad un rumore specifico, si possono determinare i cambiamenti nelle distribuzioni statistiche dei livelli di soglia uditiva; il NIPTS si applica alle variazioni dello spostamento di soglia permanente indotto dal rumore di distribuzioni statistiche di gruppi di persone, e non ai singoli individui; pertanto non è possibile determinare con esattezza per un singolo individuo quali cambiamenti nel livello di soglia uditiva sono causati dal rumore e quali sono causati da altri fattori anche se, nei singoli casi dubbi, i dati di questa Norma possono fornire un ulteriore mezzo per stimare le cause più probabili nella diagnosi audiologica.

La Norma può essere applicata per calcolare il rischio di soffrire una perdita uditiva causata dall'esposizione regolare al rumore professionale o a causa di qualsiasi altra esposizione extra-professionale al rumore ripetuta ogni giorno; quindi è importante tenere in considerazione l'esposizione non professionale dei singoli individui, ad esempio durante gli spostamenti da e verso il posto di lavoro, a casa o durante le attività ricreative (discoteca, tiro a segno, ecc.).

Se l'esposizione extra-professionale è trascurabile rispetto all'esposizione professionale la Norma consente la previsione delle perdite uditive causate dall'esposizione al rumore in ambiente di lavoro; altrimenti, dovrebbe essere usata per calcolare la perdita uditiva da aspettarsi dall'esposizione totale quotidiana combinata al rumore (professionale e non).

La Norma definisce il **rischio di danno uditivo dovuto al rumore** come *"il rischio di danno uditivo in una popolazione esposta al rumore meno il rischio di danno uditivo in una popolazione non esposta al rumore ma altrimenti equivalente alla popolazione esposta"*; mentre il **danno uditivo** è definito come *"effetto della perdita uditiva sulle attività di vita quotidiana"*; la **perdita uditiva** è la *"deviazione o cambiamento in peggio della soglia uditiva dal normale"*, ed il **valore accettabile** è il *"livello di soglia uditiva superato il quale si configura l'esistenza di danno uditivo"*.

Poiché la perdita uditiva causata dall'esposizione al rumore sul lavoro può avere conseguenze legali sia rispetto alle responsabilità che al risarcimento, la scelta del criterio per valutare il **rischio di danno uditivo dovuto al rumore** e del **valore accettabile** richiede di considerare fattori etici, sociali, economici, politici che non sono oggetto di normazione tecnica ma lasciati alla legislazione nazionale.

Ricordiamo che dal 1990 per circa un decennio in Italia l'ipoacusia da rumore è stata la malattia professionale percentualmente più denunciata, con punte anche del 60% dei casi^[17]; e ad oggi nessuna legge, decreto o linea guida ha proposto un criterio oggettivo per valutare il **rischio di danno uditivo dovuto al rumore**; lo scrivente, a suo tempo, ne propose alcuni^[14]; ci si augura che con il recepimento italiano della UNI ISO 1999:2015 l'argomento torni ad essere d'attualità.

4 - APPLICAZIONI TECNICHE

<010000010101000001010000010011000100100101000011010000010101101001001001010011110100111001001001001000000101010001000101010000110100111001001001010000>

A cosa serve una norma che ci dice le perdite uditive stimate di una popolazione campione non meglio definita e che non andrebbe applicata ai singoli individui? Può darci un ordine di grandezza con cui confrontare gli audiogrammi del singolo o del piccolo gruppo di lavoratori.

In un sistema di sicurezza aziendale ben gestito esistono sinergie tra il medico competente ed il tecnico della sicurezza che si scambiano informazioni, procedono congiuntamente ai sopralluoghi, monitorizzano in continuo sia la salute dei lavoratori che la sicurezza dei macchinari, individuano insieme ai lavoratori quali dispositivi di protezione individuale utilizzare, ecc.; lì dove esistono rischi legati all'esposizione al rumore, quando il medico competente confronta i risultati degli audiogrammi reali dei lavoratori con le previsioni statistiche della UNI ISO 1999:2015^[13], in caso di notevoli discrepanze, può far scattare tanti campanelli d'allarme nel sistema di sicurezza aziendale:

- i $L_{EX,8h}$ riportati nella valutazione dei rischi sono stati sottostimati?
- i dispositivi di protezione collettiva sono efficienti?
- i dispositivi di protezione individuali forniti ai lavoratori sono efficaci nel ridurre l'esposizione sotto il livello inferiore d'azione?
- i dispositivi di protezione vengono utilizzati correttamente?
- ci sono altri possibili agenti di rischio (chimici, vibrazioni) che possono influire sulle perdite uditive e che sono stati sottovalutati?
- il lavoratore ha una storia pregressa di esposizione al rumore professionale o un'esposizione extra professionale delle quali il medico non è a conoscenza?

Solo da un esame congiunto è possibile individuare le probabili cause dei disturbi uditivi manifestati dai lavoratori, onde trovare le soluzioni adatte.

Un altro possibile utilizzo della Norma è quello di prevedere per popolazioni numerose di lavoratori la riduzione del rischio legata all'adozione di interventi di bonifica del rumore, ed i conseguenti benefici economici: si vedano ad esempio le conclusioni di una simulazione^[15] effettuata nel 1997 (in lire) dallo scrivente, ipotizzando una riduzione dell'esposizione di 5 dBA.

"...in una azienda di medie dimensioni, con 100 operai esposti al rumore di 90 dBA, teoricamente all'Istituto converrebbe spendere 500 milioni in dieci anni per insonorizzare le postazioni di lavoro, piuttosto che pagare le rendite per le ipoacusie che concede, causate dall'alto livello di rumore!"

Infine, nelle cause civili e/o penali legate all'esposizione al rumore professionale, i risultati della ISO 1999 possono fornire ulteriori utili elementi di giudizio al CTU o al giudice, fermo restando il ruolo preponderante delle altre variabili in gioco (la soggettività biologica, le prove testimoniali, ecc.) nel valutare la sussistenza del rischio, e le conseguenti responsabilità.

Senza arrivare agli estremi come in una famosa sentenza in cui il datore di lavoro fu condannato perché il lavoratore manifestava una perdita uditiva superiore di 2 dB rispetto alle previsioni statistiche (fu più asino il giudice o il CTU?).

5 – MATEMATICA

<01001101010000010101010001000101010011010100000101010100010010010100001101000001>

La UNI ISO 1999:2015^[13] definisce:

- **HTLA** (Hearing Threshold Level associated with Age) la perdita uditiva associata ai soli effetti dell'età;
- **NIPTS** (Noise Induced Permanent Threshold Shift) la perdita uditiva associata alla sola esposizione al rumore;
- **HTLAN** (Hearing Threshold Level associated with Age and Noise) come la perdita uditiva associata all'effetto combinato di età ed esposizione al rumore.

L'elaborazione matematica delle formule presentate nella Norma fornisce come risultato le perdite uditive statisticamente attese per 6 frequenze audiometriche (500, 1000, 2000, 3000, 4000 e 6000 Hz) parametrate in funzione del frattile della popolazione (dal frattile 5%, individui maggiormente otosensibili, al frattile 95%, individui meno otosensibili, passando per il 50%, individui medi).

Per calcolare i valori di **HTLA** (Figura 1) è necessario conoscere l'età ed il sesso degli individui della popolazione campione; è inoltre necessario utilizzare un *database* di riferimento (database A per popolazione ideale, database B per popolazione reale).

Per calcolare i valori di **NIPTS** (Figura 2) è necessario conoscere il *livello d'esposizione* quotidiano al rumore e gli *anni di esposizione*; non c'è alcun database da selezionare, ed i risultati non differiscono tra maschi e femmine.

Per calcolare i valori di **HTLAN** (H') (Figura 3) è necessario calcolare sia il **NIPTS** (N) che **HTLA** (H), essendo legati dalla relazione:

$$H' = H + N - \frac{H \times N}{120}$$

Per calcolare il **rischio di danno uditivo dovuto all'esposizione al rumore** è necessario definire, oltre ad **HTLA**, **HTLAN** e **NIPTS**, un **criterio di danno** (generalmente legato ad una combinazione più o meno pesata delle perdite uditive a diverse frequenze audiometriche); il criterio di danno comprende un **valore accettabile** al di sotto del quale si ritiene che le perdite uditive non siano tali da generare un handicap apprezzabile nell'individuo colpito, e non ultima la cosiddetta **età convenzionale** cui riferirsi per i calcoli delle perdite uditive; infatti, con alcune scelte di **criterio di danno** e **valore accettabile**, il rischio di danno uditivo dovuto al rumore può diminuire dopo un certo numero di anni di esposizione.

Questo è uno svantaggio intrinseco del concetto di rischio di danno uditivo e non deve essere interpretato come se col passare degli anni gli effetti nocivi del rumore cessassero di esistere: la spiegazione è che gli individui che hanno superato il valore accettabile a causa delle perdite uditive correlate all'età non sono più idonei ad essere soggetti al rischio di danno uditivo dovuto al rumore.

Lo scrivente utilizza per i propri criteri di danno un valore dell'età convenzionale pari a 65 anni; i motivi di tale scelta sono meglio dettagliati in "*Calcolo del rischio di danno uditivo*"^[14].

6 - INFORMATICA

<0100100101001110010001100100111101010010010011010100000101010100010010010100001101000001>

Nato clandestinamente nel 1994, e distribuito in forma ufficiale dal 1995, **Rumours**^[16] è un software per la valutazione del rischio e del danno da esposizione professionale al rumore realizzato dallo scrivente.

Inizialmente permetteva solo di calcolare i livelli di esposizione personale quotidiani e settimanali al rumore, l'invalidità lavorativa generica legata alle perdite e di visualizzare le perdite uditive statisticamente attese elaborando gli algoritmi della ISO 1999:1990; nel tempo si è evoluto, passando dalla versione per sistemi operativi Windows3.1 a 16 bit a quelli successivi a Windows95 a 32 bit, guadagnando via via nuove routine quali la scelta ed il calcolo degli otoprotettori, il calcolo dell'incertezza associata alle misure, il calcolo del rischio di danno uditivo, il calcolo del livello per i gruppi acusticamente simili, la generazione di rapporti di valutazione del rumore e del *Programma Aziendale di Riduzione dell'Esposizione (PARE)*^[17] al rumore.

Attualmente **Rumours 2.3** per PC viene distribuito in forma gratuita grazie ad **Assoacustici** di Milano.

Dal 1994 ad oggi sono cambiate le esigenze di mobilità, tablet e smartphone vanno sostituendo i notebook in molte applicazioni, perciò lo scrivente ha realizzato specifiche versioni di **Rumours** e del fratello minore **Tremours** da utilizzare su dispositivi con sistema operativo *Android*, augurandosi la diffusione ed il successo delle versioni per PC (ad oggi oltre mille utenti registrati per ciascun software).

Attualmente *Android* è il sistema operativo per tablet e smartphone più diffuso nel mondo, con un numero di installazioni prossimo al miliardo; è un sistema Open Source, non proprietario; ogni mese vengono scaricate dal sito ufficiale Google Play Store un miliardo e mezzo di app.

L'interfaccia principale di **Rumours** per *Android* vede raggruppate per aree tematiche le icone delle varie routine di calcolo; le impostazioni (**Figura 4**) permettono la visualizzazione sia su base orizzontale (**Figura 5**) che verticale (**Figura 6**).

I dati inseriti dall'utente possono essere salvati (**Figura 7**) in un database interno del device (smartphone o tablet), il quale viene fornito già completo di esempi e dei valori di attenuazione degli otoprotettori più diffusi (**Figura 8**); è anche possibile importare o esportare dati nel formato utilizzato da **Rumours** per PC per poter trasferire il lavoro dal device al PC e viceversa, mediante una speciale cartella che viene creata nel device (**Figura 9**).

Le interfacce delle singole routine sono state riprogettate per adeguarsi al formato più piccolo degli schermi ed all'input tramite touch screen; si vedano ad esempio quelle dell'inserimento dei compiti per il calcolo dell'incertezza secondo la EN ISO 9612:2012^[18] (**Figura 10**), quella per il calcolo del $L_{EX,8h}$ (**Figura 11**), quella per il calcolo dei DPI col metodo SNR (**Figura 12**).

Infine, ritornando alla ISO 1999, si possono visualizzare grafici e tabelle risultanti dai calcoli eseguiti dalle varie routine: ad esempio *HTLA* (**Figure 13, 14, 15**), *Rischio* (**Figure 16, 17, 18**), *Tempo massimo di esposizione* (**Figure 19, 20, 21**).

Per informazioni sulle funzionalità e sulle versioni aggiornate del software si può visitare il sito Internet dell'Autore^[19] o contattarlo tramite **Assoacustici**.

7 – DISEGNO

<01000100010010010101001101000101010001110100111001001111>



Figura 1



Figura 2



Figura 3



Figura 4



Figura 5



Figura 6



Figura 7

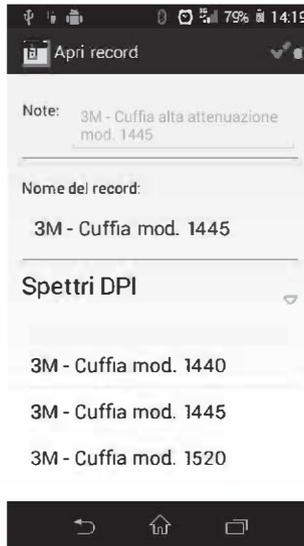


Figura 8

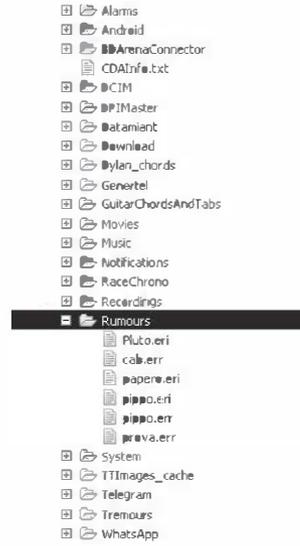


Figura 9



Figura 10



Figura 11



Figura 12

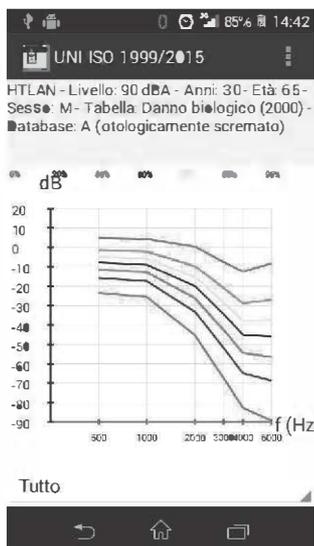


Figura 13

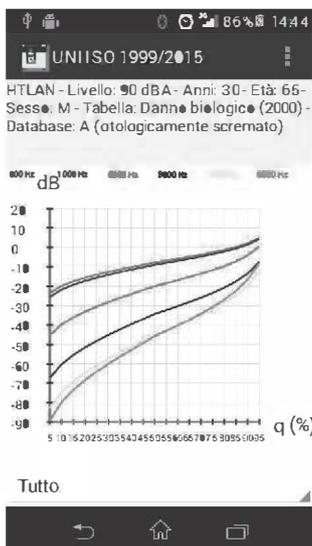


Figura 14

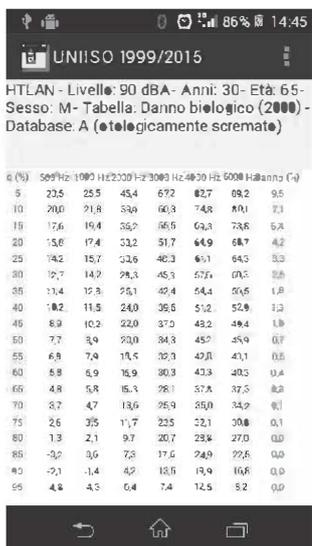


Figura 15



Figura 16

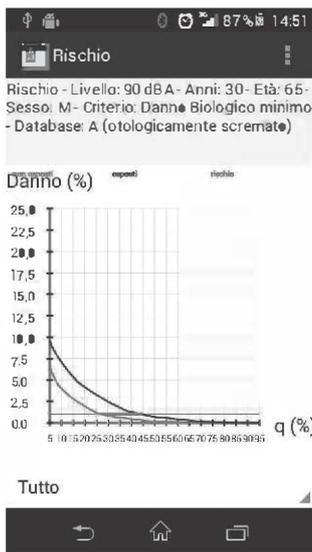


Figura 17

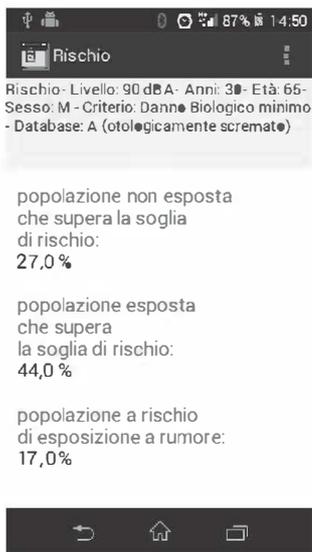


Figura 18



Figura 19

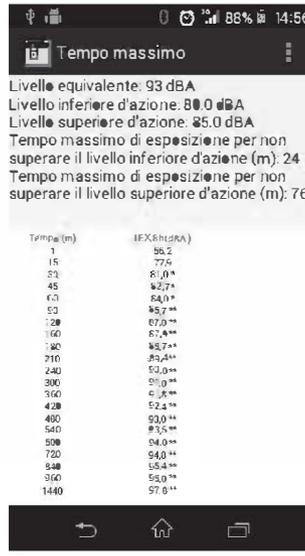


Figura 20



Figura 21

8 - LETTERATURA

<010011000100010101010100010101000100010101010010010000010101010001010101001001000001>

- [1] - ISO 1999:1975 "Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purpose"
- [2] - ISO 4869:1981 "Measurement of sound attenuation of hearing protectors – Subjective method"
- [3] - EN 458 "Protettori auricolari. Raccomandazioni per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione. Documento di guida."
- [4] - ISO 7029:1984 "Threshold of hearing by air conduction as a function of age and sex for otologically normal persons"
- [5] - ISO 1999:1990 "Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment"
- [6] - Direttiva Europea 2003/10/CE del 6 febbraio 2003 "sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore)"
- [7] - Decreto Legislativo 277/1991 del 15 agosto 1991 "Attuazione delle direttive n. 80/1107/CE, n. 82/605/CE, n. 83/477/CE, n. 86/188/CE e n. 88/642/CE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'art. 7 della legge 30 luglio 1990, n. 212"
- [8] - Decreto Legislativo 195/2006 del 10 aprile 2006 "Attuazione della direttiva 2003/10/CE relativa all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore)"
- [9] - ISO 7029:2000 "Statistical distribution of hearing thresholds as a function of age"

- [10] - UNI EN ISO 7029:2002 *“Distribuzione statistica della soglia audiometrica in funzione all’età”*
- [11] - ISO 1999:2013 *“Estimation of noise-induced hearing loss”*
- [12] - ISO 9612:2009 *“Determination of occupational noise exposure - Engineering method”*
- [13] - UNI ISO 1999:2015 *“Stima della perdita uditiva indotta dal rumore”*
- [14] - S. CASINI *“Calcolo del rischio di danno uditivo”* Atti del convegno **“dba 2002 rischi fisici negli ambienti di lavoro”** - USL Modena, 2002
- [15] - D. BELLOMO, S. CASINI, M.P. MARINO, P. MURA *“Sistema di incentivi alle imprese per la prevenzione”* Atti del convegno **“Analisi del rischio assicurato”** - INAIL, 1997
- [16] - ASSOACUSTICI *“Rumours 2.3 – Software per la valutazione del rischio e del danno da rumore professionale – realizzato dall’ing. Stefano Casini”*
www.assoacustici.it
- [17] - S. CASINI, O. NICOLINI *“Tra il dire e il fare c’è di mezzo il PARE”*
- [18] - UNI EN ISO 9612:2012 *“Determination of occupational noise exposure - Engineering method (Determinazione dell’esposizione professionale a rumore negli ambienti di lavoro – Metodo tecnico progettuale)”*
- [19] - Stefano Casini Home Page - www.iascin.it

ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI A VIBRAZIONI DOVUTE ALL'UTILIZZO DI MOTOSEGHE CON ACCUMULATORE ED ELETTROSEGHE

Lucia Bertuzzi¹, Fabio Fabiano², Mauro Giannelli¹, Enrico Marchi², Riccardo Sabatini¹

¹: ASL Firenze –Dipartimento di Prevenzione – U.F.C. PISLL Setting Sud-Est

²: Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali

1 – PREMESSA

Nel settore agricolo ed in quello forestale è frequente l'uso di motoseghe e l'esposizione dei lavoratori ai rischi connessi con tale utilizzo provoca talvolta infortuni e/o varie patologie tra cui quelle connesse all'esposizione a vibrazioni. E' esperienza dell'organo di vigilanza incontrare lavoratori che in conseguenza di tali patologie, vengono destinati ad altra mansione, talvolta anche non strettamente attinente il lavoro agricolo-forestale. Questo lavoro si prefigge di approfondire quali siano i livelli di emissione di vibrazioni per le motoseghe con accumulatore e le elettroseghe, che pur non potendo in toto sostituire l'utilizzo delle motoseghe a motore endotermico a causa di limiti intrinseci legati alle loro caratteristiche tecnologiche, quali ad esempio limiti riguardanti la potenza, l'autonomia, ecc., grazie ai livelli sia di vibrazioni che di rumore a cui danno luogo, possono costituire un modo per l'impiego di lavoratori con idoneità parziali al lavoro e consentire ad essi di continuare ad operare nel loro settore di impiego. E' un fatto noto che il valore d'azione per l'esposizione giornaliera a vibrazioni $A(8)=2,5\text{m/s}^2$ non sia un reale limite di sicurezza [2]. La norma [2] per la valutazione del rischio da vibrazioni mano-braccio, ad esempio, contiene un grafico riportato in **Figura 1** che indica una certa probabilità che un gruppo di lavoratori particolarmente sensibili, possa acquisire disturbi circolatori pur con esposizioni giornaliere intorno al valore d'azione, in capo ad una decina d'anni. Occorre pertanto, cercare di minimizzare l'esposizione, per abbassare più possibile la probabilità di acquisire qualsiasi patologia o disturbo legato all'esposizione professionale a vibrazioni.

2 – PROVE EFFETTUATE

Grazie alla collaborazione del Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali - GESAAF - Università degli Studi di Firenze e dell'Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Vallombrosa del Corpo Forestale dello Stato, è stato allestito presso il Complesso Demaniale di Vallombrosa,

Reggello (FI), un campo prova attrezzato con: tronchi di legno di abete e douglasia con diametro variabile da 18 a 32 cm; due elettroseghe e due motoseghe a batteria (una da potatura) marca Stihl elencate in **Tabella 1**.

figura C.1 Esposizione alle vibrazioni associata ad una prevalenza del 10% di disturbi vascolari (dito bianco) in un gruppo di persone esposte

Legenda

X Valore di $A(8)$, m/s^2

Y Durata di esposizione, in anni

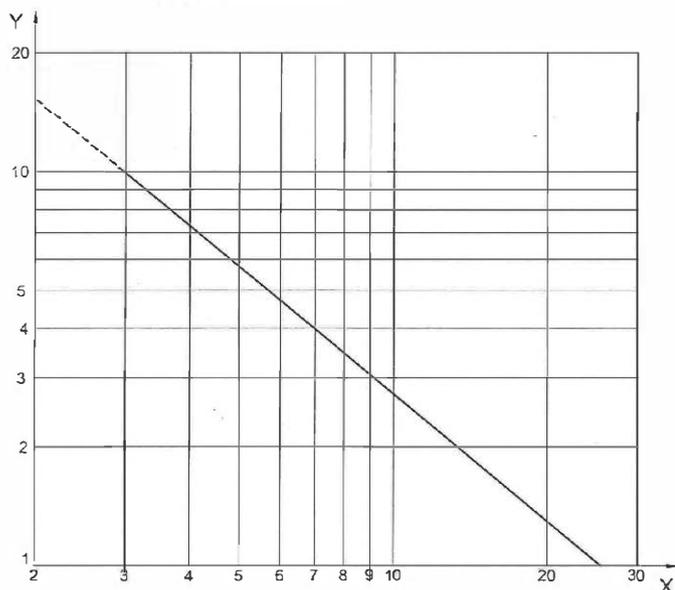


Figura 1: Grafico tratto dalla norma UNI 5349-1

Tabella 1: Le caratteristiche delle quattro attrezzature testate

Macchina	Tipo	Anno	Potenza (kW)	Peso in ordine di lavoro (kg)
MSA160T (Foto 1) (da potatura)	Accumulatore	2014	n/d	3,6 ⁽¹⁾
MSA200C (Foto 2)	Accumulatore	2014	n/d	4,7 ⁽²⁾
MSE180C (Foto 3)	Elettrica	2008	1,8	4,6
MSE220C (Foto 4)	Elettrica	2011	2,2	6,7
⁽¹⁾ Con accumulatore AP15 da 118Wh		⁽²⁾ Con accumulatore AP180 da 178 Wh		

Nelle **Figure 2 e 3**, sono visibili le quattro macchine, nuove di fabbrica, compreso i loro accessori di taglio.



Figura2: Motoseghe con accumulatore MSA160T e MSA200C



Figura 3: Elettrosega MSE180C e MSE220C

Gli strumenti di misura sono: un analizzatore a sei canali Marca Svantek Mod. 106 e relativi accelerometri triassiali SV105 sensibilità 1mv/g con adattatore palmare che consente la misura di vibrazione contemporaneamente su entrambe le impugnature dell'attrezzo in prova; un vibrometro a tre canali Marca Larson Davis Mod. Hvm100 con relativo accelerometro triassiale SEN021 con sensibilità 10mV/g (Figura 4); un calibratore per accelerometri marca APTecnology Mod. AT01, un analizzatore quattro canali Marca 01dB Mod. Harmonie con relativo microfono 01dB mod. MCE212, un calibratore acustico Marca 01 dB Mod. Cal21. Le prove sono state effettuate nel mese di aprile 2015, in conformità con il D.Lgs.81/2008 [1] ovvero secondo la norma Uni 5349 del 2004 [2] con tre diversi operatori forestali.

2.1 CONDIZIONI DI MISURA

Le misure di vibrazioni sono state eseguite con gli strumenti citati: in quelle con l'analizzatore a sei canali gli accelerometri sono stati fissati all'interno di due adattatori palmari e questi "impugnati" insieme alla motosega, mentre nel caso del vibrometro, l'accelerometro e' stato fissato tramite fascette di plastica, prima ad una impugnatura, e poi la misura è stata ripetuta con l'accelerometro fissato all'altra impugnatura. In parallelo sono state fatte misure di rumore emesso dalle macchine, riportando i L_{eq}

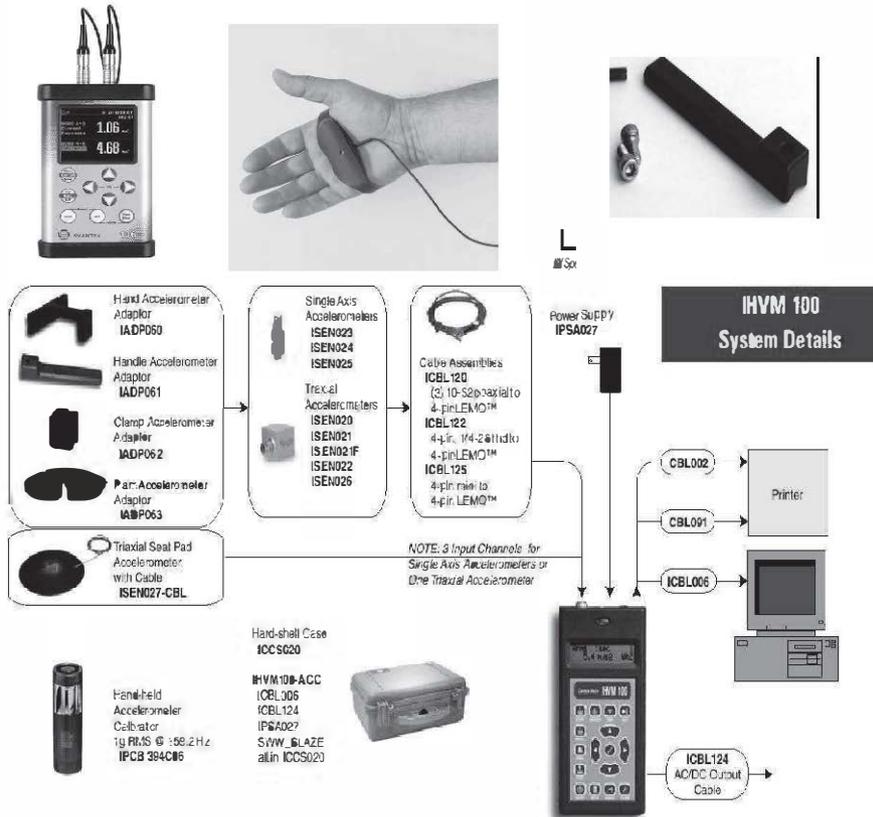


Figura 4: i due strumenti di misura per le vibrazioni utilizzati ed i relativi accessori.

In **Figura 5** sono visibili dei montaggi effettuati sull'impugnatura anteriore per misure con HVM100 mentre in **Figura 6** si vede una delle prove effettuate con l'analizzatore Svantek.

Su ciascuna apparecchiatura, (che per semplicità chiameremo genericamente "motosega") è stata montata una barra di lunghezza diversa e di conseguenza sono stati eseguiti tagli su tronchi di diametri diversi, ciascuno proporzionato alla lunghezza di barra montata.

Si riporta la **Tabella 2** contenente la lunghezza di barra di ciascuna delle quattro macchine ed i diametri dei tronchi rispettivamente tagliati da ciascuna di esse.

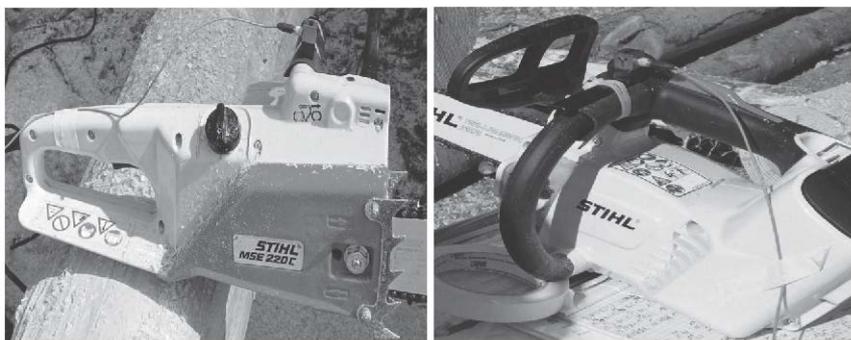


Figura 5: Accelerometro fissato con fascette per misure con HVM100.



Figura 6: Prova con Svantek: dai guanti da lavoro escono i cavi di collegamento con l'unità di acquisizione, tenuti fermi tramite nastro adesivo.

Tabella 2: Macchine, dispositivi di taglio montati, specie e diametri tagliati

Macchina	Lungh. barra (cm)	Lungh. effettiva di taglio (cm)	Catena tipo	Catena Passo (")	Catena Tipo di dente	Specie e Ø dei tronchi tagliati (cm)
MSA160T	30	25	RSC3	3/8"	scalpello	douglasia, 18-19
MSA200C	35	30	PS3	3/8" Picco	semi tondo	abete, 28-29,5
MSE180C	40	35	PM3	1/4"	semi tondo	abete, 27-28,5
MSE220C	45	40	PM3	1/4"	semi tondo	abete, 30-32

Le misure sono state effettuate mentre l'operatore addetto alla motosega effettuava un taglio completo in sezione trasversale (ricavando una rotella di

legno) da un tronco: tale operazione è stata ripetuta almeno 8 volte per ogni impugnatura di ciascuna motosega e per ogni operatore. Pertanto nel complesso sono state effettuate circa 160 prove.

2.2 ELABORAZIONE DELLE MISURE E RISULTATI

Per confrontare le diverse misure ci si riferisce non solo ai livelli di accelerazione misurati a_w ma anche alle “dosi” a parità di operazione svolta, ovvero ad una quantità $a_w^2 t$ che tenga anche conto del tempo t necessario ad effettuare quella determinata operazione. Nel presente lavoro si è inteso fare una valutazione completa, in accordo con la normativa italiana [1] che impone di valutare entrambe le impugnature per poi considerare, ai fini del calcolo della esposizione giornaliera A(8), il valore di a_w più alto tra i due.

2.2.1 – Risultati: livelli di accelerazione a_w misurati e dosi $a_w^2 t$ calcolate

I risultati espressi sia in termini di livelli di accelerazione a_w (m/s^2) misurati, che di dosi $a_w^2 t$ (m^2/s^3) calcolate, sono contenuti nella **Tabella 3** per le motoseghe con accumulatore ed in **Tabella 4** per le elettroseghe.

Tabella 3: Livelli di a_w (m/s^2) e dosi $a_w^2 t$ (m^2/s^3) per le motoseghe con accumulatore

	MSA 160T				MSA200C			
	$a_w^2 t$		a_w		$a_w^2 t$		a_w	
impugnatura POSTERIORE dx								
min	42		1,26		170		2,76	
Max	51		1,43		280		3,10	
Media	45		1,33		219		2,98	
dev st "tipica" intra-operatore	12	25%	0,18	13%	87	39%	0,78	26%
dev st inter-operatori	5	11%	0,09	7%	56	26%	0,19	6%
	$a_w^2 t$		a_w		$a_w^2 t$		a_w	
impugnatura ANTERIORE sx								
min	41		1,27		164		2,66	
max	44		1,48		257		3,04	
media	43		1,37		212		2,90	
dev st "tipica" intra-operatore	7	16%	0,25	18%	74	35%	0,73	25%
dev st inter-operatori	2	4%	0,11	8%	47	22%	0,22	7%

Tabella 4: Livelli di a_w (m/s^2) e dosi a_w^2t (m^2/s^3) per le elettroseghe

	MSE180C				MSE220C			
	a_w^2t		a_w		a_w^2t		a_w	
impugnatura POSTERIORE dx								
min	412		3,81		381		3,47	
max	738		3,98		621		3,70	
media	529		3,91		526		3,60	
dev st "tipica" intra-operatore	195	37%	1,05	27%	123	23%	0,64	18%
dev st inter-operatori	182	34%	0,09	2%	128	24%	0,12	3%
	a_w^2t		a_w		a_w^2t		a_w	
impugnatura ANTERIORE sx								
min	128		2,03		129		2,09	
max	199		2,35		224		2,25	
media	166		2,17		165		2,18	
dev st "tipica" intra-operatore	25	15%	0,22	10%	31	19%	0,25	12%
dev st inter-operatori	36	22%	0,16	8%	51	31%	0,09	4%

Facendo riferimento alle dosi il primo dato è che il loro valore medio è assolutamente inferiore a quelle registrate in studi precedenti [3] per le motoseghe classiche, d'altronde erano differenti le potenze, i compiti, le tecnologie costruttive. Guardando i livelli a_w , si nota che quelli relativi alla motosega con accumulatore MSA160T, sono uguali ad entrambe le impugnature, ovvero $1,3m/s^2$ come pure sono uguali tra loro i livelli a_w alle due impugnature dell'altra motosega con accumulatore, la MSA200C: tale valore è di $2,9m/s^2$. Ovviamente i livelli misurati, così come le dosi assorbite dagli operatori, sono molto diversi tra le due macchine in quanto diversa è la potenza delle due, la lunghezza di barra montata ed il diametro dei tronchi tagliati.

Guardando invece i dati relativi alle elettroseghe, emerge una certa differenza tra i valori a_w misurati alle due impugnature: per la MSE180C, il livello a_w all'impugnatura anteriore è $2,2m/s^2$ mentre quello all'impugnatura posteriore è $3,9m/s^2$, per la MSE220C i corrispondenti livelli sono $2,2m/s^2$ e $3,6m/s^2$. Operando una elaborazione statistica sui livelli, appare che la variabilità intra-operatore (ovvero considerando tutte le misure fatte tenendo fisso l'operatore addetto al taglio) delle motoseghe studiate, varia tra il 10 ed il 27% mentre quella inter-operatore (cioè tra un operatore e l'altro) rimane in tutti i casi sotto il 10%. Le variabilità riferite alle dosi risultano percentualmente superiori rispetto a quelle riferite ai livelli a_w . Le emissioni sonore misurate si sono mostrate più

basse nel caso delle due motoseghe con accumulatore, 81-82 dB(A), mentre per le elettroseghe si sono registrati valori di 85 dB(A) per la MSE180C e di 90 dB(A) per la MSE220C: nel caso delle motoseghe a motore endotermico, i valori di pressione sonora anche per modelli da potatura sono circa 15-20 dB(A) superiori a quelli misurati.

2.2.2 Confronto dati forniti dal costruttore

In **T a b e 5** sono riportati alcuni dati tratti dal libretto d'uso e manutenzione fornito dal costruttore. Per quanto riguarda le vibrazioni, pur essendo i valori forniti in questo lavoro misurati sul campo in conformità con la [2] e non nelle condizioni standardizzate seguite dai costruttori, si può affermare che in generale essi sono in linea con quanto dichiarato nel manuale e che le lievi differenze possono essere dovute al legname lavorato, alla catena impiegata o anche alla dimensione del campione. Per quanto riguarda le emissioni sonore, misurate a circa 1 metro di distanza dall'operatore, esse si sono rivelate sostanzialmente in linea con il valore fornito dal costruttore nel caso delle motoseghe con accumulatore, mentre nel caso delle elettroseghe, le misure da noi effettuate risultano di circa 5 dB(A) più basse.

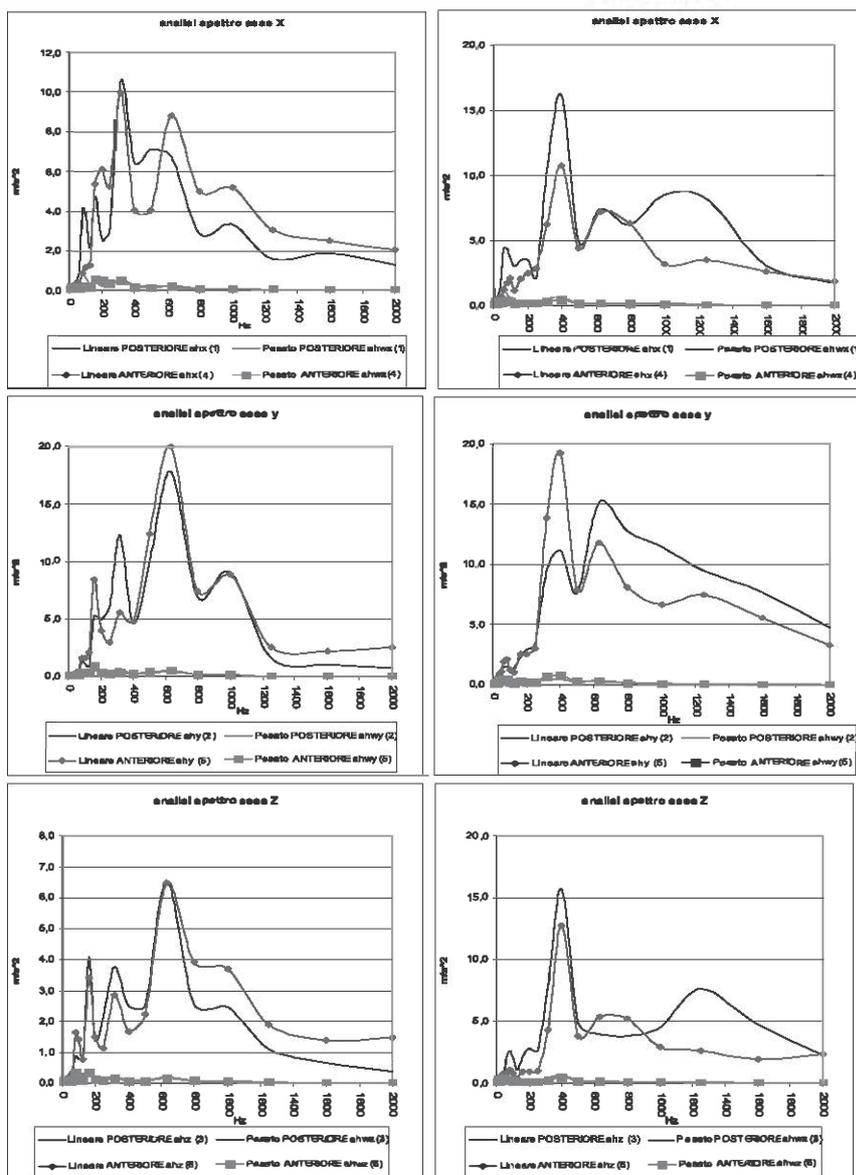
T a b e 5: Dati di emissione forniti dal costruttore

	Pressione Acustica Lp	Potenza Acustica Lw	Vibrazioni	
			ahv	ahv
			Imp. Sinistra	Imp.destra
MSA 160T	81 dB(A)	93 dB(A)	<2,5 m/s ²	<2,5 m/s ²
	ISO 22868	ISO 22868	EnISO 22867	EnISO 22867
MSA 200C	84 dB(A)	95 dB(A)	4,5 m/s ²	4,0 m/s ²
	EN 60745-2-13	EN 60745-2-13	EN 60745-2-13	EN 60745-2-13
MSE 180C	92 dB(A)	105 dB(A)	2,2 m/s ²	2,7 m/s ²
	ISO 3744	ISO 3744	EN 60745-2-13	EN 60745-2-13
MSE 220C	95 dB(A)	108 dB(A)	2,3 m/s ²	2,5 m/s ²
	ISO 3744	ISO 3744	EN 60745-2-13	EN 60745-2-13

2.2.3 Analisi in frequenza

Grazie all'analizzatore multicanale sono stati ricavati gli spettri per ogni asse ed ogni impugnatura delle motoseghe testate. Per la MSA160T sono state rilevate tre componenti principali ovvero 250, 500 e 1000Hz, presenti su tutti e tre gli assi di misura e per entrambe le impugnature. Per la MSA200C le componenti più rilevanti sono state riscontrate alle frequenze 315, 630 e 1000Hz. La componente 1000Hz è presente in entrambe le macchine ed è la principale delle tre. Le cause di ciò sono da ricercare approfondendo la conoscenza del

funzionamento intrinseco delle macchine. Per le elettroseghe invece, la componente in frequenza dominante e presente su tutti e tre gli assi di misura ed entrambe le impugnature è 400Hz.



Figur a 7: Spettri x, y e z, a destra spettri motosega con accumulatore MSA200C; a sinistra spettri elettrosegga MSE180C

In Figur a 7 è riportato qualche esempio di spettro misurato. In base a diversi

studi [4][5], è noto che esistono in commercio guanti che attenuano le vibrazioni per le motoseghe fino al 70%, grazie al fatto che le frequenze in gioco sono medio-alte.

3 – IMPIEGO DEL MOTOSEGHEONACCUMULATOREDELLE ELETTROSEGHEIMPIEDIESPOSIZION(E8)

E' da rilevare che non è possibile un confronto diretto con le motoseghe a motore endotermico [3] poiché queste sono adatte sia per abbattimento, che per sramatura, che per depezzatura di tronchi aventi diametro superiore a quello che può essere tagliato con le motoseghe con accumulatore in oggetto. Le uniche operazioni che potrebbero essere svolte anche da quelle con accumulatore sono la sramatura e la depezzatura di tronchi di piccolo diametro. Grosso rilievo possono invece avere per la potatura di alberi di alto fusto.

Oltre al basso livello di vibrazioni ed al livello di emissione sonora che le rendono fortemente migliorative rispetto a quelle da potatura con motore a scoppio, anche la tipologia di avviamento le rende interessanti: poiché esso avviene con un semplice pulsante anziché "a strappo", ciò costituisce un vantaggio per lavoratori posizionati in quota all'interno di un cestello o arrampicati su di un albero (tree-climber) e che facendo della motosega un uso intermittente, devono riavviarla frequentemente. Per tale compito sono attrezzi molto adatti. L'avviamento con un pulsante solo, comunque, è talvolta presente anche nelle motoseghe con motore a scoppio.

Le elettroseghe sono a loro volta inadatte a sostituire in toto le motoseghe classiche a causa dell'alimentazione da rete elettrica che rende impossibile il loro utilizzo in bosco e quindi trovano al momento impiego in ambito hobbistico, in falegnamerie o su cantieri edili dove vi sia ampio impiego di legname per la costruzione. In virtù dei suddetti utilizzi, i tempi di funzionamento effettivo prevedibili per le motoseghe con accumulatore sono ben lontani dalle classiche quattro ore indicate in molti documenti di valutazione del rischio aziendali, ma molto più realisticamente per la potatura in chioma di alberi di alto fusto potrebbero essere di un paio di ore al giorno. In questa ipotesi tutte e due le motoseghe con accumulatore darebbero luogo a un A(8) molto minore a $1m/s^2$.

In T a b e l l o sono riportati per tutte e quattro le motoseghe i valori di esposizione giornalieri di esposizione a vibrazioni A(8) calcolati per vari tempi di esposizione. Secondo la normativa italiana [1] per il calcolo di questo parametro bisogna far riferimento all'impugnatura che da luogo al livello a_w di accelerazione più elevato e pertanto in tabella i valori a_w (m/s^2) presi per il calcolo sono stati evidenziati in grassetto: nel caso delle motoseghe con accumulatore, i valori alle due impugnature sono sostanzialmente uguali mentre nel caso delle elettroseghe l'impugnatura peggiore risulta essere la destra. Interessante notare che i valori di A(8) fino ad una esposizione giornaliera di quattro ore non superano mai $1m/s^2$ e anche per tempi di esposizione fino a sei ore non superano mai il valore di azione di $2,5m/s^2$. Questo è perfettamente in linea con lo scopo di minimizzare l'esposizione che ci si prefiggeva nella

premessa, proprio perché il valore d'azione previsto dalla legislazione vigente non può essere considerato di sicurezza. Va anche rilevato che i valori a_w misurati sono bassi pur trattandosi di motoseghe prive di dispositivi antivibranti e che quindi il livello potrebbe essere ulteriormente diminuito qualora in futuro fossero dotate di sistema di disaccoppiamento tra la barra e le impugnature presente nelle motoseghe classiche. Anche il peso delle motoseghe elettriche in ordine di lavoro, è un fattore che può renderle preferibili a quelle classiche in quanto più ergonomiche.

Tabella 6: A(8) (m/s^2) calcolati per vari tempi di esposizione

		Msa160T	Msa220C	Mse180C	Mse220C
mano	tempo (h)	A(8) (m/s^2)			
dx	2 ore	0,1	0,2	0,2	0,2
sx	2 ore	0,1	0,2	0,1	0,1
dx	4 ore	0,3	0,7	1,0	0,9
sx	4 ore	0,3	0,7	0,5	0,5
dx	6 ore	0,7	1,7	2,2	2,0
sx	6 ore	0,8	1,6	1,2	1,2
dx	8 ore	1,3	3,0	3,9	3,6
sx	8 ore	1,4	2,9	2,2	2,2
A(8) inferiore a $1m/s^2$					
A(8) compreso tra $1m/s^2$ e valore d'azione $2,5m/s^2$					
A(8) compreso tra valore d'azione $2,5m/s^2$ e valore limite di esposizione $5m/s^2$					

4 – CONCLUSIONI

Le motoseghe in oggetto per i bassi livelli di rumore e vibrazioni e per l'ergonomicità legata al peso e all'avviamento consentono di minimizzare il rischio per i lavoratori e possono essere uno strumento adatto a valutare la possibilità di cambiare mansione a chi abbia idoneità parziali, rimanendo nel settore di appartenenza. In particolare per il rischio vibrazioni, esse consentono di rimanere sotto il valore di azione. Per questi motivi è auspicabile la loro diffusione laddove possibile, come ad esempio per la potatura di alberi di alto fusto.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Stihl Spa nella persona del suo A.D. ing. Julius Hõh che ha fornito le motoseghe; al dott. Paolo Lenzuni, fisico ricercatore Inail per le consulenze scientifiche; all'UTB di Vallombrosa del C.F.S.nella persona del Dott. Luca Torrini responsabile della struttura per la collaborazione fornita, al Revisore Dott. Giovanni Galipò per l'assistenza prestata.

6 -BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto Legislativo n. 81 del 9 aprile 2008, Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, G.U. n. 101 del 30 aprile 2008 - suppl. n.108/L
- [2] Norma UNI EN ISO 5349 Settembre 2004 Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano
- [3] L.Bertuzzi, F. Fabiano, M.Giannelli, D. Pagni, F. Piegai, T. Sangiorgi Esposizione a vibrazioni da motosega. Influenza di macchina, catena, operatore e manutenzione. Atti del 35° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica Milano, 11-13 giugno 2008
- [4] PortaleAgentiFisici
http://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_index.php?lg=IT
- [5] Nataletti, Lunghi, Pieroni, Marchetti, "Dispositivi di protezione individuali delle mani: disponibilità commerciale, certificazione efficacia" – Atti **dba_{incontri}2004** Modena Ottobre 2004
- [6] M Bovenzi, A Franzinelli, R Mancini, M G Cannava, M Maiorano, F Ceccarelli "Dose-response relation for vascular disorders induced by vibration in the fingers of forestry workers" *Occup Environ Med* 2003;60:16–26
- [7] M J Griffin, M Bovenzi, C M Nelson "Dose-response patterns for vibration-induced white finger" *Occup Environ Med* 2003;60:16–26
- [8] Massimo Bovenzi "A follow up study of vascular disorders in vibration-exposed forestry workers" - *Occup Environ Health* (2008) 81:401–408

**RI DUZI ONE DELL' ES POSI ZI AONE VI BRAZI ONAV DEI
MOTOSEGHISTE DEL SETTORE FORESTALE DI VICENZA:
ESPERIENZE DI DESTINAMENTO SULLA CORRETTA AFFILATURA
DELLA CATENA**

Miriam Rinaldi e Giovanna Margherita Giarola

Regione Veneto – Sezione Bacino Idrografico Brenta-Bacchiglione – Sezione di
Vicenza – Settore Forestale di Vicenza

1 - INTRODUZIONE

La necessità di intervenire per migliorare il soprassuolo forestale con operazioni colturali di taglio e diradamento o per realizzare opere di sistemazioni idraulico-forestali con tecniche di ingegneria naturalistica implica, nei cantieri forestali del Settore Forestale regionale di Vicenza, l'impiego diffuso della motosega.

Attualmente questa struttura periferica della Giunta regionale del Veneto occupa, per la realizzazione di lavori in economia con la forma dell'amministrazione diretta, 114 operai forestali tra operai a tempo indeterminato ("fissi") e lavoratori a tempo determinato ("stagionali"). La tipologia di lavoro, le scelte progettuali e le modalità operative necessarie per intervenire in siti naturali, comportano che gli operatori utilizzino attrezzature di lavoro manuali o portatili, costituite in buona parte da strumenti vibranti quali motoseghe, decespugliatori a scoppio, motocarriole, elettrotensili, trapani, avvitatori, martelli o demolitori pneumatici,...

In sede di valutazione dei rischi e nella conseguente pianificazione delle misure preventive ci si è posti l'obiettivo di ridurre l'esposizione agli agenti fisici, in particolare quelli connessi alle vibrazioni meccaniche trasmesse al sistema mano-braccio (HAV), non solo con la dotazione di idonei DPI, costituiti da guanti antivibranti per i motoseghisti, ma anche attraverso altre misure quali la modifica del parco-macchine e la formazione ed addestramento degli operatori.

Dal 2010 si è cercato di mettere in atto azioni in grado di ridurre l'esposizione alle vibrazioni del 30%, superando quindi il livello di attenuazione garantito dall'uso dei DPI (i guanti antivibrazione garantiscono, secondo la "Guida alla Banca Dati ISPESL", attenuazioni attese nella misura del 10-20%), attraverso il rinnovo del parco-macchine e attraverso la formazione degli operatori.

In particolare si è avviato un piano di addestramento dei motoseghisti sulle corrette modalità di affilatura della catena della motosega, rilevando che questa permette, con la corretta scelta del dente in funzione del tipo di pianta, di ridurre di un terzo le vibrazioni trasmesse.

2 - I DATAZI ENDALE ESPOSIZIONE.

Tra i 114 operai del Settore Forestale di Vicenza il 72% (n. 82 su 114) utilizza quotidianamente la motosega nell'ambito della propria mansione. Di questi il 39% (n. 44 su 114) utilizza la motosega in modo professionale e continuativo ed è inquadrato con la mansione di motoseghista.

I lavoratori, sottoposti a sorveglianza sanitaria ai sensi dell'art. 204 del D.Lgs. 81/2008 in quanto esposti a «*livelli di vibrazioni superiori ai valori d'azione*» pari a $2,5 \text{ m/s}^2$ per le vibrazioni HAV, sono n. 100 (88% degli operai) . Tra questi, l'8 % presenta disturbi muscolo-scheletrici (DMS), vascolari, osteo-articolari o neurologici tali da indurre il Medico Competente ad emettere un giudizio di idoneità con limitazione – ai sensi della lett. b) comma 5 dell'art. 41 del D.Lgs. 81/2008 - all'utilizzo degli strumenti vibranti.

Dal 1995 ad oggi sono state presentate da parte di 3 lavoratori forestali, ora in quiescenza, richiesta di riconoscimento di malattie professionali per presunta sindrome del tunnel carpale, riconducibili all'utilizzo di strumenti vibranti. I tre operai erano inquadrati, anche se per poco, come motoseghisti.

3 – MISURE IRIDUZIONE DEI RISCHI DI MALATTIE PROFESSIONALI E DI LESIONI

La normativa prevede che il Datore di Lavoro, valutati tutti i rischi, prenda i provvedimenti necessari per limitare o mitigare i pericoli per la salute dei lavoratori, privilegiando le misure per ridurre, per quanto possibile, i rischi alla fonte.

In particolare la lett. b), comma 1 dell'art. 203 prevede «*la scelta di attrezzature di lavoro adeguate concepite nel rispetto dei principi ergonomici e che producono, tenuto conto del lavoro da svolgere, il minor livello possibile di vibrazioni*».

3.1 SOSTITUZIONE DELLE MOTOSEGHE CON LIVELLI DI VIBRAZIONI ELEVATI

Per rispondere alle prescrizioni normative una delle disposizioni attuate è stata – a partire dal 2010 – la sostituzione delle motoseghe che presentavano valori di vibrazioni relativamente elevati ($> 4,5 \text{ m/s}^2$), con altre, che a parità di prestazioni, riducevano le vibrazioni HAV dichiarate dal costruttore. Sono state quindi dismesse n. 58 motoseghe con il progressivo acquisto di ulteriori 100 nuove motoseghe.

La messa fuori uso di attrezzature vetuste – con più di 36 mesi di vita lavorativa - senza i sistemi di ammortizzazione delle vibrazioni, messe in atto da principali costruttori presenti sul mercato nazionale, ha permesso di ridurre le vibrazioni.

3.2 ACQUISTO DI MOTOSEGHE CON LE MINORI VIBRAZIONI DICHIARATE DAL COSTRUTTORE

Attualmente il parco macchine del Settore Forestale di Vicenza è costituito – al 31.12.2014 - da 125 motoseghe. L'80% di tali attrezzature è stato acquistato successivamente al 2010, mentre il restante 20% è costituito da motoseghe la cui sostituzione è già stata programmata, e che comunque vengono utilizzate per

lavorazioni occasionali (es. motosega utilizzata in abbinata al mini-verricello). Nelle procedure di acquisto delle motoseghe sono state preferite macchine che – a parità di prestazioni – presentavano valori di vibrazioni dichiarati dal costruttore inferiori.

Le motoseghe vengono progettate e costruite *«in modo tale che i rischi dovuti alle vibrazioni trasmesse dalla macchina siano ridotti al livello minimo, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di mezzi atti a ridurre le vibrazioni, in particolare alla fonte»* (punto 1.5.9 della Direttiva Macchine 2006/42/CE) e sono dotate di dispositivi antivibrazioni quali giunti elastici, ammortizzatori o molle, che attenuano le vibrazioni meccaniche trasmesse dalle impugnature alla mano.

La scelta – ad esempio tra le motoseghe professionali da 60 cm³ di cilindrata e 3,5 kW di potenza – della macchina con minor vibrazioni dichiarate (vedi **T a b e l l a 1**) permette di ridurre le vibrazioni HAV di -41% per la mano destra (impugnatura posteriore) e di -17% per la mano sinistra (impugnatura anteriore). Riduzioni pari a -29% ed a -31%, si ottengono nell'acquisto di motoseghe da 50 cm³ di cilindrata e 2,8 kW di potenza. Anche nella scelta di una motosega da 70 cm³ è possibile ridurre le vibrazioni in modo significativo (-23% per l'impugnatura anteriore e -39% per la posteriore) acquisendo una macchina professionale con i sistemi di riduzione delle vibrazioni.

4 - ORIGINE DELLE VIBRAZIONI PRODOTTE ALL MOTOSEGA

L'uso di motosega espone i lavoratori al rischio di patologia da vibrazioni dovuto all'effetto combinato del dispositivo di taglio (catena) con il motore. Le motoseghe producono valori di accelerazioni (a_{hw}) fino a 10 m/s² con frequenze dominanti di tipo medio (125 - 200 Hz) comprese tra 100 e 315 Hz, che interessano principalmente l'impugnatura posteriore della macchina e che incidono principalmente sull'asse Y (frontale rispetto all'operatore).

Il motore produce vibrazioni a partire dallo scoppio della miscela nella camera di combustione, da cui prende avvio il moto alternato, trasmesso dal pistone tra il punto morto superiore e quello inferiore; da questo movimento si origina il moto rotatorio, attorno ad un asse, della base della biella. Altre vibrazioni derivano dall'organo lavorante, cioè dall'insieme catena e barra-catena, e dalla sua interazione con il materiale da tagliare.

Quando il dente della catena entra in contatto con il legno, per poter procedere a scavare il solco nel materiale, si addentra nel legno sino a quanto gli viene consentito dal limitatore di profondità. Il moto del dente è dovuto alla risultante delle due componenti, una longitudinale al percorso della catena e l'altra obliqua del dente che si approfondisce nel materiale da tagliare.

C'è da dire che il materiale legnoso è un tessuto il cui accrescimento non è uniforme ma procede per anelli concentrici e man mano che l'albero cresce la parte più interna abbandona la funzione di trasporto degli elaborati, divenendo normalmente più dura e con funzioni di sostegno della pianta.

I denti della catena che si approfondiscono nel legno sono spazati tra loro e trasmettono alle maglie della catena degli impulsi generati dal contatto del dente col legno; a questo si aggiungono le discontinuità presenti nel legno stesso ed infine le variazioni di durezza dall'esterno all'interno del tronco mentre si procede al taglio.

Tabella confronto dei valori di vibrazione dichiarati dal costruttore per le principali o più diffuse motoseghe in commercio

Marca modello	anno produzione (anno del libretto)	cilindrata cm ³	potenza kW	vibrazioni a _{hv,eq} m/s ² ISO22867		RIDUZIONE ONTRA VALORI MAX-MIN	
				anteriore sx	Posterior re dx	anteriore	Posterior re
Sthil MS 201T	2011	35.2	1.8	3.5	3.1	26%	13%
Sthil MS201	2014	35.2	1.8	2.6	2.7		
Sthil MS 261	2012	50.2	2.8	3.5	3.5	31%	29%
Sthil MS 261C-M	2014	50.2	2.9	3.5	3.5		
Husqvarna 346XP	2010	50.1	2.7	2.4	3.6		
Husqvarna 550XP	2014	50.1	2.8	2.8	3.7		
Jonsered CS2253	2012	50.1	2.8	2.5	2.9		
Jonsered CS2252	2014	50.1	2.5	2.5	2.9		
Solo 656 C	2012	55.5	2.8	4.1	4.9	22%	20%
Husqvarna 357XP	2009	56.5	3.2	3.9	4.2		
Jonsered CS2156	2004	56.5	3.2	3.2	3.9		
Sthil MS 362C-M	2014	59.0	3.5	3.5	3.5	17%	41%
Sthil MS 362C-MQ	2014	59.0	3.5	2.4	2.4		
Sthil MS 362	2010	59.0	3.4	3.5	3.5		
Jonsered CS2260	2011	59.8	3.5	3.0	3.8		
Jonsered CS2258	2014	59.8	3.1	2.9	4.1		
Jonsered CS2260	2014	59.8	3.5	2.9	4.1		
Husqvarna 560XP	2011	59.8	3.5	2.7	3.2		
Husqvarna 562XP	2014	59.8	3.5	2.4	3.1		
Jonsered CS2172	2012	70.7	4.1	4.0	5.9	23%	39%
Sthil MS 440	2010	70.7	4.0	4.2	4.5		
Sthil MS 441C-M	2014	70.7	4.2	3.1	3.3		
Sthil MS 441C-MQ	2014	70.7	4.2	3.9	3.9		
Husq. 372 XP[X-torq]	2012	70.7	4.1	4.0	5.4		

Ciò determina attriti e resistenze che si trasmettono dall'organo lavorante al corpo macchina e da questo alle mani dell'operatore. Via via che i denti si usurano, spesso in modo non uniforme per effetto della variabilità del materiale da tagliare e per le discontinuità che lo caratterizzano, l'organo lavorante perde parte della sua efficacia. Una catena efficiente presenta denti che lavorano tutti allo stesso modo, affilati secondo gli stessi angoli, con dimensioni uguali ed altezze dei limitatori rapportate all'usura del dente.

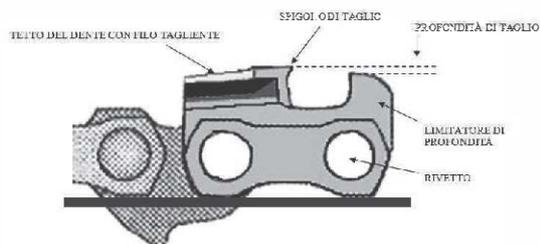


Figura 1 particolare del dente di una catena da motosega

La presenza di una catena usurata, con denti con angoli e forma non omogenei, oltre a rendere più difficile il taglio, provoca sollecitazioni alla macchina sotto forma di vibrazioni. Se ne deduce che una catena nuova, con parametri stabiliti dal costruttore oppure una ben affilata con caratteristiche uniformi, produce meno vibrazioni rispetto ad una catena usurata e con angolature e limitatori difformi.

Inoltre l'affilatura, seppur uniforme, con parametri non adeguati al tipo di legno (angolo del tagliente $<25^\circ$ o $>35^\circ$, profondità di taglio elevata,...) rende più difficoltoso il taglio del legno (vedi **Figura 2**) e produce più vibrazioni.

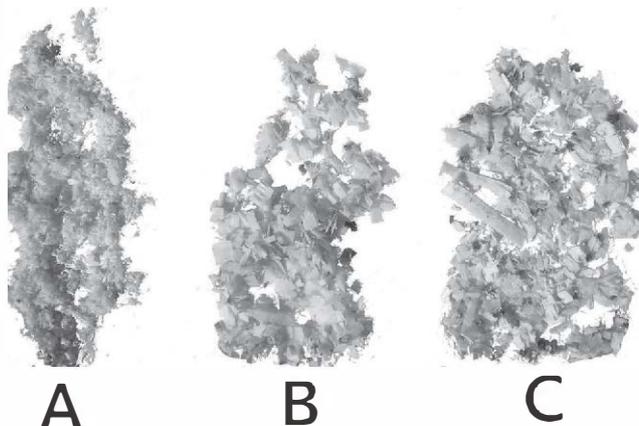


Figura 2: segatura prodotta tagliando legno di abete rosso con motosega da 50 cm³ utilizzando una catena con dente profilo semitondo : A) usurata ; B) catena nuova; C) affilata dall'operatore con angolo inadeguato di 20/25°.

5 - VERIFICA STRUMENTALE DELLA RIDUZIONE DELLE VIBRAZIONI A SEGUITO DELLA CORRETTA AFFILATURA DELLA CATENA

Nel 2010 si è proceduto a verificare sperimentalmente le differenze tra affilatura eseguita dall'operatore forestale, secondo la propria esperienza, e quella standard predisposta dai produttori di catene per motosega. Tale campagna di misurazioni, condotta sulle principali motoseghe in uso all'allora Servizio Forestale Regionale di Vicenza, ha rilevato le vibrazioni trasmesse a mano-braccio sia in funzione dell'affilatura della catena sia in funzione del supporto di lavoro.

Sono state eseguite un centinaio di misurazioni tagliando prima tronchi di castagno (utilizzato nei lavori di ingegneria naturalistica) e poi tronchi di abete rosso (simulando il taglio di abbattimento in bosco).

Sono state utilizzate catene con un profilo del dente semitondo (utilizzato tradizionalmente per il taglio di essenze più dure come il castagno ed il faggio) o quadro (utilizzato nelle operazioni di taglio delle resinose, quali gli abeti). Le attrezzature sono state prelevate in cantiere dopo l'affilatura della catena effettuata da parte degli utilizzatori, motoseghisti esperti.

Le motoseghe sono state testate alle stesse condizioni di utilizzo.

Sono poi stati confrontati i risultati delle misurazioni delle cinque motoseghe più rappresentative del parco macchine (vedi **Tabella 2**).

La macchina n.10 della classe da 50 cm³ già utilizzata per due stagioni silvane, presentava, in generale, una trasmissione di vibrazioni sensibilmente superiore a motoseghe più nuove.

Sul legno duro si sono riscontrate, per l'impugnatura posteriore destra, più sollecitata, i seguenti dati:

- minori vibrazioni (-24%) con l'affilatura dell'operatore rispetto alla catena nuova con dente semitondo per le due motoseghe della classe 50 cm³ (più utilizzate);
- sensibile riduzione delle vibrazioni rilevate (-26%) con la catena nuova a dente semitondo, per la motosega da 59 cm³;
- modesta riduzione delle vibrazioni, del -5% e del -9%, con la catena nuova, anche se con dente quadro, per le altre due motoseghe (56 cm³ e 70 cm³).

Sul taglio di legno tenero si è rilevato, per l'impugnatura posteriore, che:

- l'affilatura di un motoseghista esperto migliora le prestazioni della catena, anche se con dente semitondo ma su resinosa, del -26% per la motosega da 59 cm³;
- l'uso di catene nuove riduce dal -11% al -33% le vibrazioni sulle impugnature posteriori nelle motoseghe.

Si può quindi rilevare che l'affilatura incide in modo significativo sulla trasmissione delle vibrazioni con variazioni di valori anche del 46% (vedi **Tabella 2**).

6 - L'ADDESTRAMENTO DEI MOTOSEGHISTI SULLA CORRETTA AFFILATURA DELLA CATENA

Il processo di affilatura della catena richiede competenza e metodo. Per questo nell'estate 2010 è stato avviato un percorso di addestramento e formazione che ha coinvolto 45 motoseghisti del Servizio Forestale, in un primo "corso tecnico di

Tabella 2: confronto delle vibrazioni rilevate nel 2010 sulle motoseghe più diffuse del parco macchine del Settore Forestale di Vicenza

REGIONE DEL VENETO SERVIZIO FORESTALE REGIONALE VICENZA										VALUTAZIONE DEL RISCHIO VIBRAZIONI HVV ai sensi del D.lgs.81/2008 Titolo VIII Capo II 14 dic. 2010				
Macchina	DATA ACQUISTO	CONSISTENZA DEI MACCHINE	MARCA MODELLO	CILINDRATA cm ³	PROFILLO DENTE SPESSORE DENTE	PASSO CATENA	VALORI DICHIARATI COSTRUTTORE vibrazioni hv sig min ISO22867	Condizioni di misura	materiale tagliato	AFFETTATURE SEGUITE DA OPERATORE		AFFLATURA CATENA NUOVA		VARIAZIONI
										A(w) (um medio ms ⁻²)	B(w) (um medio ms ⁻²)	A(w) (um medio ms ⁻²)	B(w) (um medio ms ⁻²)	
 MOTOSEGA matricola n.2010090003	2010	7%	HUSQVARNA 346 xp	50.1	SEMITONDO 1.5	0.325	2.4	impugnatura anteriore	castagno	5	3.36	1	3.77	12.2%
							3.6	impugnatura posteriore	resinoso	6	7.27	2	3.93	-46.0%
									castagno	7	4.60	3	5.69	23.7%
									resinoso	8	7.13	4	5.75	-19.4%
 MOTOSEGA matricola n.167302298	2007	12%	STIHL MS260	50.2	SEMITONDO 1.6	0.325	3.6	impugnatura anteriore	castagno	9	9.54	13	7.30	-23.5%
							4.1	impugnatura posteriore	resinoso	10	10.65	14	9.27	-12.9%
									castagno	11	8.34	15	8.67	4.0%
									resinoso	12	8.66	16	5.77	-33.3%
 MOTOSEGA matricola n.20081100151	2008	20%	HUSQVARNA 367 xp	56.5	QUADRO 1.5	0.325	3.9	impugnatura anteriore	castagno	21	4.97	17	3.52	-29.3%
							4.2	impugnatura posteriore	resinoso	22	5.16	18	4.52	-12.3%
									castagno	23	5.11	19	4.67	-8.5%
									resinoso	24	5.62	20	4.98	-11.4%
 MOTOSEGA matricola n.167302298	2007	4%	STIHL MS361	59.0	SEMITONDO 1.6	3/8	2.9	impugnatura anteriore	castagno	25	5.46	29	3.72	-31.9%
							3.6	impugnatura posteriore	resinoso	26	3.53	30	3.89	10.2%
									castagno	27	4.26	31	3.15	-26.0%
									resinoso	28	3.80	32	4.77	25.6%
 MOTOSEGA matricola n.20100600783	2010	19%	HUSQVARNA 372xp	70.7	QUADRO 1.5	3/8	3.5	impugnatura anteriore	castagno	45	2.93	49	3.02	2.9%
							4.0	impugnatura posteriore	resinoso	46	3.65	50	3.42	-6.3%
									castagno	47	3.52	51	3.36	-4.7%
									resinoso	48	3.87	52	3.27	-15.5%

formazione ed addestramento alla affilatura della catena della motosega” svoltosi in due sessioni presso l’officina del Servizio di Assistenza Tecnica Husqvarna di Altavilla Vicentina.



Figur a1 Corso tecnico di affilatura della catena della motosega - 23 giugno 2010

Successivamente in ogni Corso per motoseghisti, organizzato dal Servizio di Prevenzione e Protezione del Settore Forestale di Vicenza con cadenza triennale, è stato inserito il modulo formativo sull’affilatura della catena. Nel contempo i motoseghisti sono stati dotati di **lit** di affilatura, con dime e registri di riscontro.

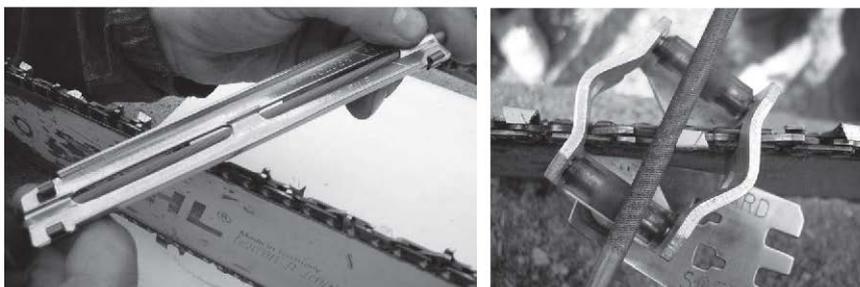


Figura 2: Dime di affilatura di case costruttrici diverse (Stihl ed Husqvarna)

Le stesse case produttrici di motoseghe e di catene stanno intervenendo in modo significativo sia nella divulgazione di “brochure” informative sia nella promozione della vendita di **lit** per affilatura.

7 -CONCLUSIONI

Al fine di limitare l’esposizione dei motoseghisti alle vibrazioni HAV sono possibili più azioni che, combinate tra loro, permettono di ridurre i valori di esposizione $A_{(g)}$. L’utilizzo di idonei DPI, costituiti da guanti antivibrazione EN ISO 10819, attenua fino al 20% i valori di accelerazione trasmessi a mano-braccio. La sostituzione delle motoseghe vetuste o con livelli di vibrazioni elevati, attraverso l’acquisto di

macchine meno vibranti – seppur rallentata dalle limitazioni di spesa tipiche di una pubblica amministrazione – comporta una riduzione delle esposizioni, per la mano destra (posteriore), dal - 13% al -39%.

L'esperienza in corso dimostra che una corretta affilatura della motosega interviene sui valori di accelerazione con variazioni anche del -33%, per la mano destra e del -46% per la mano sinistra.

Il Settore Forestale regionale di Vicenza sta avviando una ulteriore campagna di rilievi – sulla base delle considerazioni suesposte – per valutare l'attenuazione raggiungibile con le azioni di addestramento sulla corretta affilatura della catena.

La formazione dei motoseghisti risulta una delle misure più importanti per la riduzione delle esposizioni alle vibrazioni HAV.

Ringraziamenti

L'addestramento e la formazione sulla corretta affilatura della catena della motosega sono stati effettuati con la collaborazione del S.A.T. - Servizio Assistenza Tecnica Husqvarna di Altavilla Vicentina (VI) ed in particolare dei sigg. Simone Concato, Massimo Bertolo e Davide Perotto.

I rilievi sulle vibrazioni mano-braccio sono stati condotti dalla società LISA Servizi s.r.l. di Martellago (VE).

Il Medico Competente, dott. Sergio Serraino, della S.M.D.L. s.r.l. di Schio (VI) ha fornito i dati sull'incidenza dei DMS sui lavoratori.

Si ringrazia la ditta FERCAD S.p.A., la società LISA Servizi s.r.l. ed il dott. Sergio Serraino per la collaborazione nell'elaborazione del presente studio.

8 BIBLIOGRAFIA

- Balbiani L. (2004), *Dispositivi di protezione individuale: i guanti antivibranti*, in G Ital Mod Lav Erg., 26:2, 2004, pp. 1-4.
- Bertuzzi L., Fabiano F., Giannelli M., Pagni D., Piegai F., Sabatini R. et alt. (2010) *“Esposizione a vibrazioni da motosega. Studio sull'influenza di alcuni parametri (macchina, catena, operatore e manutenzione)”* in Sherwood. Foreste ed alberi oggi. n. 165, 2010, pp. 25-29.
- Covatta A., Vassalini G., Deboli R. (2005), *Produzione documentale tecnica sulla problematica delle vibrazioni connessa all'uso delle macchine agricole*. Enama, Roma, 2005.
- Fraser I. (a c.) (2010) *“Guida all'applicazione della direttiva “macchine” 2006/42/CE”*, Bruxelles, 2010.
- Husqvarna (2012) *“Guida alle motoseghe. Manuale di avanzato per un uso sicuro ed efficiente delle motoseghe”* Altavilla Vicentina, 2012.
- ISPESL (2009) *“Guida all'utilizzo della banca dati vibrazioni”* 2009.
- Masi M., Borghi P., Giannelli M., Bolognesi R., Giovannini P., Ulivi A. et alt. (2009), *“Prevenzione nei lavori forestali in Toscana. Schede sulla sicurezza ai sensi del D.Lgs. 81/08 e s.m.i.: Esposizione a vibrazioni”* in Sherwood. Foreste ed alberi oggi. n. 157, 2009, pp. 30-32.

- Nataletti P., Pieroni A., Lenzuni P., Marchetti E. (2002) *“Rumore e vibrazioni nelle utilizzazioni boschive”* in Atti del Convegno “Lavoro in foresta e salute – Provincia Autonoma di Trento”, Trento 31.05.2002, pp. 91-122
- Nicolini O., Minerva M. (2006) *“L’esposizione a vibrazioni nei luoghi di lavoro: gli adempimenti aziendali nel nuovo quadro legislativo”* in Atti Convegno **dB A 2 0 0**, pp. 35-54
- Pinto I., Stacchini N. (2000) *“Criteri di valutazione, scelta dei guanti antivibranti e livelli di protezione attesi”*, Atti del Convegno **DP IZ 0 0** “Ruolo dei Dispositivi di Protezione Individuale nell’ambito della Prevenzione”, Modena 20-22.09.2000, pp. 257-263.
- Pinto I., Stacchini N. (2002) *“La riduzione dell’esposizione a vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio nelle lavorazioni forestali”*, in Atti del Convegno “Lavoro in foresta e salute – Provincia Autonoma di Trento”, Trento 31.05.2002, pp. 123-132.
- Pinto I. (2010) *“Le nuove norme di certificazione delle emissioni di vibrazioni”* in Atti Convegno **dB A 2 0 1 0**.
- Regione Piemonte (2007) *“Manuale del boscaiolo. Nozioni di base”* Torino, 2007.
- Stihl (2012) *“Affilatura delle catene Stihl”*, Cambriago (MI), 2012.

PRI MEALUTAZIONI E LLE MISSIONI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI E SISTEMI TACCHEGGIO

**Andr eBo g, i Ni c o S t a c c, h i m i B i n i, G i a n l G a m b i, n G a b r i e l e
Q u a d r, A b e s s a M e d r i o l, n o**

1 – USL 7 Siena - Dipartimento della Prevenzione - Laboratorio Agenti Fisici

2 - Ce.S.N.I.R. s.r.l, Villasanta (MB)

1 - P R E M E S S A

L'esposizione a campi elettromagnetici della popolazione è in continuo aumento a causa sia dell'immissione nel mercato di apparati basati su nuove tecnologie, sia dell'aumento del numero di utilizzatori. Allo stato attuale emerge che per alcune tipologie di sorgenti ci sia un interessamento, più o meno giustificato, da parte del grande pubblico e dai media (vedi telefonini o elettrodotti), viceversa la consapevolezza del rischio dovuto all'esposizione causata da altre tipologie di apparati risulta il più delle volte scarsa o assente. A quest'ultima categoria appartengono ad esempio i sistemi antitaccheggio. Secondo le linee guida dell' ICNIRP (International Commission of Non Ionizing Radiation) [1] nel 2004 in tutto il mondo erano presenti oltre un milione di sistemi elettronici per la sorveglianza delle merci, installati in biblioteche, negozi, grandi magazzini. Per la loro stessa natura, questi sistemi creano un incremento dei campi elettromagnetici nella zona di entrata e di uscita dal locale sorvegliato, in modo che tutti, sia chi lavora nel locale, che i clienti, debbano attraversarla. Considerando che l'esposizione prodotta da tali apparati riguarda principalmente la popolazione generale, ci si aspetterebbe che i livelli dei campi emessi siano inferiori alle soglie considerate a rischio anche per i soggetti più sensibili. Da una prima ricognizione eseguita sia a Siena che in alcuni esercizi commerciali della Lombardia, risulta invece che i livelli di campi elettromagnetici emessi sono superiori a quelli previsti per la popolazione generale; inoltre in genere sia nei manuali di istruzione ed uso che sui macchinari, non è reperibile alcuna avvertenza specifica per tutelare i soggetti particolarmente sensibili o con controindicazione all'esposizione a campi elettromagnetici, quali ad esempio i portatori di dispositivi medici impiantati.

Nell'ambito del presente lavoro si riportano i risultati preliminari di un'indagine sulle esposizioni a CEM prodotte da sistemi antitaccheggio di diffuso impiego sul territorio nazionale.

2 -I SISTEMI DI SORVEGLIANZA ELETTRONICA

I sistemi di sorveglianza elettronica (EAS) fanno parte di una famiglia molto numerosa di sistemi di sicurezza basati sui campi elettromagnetici; della stessa famiglia fanno parte anche i sistemi di identificazione a radiofrequenza (RFID) ed i metal detector. Le frequenze di emissione in generale vanno da poche decine di Hertz fino a molti gigahertz ed i segnali possono essere continui o pulsati.

Le caratteristiche comuni a questi sistemi sono:

- L'utilizzo di campi elettromagnetici per comunicare o rilevare il bersaglio entro pochi metri
- La definizione di una zona di azione attraverso la quale devono passare persone e cose da controllare
- in genere l'esposizione del pubblico avviene per brevi periodi, pochi secondi; occasionalmente può arrivare a qualche minuto
- l'esposizione professionale può essere prolungata anche a tutto l'orario lavorativo

I sistemi antitaccheggio rispondono solo indicando la presenza del bersaglio all'interno della zona di controllo e si utilizzano per proteggere i prodotti dai furti. Sono sostanzialmente composti da 3 parti: 1) un sensore elettronico costituito da un'etichetta o una piccola targhetta attaccata alla merce. 2) un sistema per smagnetizzare e staccare il dispositivo dalla merce al momento dell'acquisto, posizionato normalmente vicino alla cassa; 3) un sensore che crea la zona di sorveglianza all'uscita. Inoltre un dispositivo, di solito gestito da chi fabbrica il prodotto, serve ad attivare le targhette.

Il principio di funzionamento è piuttosto semplice: un trasmettitore invia un segnale ad una data frequenza verso un ricevitore creando l'area sorvegliata. Nel momento in cui la targhetta entra in quest'area, crea una distorsione del campo che viene riconosciuta dal ricevitore. Le modalità in cui la targhetta o l'etichetta distorcono il segnale ed il tipo di frequenze utilizzate (tipicamente da 20Hz a 2,45GHz) sono caratteristiche proprie di ogni sistema EAS. Ne consegue che anche le modalità espositive di pubblico e lavoratori sono caratteristiche di ogni sistema.

A seconda dell'intervallo di frequenza utilizzato, si distinguono 4 tipologie di sistemi antitaccheggio, descritti in tabella 1:

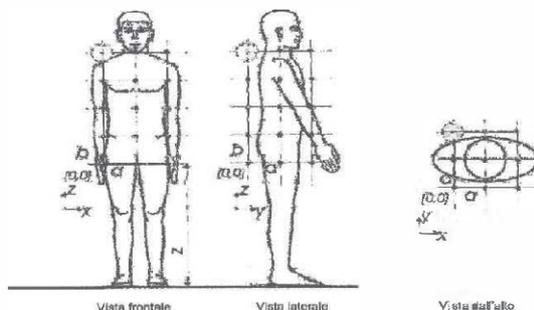
T a b e l l a e 4 tipologie di sistemi EAS attualmente in commercio

Categoria	Intervallo di frequenze	Tipo Componente della targhetta
Elettromagnetico (EM)	20 Hz–18 kHz	Nastro o filo magnetico Materiale a deformazione magnetica
Acustomagnetico (AM)	58–60 kHz	
Radiofrequenza (Swept RF)	1.8–10 MHz	Circuito risonante LC
Microonde	902–928 MHz e 2,4–2,5 GHz	Diodo

3 -NORM TI V A E C N I A E M E O D I C H H I D I M I S U R A

3.1 LA N O R M A T I V A T E C N I C A

Ormai da diversi anni è presente la normativa tecnica specifica per regolamentare le emissioni elettromagnetiche dei sistemi antitaccheggio. Per quanto riguarda i limiti da rispettare, essi sono sanciti nella CEI EN 50364 [2], dove si legge che tale norma può essere utilizzata per verificare la conformità di un dispositivo alla raccomandazione Europea 1999/5/EC [3] che contiene i livelli di riferimento per la popolazione come dichiarati nelle linee guida dell'ICNIRP 1998 [4]. In questo caso quindi, i limiti di cui si parla nella norma tecnica sono quelli attualmente in vigore in Italia per la popolazione generale. Comunque la norma precisa che se un dispositivo è utilizzato in un ambiente dove l'accesso al pubblico è vietato e sono presenti solo lavoratori (che in questo caso devono essere considerati come esposti), allora si può far riferimento ai limiti per i lavoratori descritti anch'essi nel documento ICNIRP 1998; che corrispondono agli attuali limiti per i lavoratori presenti nel DLgs.81/2008.



F i g u r a Esempio di griglia per misure di esposizione del tronco secondo la norma CEI EN 62369

Secondo la norma, il confronto con i limiti (siano essi per la popolazione generale o per i lavoratori) può essere effettuato considerando sia i valori di campo esterno, cioè i livelli di riferimento per la popolazione o i valori di azione per lavoratori, che in termini di limiti di base, cioè verificando con modelli numerici il rispetto dei valori di campo elettrico indotto internamente al corpo dai campi esterni. Questa doppia metodica di confronto (campi esterni e campi indotti) come vedremo nel seguito, avrà importanti conseguenze sulle misure di tutela da fornire a corredo del manuale di istruzioni per un utilizzo sicuro del macchinario.

Una volta stabiliti i limiti con cui confrontarsi, la norma tecnica CEI EN 50357, sostituita nel 2013 dalla CEI EN 62669 [5] stabilisce le differenti geometrie di misura da utilizzare a seconda della forma dell'apparecchio e della zona del corpo di cui si vuol calcolare l'esposizione. Inoltre stabilisce una priorità di approccio al confronto con i limiti: prima si verifica il rispetto dei livelli di campo esterni, poi se questi sono superati si affina l'analisi fino ad arrivare a modellizzare l'esposizione per verificare il rispetto dei limiti di base, cioè i valori di campo elettrico indotti nel corpo.

Per tener conto delle disuniformità spaziali tipiche dei campi elettromagnetici emessi dai sistemi antitaccheggio, a seconda del distretto corporeo da valutare, la norma CEI EN 62369 definisce una griglia di punti in cui valutare le emissioni. In figura 1 viene mostrato un esempio di tali griglie per determinare in questo caso la distribuzione spaziale del campo nella zona del tronco del soggetto esposto.

3.1 METODICHE DI MISURA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per decidere le metodiche di valutazione delle esposizioni utilizzate nelle campagne di misure mostrate in questo lavoro ci siamo basati sulla normativa tecnica, apportando qualche modifica e semplificazione. Infatti per quanto riguarda il confronto con i limiti, ci si è riferiti ai livelli di campo esterni imperturbati, senza, per il momento approfondire lo studio con considerazioni dosimetriche. Per quanto riguarda la geometria di esposizione, sono stati selezionati alcuni punti all'interno delle griglie considerate dalla norma tecnica per la valutazione dell'esposizione del tronco e del cranio. Inoltre sono state valutate le distanze di rispetto dei limiti anche all'esterno dei varchi magnetici e intorno agli apparecchi smagnetizzatori, prestando particolare attenzione al rispetto dei limiti per la popolazione come dettati dalla raccomandazione Europea 1999/5/EC per tutelare i soggetti ipersensibili.

Le misure condotte a Siena sono state eseguite con il rivelatore di campo magnetico marca Wandel & Goltermann mod. EFA-300 con range da 5Hz 32 KHz. Si tratta di uno strumento che può fornire o il valore di campo magnetico isotropo a banda larga e la relativa portante, o il livello di esposizione eseguendo una pesatura temporale del segnale in ingresso con i limiti per la popolazione o per i lavoratori secondo le linee guida ICNIRP 1998. In quest'ultimo caso il risultato è un livello percentuale rispetto al

limite previsto dalla normativa. In alcuni casi è stato utilizzato anche il rivelatore della Microrad modello NHT-3D, con banda passante da 5Hz a 400KHz. Lo strumento permette la misura temporale del segnale, la sua analisi in frequenza e la valutazione dell'esposizione riferita ai limiti per la popolazione sia con il metodo standard con il metodo del picco ponderato [6], nel nostro caso è stato utilizzato per valutare l'esposizione al campo magnetico.

Per le misurazioni effettuate in Lombardia è stato utilizzato il rivelatore EHP50E della NARDA. Si tratta di un rivelatore di campo magnetico ed elettrico con banda passante da 0 Hz a 400 KHz, che fornisce il valore di campo isotropo, l'analisi in frequenza e può valutare l'esposizione sia secondo il metodo standard che secondo il metodo del picco ponderato, applicando i limiti per i lavoratori e quelli per la popolazione riferiti al documento ICNIRP 2010 [6]. Inoltre per le misure di campo magnetico statico è stato utilizzato il gaussmetro triassiale VGM della AlphaLab Inc.

4 – RISULTATI DELLE CAMPAGNE DI MISURA

Tabella 2 Elenco sistemi antitaccheggio analizzati e della relativa frequenza dominante misurata.

N	tipologia	Marca	Modello
1	varco	Sensormatic	AMS 1030 digital euro prot-max
2	smagnetizzatore	Sensormatic	N.D.
3	varco	N.D.	N.D.
4	smagnetizzatore	N.D.	N.D.
5	varco	Sensormatic	Anti-theft system ultra-exit 2M
6	varco	WG	PPTR58
7	smagnetizzatore	WG	N.D.
8	varco	3M	3502DM
9	smagnetizzatore	3M	955
12	varco	3M	3802
13	smagnetizzatore	3M	955D
14	varco	Sensormatic	N.D.
15	varco	Dialoc	N.D.
16	smagnetizzatore	Dialoc	N.D.

Le misure presentate in questo lavoro si riferiscono a sistemi antitaccheggio di differenti marche e modelli, elencati in **Tabella 2**. Le emissioni avvengono su più frequenze, quindi i risultati delle misurazioni sono forniti in termini di livello di esposizione,

anziché in termini di valore a banda larga. Infatti quest'ultimo porterebbe ad un'ambiguità sul corrispondente valore limite da utilizzare, visto che per i campi elettromagnetici i limiti variano molto con la frequenza. Inoltre considerando che i segnali emessi dalle apparecchiature analizzate erano stazionari, il confronto con i limiti è stato possibile anche utilizzando uno strumento senza rivelatore di picco (come ad esempio il modello EFA 300 della NARDA). In **Fig. 2a** sono mostrati, a titolo di esempio, un doppio varco magnetico ed uno smagnetizzatore durante l'effettuazione della misura delle emissioni.



Fig. 2a A sinistra misura dell'esposizione nel punto di passaggio di un doppio varco di un sistema antitaccheggio. A destra misura dell'esposizione percentuale a breve distanza da uno smagnetizzatore

Un esempio di risultati delle misurazioni su un varco magnetico è mostrato in **Tab. 31.a**

Tab. 31.a Esempio di valutazione delle emissioni di campi elettromagnetici da un varco di un sistema antitaccheggio

Misura	GRANZA	VALORE	CONDIZIONI MISURA
1	Campo magnetico	97 uT	centro del varco
2	Livello Magn. Pop. 98	800,00%	ai lati del varco
3	Livello Magn. Pop. 98	300,00%	centro del varco
4	Campo magnetico	1 mT	centro dei due varchi, h= 130 cm
5	Livello Magn. Pop. 98	>1200,00%	centro dei due varchi, h= 130 cm
6	Livello Magn. Pop. 98	100,00%	65 cm dal bordo esterno
7	Livello Magn. Pop. 98	30,00%	110 cm dal bordo esterno

In questo caso le misure si riferiscono al solo campo magnetico, mentre la dicitura Livello Magn. Pop. 98 si riferisce alla percentuale del livello di riferimento per la popolazione come stabilito dalle linee guida ICNIRP 1998. Analogamente si possono

eseguire le rilevazioni per le emissioni di campo elettrico. Si noti che mentre il campo magnetico è influenzato in maniera apprezzabile solo da oggetti ferromagnetici, la distribuzione di campo elettrico è molto più sensibile agli oggetti presenti nelle vicinanze; quindi per avere una misura di campo elettrico ripetibile si dovrebbe avere un ambiente espositivo controllato.

In **T a b 4** sono mostrati i risultati di misurazioni eseguite su uno smagnetizzatore. In questo caso l'esposizione è quasi esclusivamente a carico dell'addetto alla disattivazione degli articoli sotto sorveglianza. La distanza di misura corrisponde nell'esempio alla posizione dell'addetto che da luogo all'esposizione più elevata. Come si vede ci possono essere contributi non trascurabili sia di campo elettrico che di campo magnetico statico. Rispetto alle emissioni dei varchi magnetici, quelle degli smagnetizzatori sono più localizzate, raggiungendo livelli inferiori a quelli di riferimento per la popolazione a distanze inferiori al metro.

T a b 4 Esempio di risultati di misure su uno smagnetizzatore. In questo caso si nota la presenza anche di un campo magnetico statico. Nel caso degli smagnetizzatori esaminati i valori rientrano nei limiti per la popolazione a distanze inferiori al metro.

Misura	GRANZA	VALORE	CONDIZIONI DI MISURA
1	Livello Magn. Pop. 98	67%	15 cm
2	Livello Ele. Pop. 98	154%	15 cm
3	Livello Magn. Lav. 10	<10%	15 cm
4	Livello Ele. Lav. 10	90%	15 cm
5	Magnetico Statico	85 uT	15 cm

In **T a b 5** sono mostrati i risultati delle misurazioni sui sistemi analizzati. Essi sono espressi in termini di percentuale raggiunta del livello di riferimento per la popolazione secondo la raccomandazione europea. Per quanto riguarda i varchi magnetici, le ultime due colonne corrispondono alle misure eseguite nella zona centrale dell'arco e nella posizione peggiore raggiungibile. Invece per gli smagnetizzatori il risultato si riferisce ad una distanza di pochi centimetri dall'apparecchio.

Il confronto con i livelli di azione dei lavoratori ha mostrato che essi sono normalmente rispettati, tranne alcuni casi in cui si hanno dei modesti superamenti.

5 -DISCUSSIONE

Nessuna delle apparecchiature trovate nelle campagne di misura qui presentate conteneva nel manuale di istruzioni la dichiarazione di conformità alla norma specifica di prodotto.

Tabella 5: Risultati delle misurazioni sui sistemi antitaccheggio analizzati. Le ultime due colonne indicano la percentuale raggiunta rispetto ai livelli di riferimento per la popolazione rispettivamente al centro dei varchi (o in prossimità degli smagnetizzatori) e nel punto peggiore raggiungibile del varco

N	Marca	Modello	Dominante	Livello pop. 98 Centrale	Livello pop. 98 Massimo
1	Sensormatic	AMS 1030 digital euro prot-max	58 KHz	180%	1400%
2	Sensormatic	N.D.	58 KHz	150%	--
3	N.D.	N.D.	58 KHz	220%	4200%
4	N.D.	N.D.	58 KHz	280%	--
5	Sensormatic	Anti-theft system ultra-exit 2M	58 KHz	250%	5400%
6	WG	PPTR58	58 KHz	130%	2300%
7	WG	N.D.	58 KHz	250%	--
8	3M	3502DM	200Hz	300%	800%
9	3M	955	50 Hz	100%	--
12	3M	3802	N.D.	800%	>1300%
13	3M	955D	N.D.	130%	--
14	Sensormatic	N.D.	217 Hz	470%	>1300%
15	Dialoc	N.D.	367 Hz	420%	800%
16	Dialoc	N.D.	378 Hz	115%	--

In alcuni manuali viene invece dichiarata la conformità alla raccomandazione Europea 1999/519/EC. Tale dichiarazione lascia dubbi su due aspetti fondamentali necessari alla valutazione del rischio. Prima di tutto la mera conformità alla raccomandazione Europea 1999/519/EC, in assenza del riferimento alla specifica norma di conformità di prodotto CEI, CEI EN 50364 [2] non chiarisce le condizioni geometriche nelle quali questa è stata verificata, ed in particolare le posizioni rispetto ai varchi ed agli smagnetizzatori. Ciò determina una carenza d'informazione per chi deve valutare il rischio ed impedisce in fase di acquisto di confrontare le emissioni di apparecchi differenti. Inoltre la genericità della dichiarazione crea ambiguità sul criterio utilizzato per dichiarare la conformità alla raccomandazione. Infatti in essa si trovano elencati sia i limiti di base, espressi in forma di grandezze indotte all'interno del corpo, che i valori di riferimento, espressi come intensità dei campi esterni. Il rispetto dei limiti di base garantisce che un soggetto ipersensibile come ad esempio una donna incinta, possa essere esposta a tali livelli di campi elettromagnetici, perché gli effetti da essi indotti nel suo corpo ed in quello del

feto sono considerati trascurabili. Quindi da questo punto di vista la conformità alla raccomandazione europea potrebbe garantire la sicurezza di questa tipologia di individui. Rimane però indeterminato il livello di rischio per un'altra categoria di soggetti ipersensibili: i portatori di dispositivi medici impiantabili (DMI). Infatti è vero che la raccomandazione dichiara che comunque l'adesione ai limiti di base ed ai livelli di riferimento non garantisce l'assenza di effetti di interferenza con i DMI, essendo questo tipo di problematica demandata alle norme sulla compatibilità elettromagnetica e sui dispositivi medici. Tuttavia lo standard europeo che contiene la procedura di valutazione del rischio per i portatori di DMI [7], si riferisce sempre ai livelli di riferimento della raccomandazione europea e non ai limiti di base. Per la precisione ad esempio nella norma specifica per la valutazione del rischio in presenza di portatori di pacemaker [8], si dichiara che l'assunto di base per la valutazione è il fatto che come dichiarato nella norma di certificazione per i pacemaker [9], i test di immunità vengono eseguiti per le sorgenti più comuni riscontrabili negli ambienti di vita per valori dei campi esterni pari ai livelli di riferimento per la popolazione.

Da quanto detto dovrebbe risultare chiaro che un'apparecchiatura destinata ad essere utilizzata in un luogo aperto al pubblico, dovrebbe contenere avvertenze specifiche ogni qual volta emetta campi elettromagnetici superiori ai valori di riferimento per la popolazione. La situazione attuale è molto diversa: le distanze che garantiscono il rispetto dei livelli di riferimento per la popolazione generale per i varchi magnetici analizzati in questo lavoro sono tipicamente comprese fra 1 e 2 metri, mentre quelle per gli apparecchi smagnetizzatori sono inferiori al metro. Inoltre nella zona interna al varco, dove l'utente deve transitare per uscire dal locale sorvegliato, il livello dei campi registrato è sempre molto superiore a tali livelli di riferimento, arrivando in alcuni casi a superarlo di diverse decine di volte. Si noti che questo non implica necessariamente un superamento dei limiti di base per la popolazione, il cui rispetto dovrebbe comunque essere dichiarato dal produttore, tuttavia non è sicuramente garantita l'immunità di un dispositivo medico impiantabile. In tutti questi casi, tale rischio dovrebbe essere adeguatamente segnalato in modo da evitare che soggetti portatori di DMI entrino involontariamente nella zona dove si ha il superamento.

Si noti che per quanto rari, i casi di malfunzionamento dei DMI sono ben documentati [10][11][12], come dichiarato nello stesso documento ICNIRP sui sistemi antitaccheggio [1]. Nello stesso documento si conclude che proprio a causa del rischio reale, anche se remoto e dell'attuale scarsa conoscenza di tali sistemi antitaccheggio, si incoraggiano ulteriori misure su questo tipo di apparecchiature. D'altra parte la stessa FDA americana nella guida all'etichettatura dei sistemi antitaccheggio [13] dichiara di aver ricevuto nei 10 anni antecedenti la stesura del documento oltre 63 rapporti di casi di interferenza di DMI con dispositivi antitaccheggio e similari, in 17 dei quali si sono avuti malfunzionamenti dei pacemaker. In effetti dalla letteratura si evince che nei pochi secondi di passaggio fra i varchi magnetici, può succedere che il pacemaker sia

temporaneamente inibito, ma una volta che l'interazione con il campo elettromagnetico del varco finisce, il DMI ritorna al suo stato di funzionamento normale, senza che chi lo indossa si renda conto dell'accaduto; raramente invece a causa dell'interazione il dispositivo entra in uno stato di reset dal quale non esce senza l'intervento del personale tecnico del costruttore, in casi ancora più remoti si ha l'erogazione inappropriata di terapie. A fronte di ciò, le conseguenze che ne traggono gli estensori del documento dell'FDA sono che i portatori di DMI devono essere avvertiti quando sono in presenza di dispositivi antitaccheggio, quindi questi ultimi devono essere dotati di un'opportuna etichettatura che evidenzii i rischi per i soggetti ipersensibili.

Una volta avvertiti del rischio, le soluzioni per i clienti portatori di DMI possono andare dalla creazione di percorsi alternativi, al momentaneo spegnimento dei varchi per permetterne il passaggio in sicurezza oppure il cliente può scegliere volontariamente di passare dentro il varco.

Per quanto riguarda il personale esposto per ragioni professionali, invece occorre una valutazione specifica da eseguire in accordo fra il produttore del sistema antitaccheggio e quello del dispositivo medico impiantabile.

6 - CONCLUSIONI

Questo lavoro mostra i primi risultati sulla valutazione delle emissioni di campi elettromagnetici da sistemi antitaccheggio. In tutti i casi analizzati i campi dispersi entro una distanza variabile da 1 a 2 metri da tali sistemi sono risultati superiori ai livelli di riferimento per la popolazione attualmente in vigore. Tali superamenti possono arrivare a diverse decine di volte il livello massimo, nella zona di passaggio obbligato fra i varchi magnetici. Nell'ambito del presente lavoro non sono state effettuate valutazioni dosimetriche per verificare il rispetto dei limiti di base per la popolazione, che dovrebbero comunque essere condotte dal produttore in sede di certificazione di prodotto.

Per quanto riguarda i livelli di azione dei lavoratori, essi sono generalmente rispettati, tranne alcuni modesti superamenti. Ciononostante nei manuali non si trovano quasi mai né indicazioni sul rispetto dei livelli di riferimento per la popolazione né di conformità alla norma di prodotto. I macchinari stessi non mostravano nessun tipo di etichettatura che avvertisse i soggetti particolarmente sensibili. Simili mancanze appaiono ingiustificate alla luce sia delle normative tecniche di prodotto che dalla documentazione reperibile in letteratura. Infatti se per soggetti della popolazione generale come bambini e donne in stato di gravidanza il rispetto dei limiti di base per la popolazione generale è sufficiente a garantirne la tutela, per la sicurezza dei portatori di DMI ci si deve riferire ai livelli di riferimento, cioè al rispetto dei valori di esposizione fissati per l'entità dei campi elettromagnetici misurati in ambiente esterno. Il superamento di questi ultimi può

portare in casi remoti, al loro malfunzionamento.

Appare quindi evidente la necessità che i manuali di istruzioni di tali apparati contengano adeguata informativa in merito e che sulle stesse apparecchiature sia presente idonea segnaletica in modo da evitare esposizioni inconsapevoli e potenzialmente nocive per soggetti particolarmente sensibili, quali i portatori di pacemaker e dispositivi elettronici impiantati; predisponendo per tali soggetti la presenza di percorsi alternativi o in alternativa il momentaneo spegnimento del varco.

7 – BIBLIOGRAFIA

- 1: ICNIRP, ICNIRP STATEMENT RELATED TO THE USE OF SECURITY AND SIMILAR DEVICES UTILIZING ELECTROMAGNETIC FIELDS, 2004
- 2: CEI, CEI EN 50364: Limitazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti da dispositivi operanti nella gamma di frequenza 0 Hz - 10 GHz, utilizzati nei sistemi elettronici antitaccheggio (EAS), nei sistemi di identificazione a radiofrequenza (RFID) e in applicazioni similari, 2002
- 3: Consiglio Europeo, RACCOMANDAZIONE DEL CONSIGLIO del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300GHz, 1999
- 4: ICNIRP, GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz), 1998
- 5: CEI, Valutazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti da dispositivi a corto raggio (SRD) in diverse applicazioni nella gamma di frequenza 0 GHz 300 GHz. Parte 1: campi prodotti da dispositivi utilizzati per sistemi elettronici antitaccheggio, sistemi di identificazione a radiofrequenza e similari, 2013
- 6: ICNIRP, GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 Hz TO 100 kHz), 2010
- 7: CENELEC, Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices -Part 1: General, 2010
- 8: CEI, Procedura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori con dispositivi medici impiantabili attivi Parte 2-1: Valutazione specifica per lavoratori con stimolatore cardiaco (pacemaker), 2013
- 9: CEI, Dispositivi medici impiantabili attivi Parte 2: Prescrizioni particolari per i dispositivi medici impiantabili attivi destinati a trattare la bradi-aritmia (pacemaker cardiaci), 2005
- 10: JACQUES MUGICA, LAURE HENRY and HERVÉ PODEUR, Study of Interactions Between Permanent Pacemakers and Electronic Antitheft Surveillance Systems, 2000

- 11: J. Rod Gimbel and James W. Cox Jr, *Electronic Article Surveillance Systems and Interactions With Implantable Cardiac Devices: Risk of Adverse Interactions in Public and Commercial Spaces*, 2007
- 12: A. Vaglio, S. Silvani, P. Rizzardo, A. Lo Presti, M. Sarpellon, *Sincope in portatore di pacemaker per interferenza da campo elettromagnetico generato da sistema antitaccheggio: caso clinico*, 2003
- 13: FDA, *Labeling for Electronic Anti-Theft Systems*, 2000

VALUTAZIONE DEL RILASCIO DELL'ESPOSIZIONE A ONDE PRODOTTE DA RADAR MARINI

Mar cVta l e n t i n i , M a n i c o p i a D i G e s t a s q u a l m e l e

INAIL-Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro ed Ambientale
Centro Ricerche Lamezia Terme (CZ)

1 - INTRODUZIONE

Uno strumento che nel tempo è diventato sempre più diffuso e pressoché indispensabile per la sicurezza nella navigazione aerea e marittima è il RADAR, acronimo di Radio Detecion And Ranging, che consente di individuare la distanza e la posizione relativa di un bersaglio o un ostacolo. Il suo funzionamento si basa su una antenna, generalmente rotante, che trasmette un'onda elettromagnetica sufficientemente contenuta in un fascio ristretto, la quale illuminando un target viene parzialmente riflessa. Un ricevitore raccoglie l'onda retroirradiata dal bersaglio ed in base al tempo intercorso tra l'emissione e la rilevazione del segnale si calcola la distanza dello stesso. La conoscenza dell'angolo di ricezione rispetto ad una direzione fissa consente, inoltre, di ricavarne la direzione relativa che viene mostrata su uno schermo. Il segnale radar può essere sia continuo che pulsato. Per i radar marini è generalmente di tipo pulsato, con frequenze che appartengono alla banda X (8.50 – 10.50 GHz). Questi radar hanno normalmente il trasmettitore e il ricevitore posti sulla medesima antenna per cui il segnale è caratterizzato da una fase di trasmissione ed una di silenzio nella quale il radar "ascolta" l'eventuale eco prodotto da un bersaglio.

Il radar è uno strumento di comune uso per agevolare la normale navigazione ma diviene essenziale per prevenire situazioni pericolose, ad es. nella navigazione notturna piuttosto che in presenza di nebbia o in aree particolarmente trafficate. Esso è ormai presente nella quasi totalità dei mezzi nautici asserviti all'attività di pesca così come in tutte le unità utilizzate nel controllo costiero, capitanerie di porto in primis, e rappresenta, quindi, una reale sorgente di emissione elettromagnetica. Sulla base di tali osservazioni ed in virtù di una limitata quantità di informazioni a riguardo si è ritenuto opportuno approfondire la tematica.

E' stata effettuata una campagna di misura atta a valutare, in condizioni differenti, i livelli di campo elettromagnetico emessi da un comune radar utilizzato in ambito marino. Tali misure, seppur preliminari e non del tutto esaustive, hanno, da una parte consentito di avere contezza dei livelli di campo a cui un operatore può essere esposto, e dall'altra dato agio di sperimentare una metodologia di misura che risulta tutt'altro che immediata.

2 L'ANORMA A RIFERIMENTO

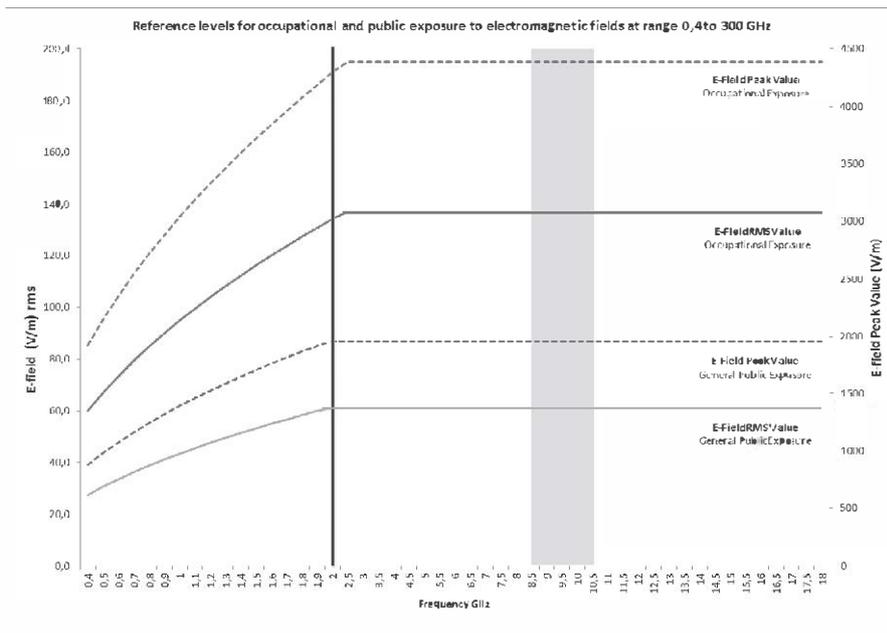
Gli articoli 206-212 del Capo IV Titolo VIII del decreto legislativo 81 del 9 aprile 2008 (Testo unico in materia di sicurezza sul lavoro) contengono le nuove norme in materia di prevenzione e protezione dei lavoratori dalle esposizioni ai campi elettromagnetici che a ben ragione possono essere considerati come i dispositivi attuativi della legge quadro 36/2001. In effetti l'iter normativo per quanto concerne la protezione da questo agente fisico è stato piuttosto travagliato e la sua attuazione non è ancora completamente definitiva. Infatti nelle norme transitorie del testo unico si legge: "... le disposizioni di cui al titolo VIII, capo IV entrano in vigore alla data fissata dal primo comma dell'articolo 13, paragrafo 1, della direttiva 2004/40/CE...". Quest'ultima però è stata rettificata dalla direttiva 2008/46/CE del 23 aprile 2008 disponendo all'articolo 1 che *"gli stati membri mettono in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative per conformarsi alla presente direttiva entro il 30 aprile 2012. Essi ne informano immediatamente la Commissione."* Successivamente a giugno 2013 viene approvata la nuova Direttiva 2013/35/UE sulle *"disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) che ha abroga la direttiva 2004/40/CE"* che invita gli Stati membri (art. 16) a conformarvisi entro il 1 luglio 2016.

Per le frequenze che interessano il presente lavoro la direttiva introduce variazioni minime rispetto alla precedente 2004/40/CE la quale, all'allegato 2, riporta i valori di azione ottenuti a partire dai valori limite di esposizione secondo le basi razionali utilizzate dalla Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP) nelle sue linee guida sulla limitazione dell'esposizione alle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP 98). Da queste si evince che il limite di riferimento per le esposizioni professionali, relative a campi elettrici di frequenza compresa tra 2 e 300 GHz, è pari a 137 V/m per l'intensità di campo elettrico e 50 Wm^{-2} per la densità di potenza dell'onda piana equivalente. Viene, altresì, specificato nelle note che, per frequenze superiori a 10 MHz i limiti per i valori di picco della densità di potenza sono pari ai rispettivi limiti di riferimento moltiplicati per 1000 mentre per l'intensità campo elettrico di picco il fattore di moltiplicazione è pari a 32.

Per quanto attiene invece all'esposizione della popolazione ai CEM essa è regolata dai decreti attuativi, sempre della legge 36/01, DPCM 8 luglio 2003, che definiscono i limiti sia per le ELF che per le radiazioni da 100 KHz a 300 GHz. Tuttavia, gli impianti radar che interessano questo lavoro non sono compresi tra le sorgenti interessate dal DPCM il quale rimanda, art. 1 comma 3, ad un successivo decreto specifico (ancora non emanato) mentre al comma successivo recita *"a tutela dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz, generati da sorgenti non riconducibili ai sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999"*. Anche queste riprendono le indicazioni fornite dalle linee guida ICNIRP 1998 nel quale si stabilisce, per i membri del pubblico, quale limite per frequenze comprese tra 2 e 300 GHz il valore di 61 V/m per l'intensità di campo

elettrico Per le frequenze comprese tra 10 MHz e 300 GHz i valori di riferimento di picco si ottengono moltiplicando per 32 i corrispondenti valori efficaci.

Sinteticamente, in **F i g u**lrvangono riportati i valori limite alle frequenze RF per i lavoratori e per il pubblico distinguendo i limiti per i valori di campo medio ed i valori di picco.



F i g ulrvantimiti di riferimento per l'intensità del capo elettrico medio e di picco per il pubblico e per i lavoratori. La banda verticale indica la banda X in cui è compresa la frequenza dei radar marini. La scala a sinistra è riferita ai valori rms mentre quella a sinistra ai valori di picco

3 -STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Come anticipato la sorgente di emissione analizzata è un radar comunemente utilizzato da imbarcazioni di media stazza quali motopescherecci, imbarcazioni della guardia costiera, imbarcazioni per il trasporto di passeggeri sotto costa o imbarcazioni da diporto. Si tratta di un dispositivo Furuno Radar Marine, modello 1715, che è stato montato su un supporto telescopico in modo che si possano simulare le differenti condizioni di esposizione a cui un operatore si trova durante il proprio lavoro.

Le caratteristiche che maggiormente interessano la misura del campo elettromagnetico prodotto da una sorgente radar sono:

- 1) la frequenza di emissione della portante;
- 2) la velocità di rotazione dell'antenna (qualora non fosse di tipo fisso);

- 3) la larghezza dell'onda pulsata;
- 4) la durata del periodo di emissione (PRF- Pulse Repetition Frequency);
- 5) la larghezza orizzontale/verticale del beam.

Alcune di queste caratteristiche sono rintracciabili, in particolare per i radar più moderni e limitatamente ad alcuni produttori, nei loro valori nominali che, dall'esperienza fatta, possono non coincidere con quelli realmente misurati. Per quanto attiene al radar specifico le caratteristiche sono state fornite dal costruttore e uno stralcio delle stesse è riportato nella **Figura 2** seguente:

1. GENERAL				
1.1	Indication System	PPI daylight display, raster scan, 4 tones in monochrome		
1.2	Range, Pulselength (PL) & Pulse Repetition Rate (PRR)			
	Range (nm)	0.125, 0.25, 0.5, 0.75	1, 1.5, 2	3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32
	Pulse Length	0.08 μ s (short)	0.3 μ s (medium)	0.8 μ s (long)
	Pulse Repetition Rate	3000 Hz nominal	1200 Hz nominal	600 Hz nominal
1.3	Range Resolution	18 m		
1.4	Bearing Discrimination	5.2°		
1.5	Minimum Range	20 m		
1.6	Bearing Accuracy	Within 1°		
1.7	Range Ring Accuracy	1.0 % of range or 8 m, whichever is the greater		
2.ANTENNA UNIT				
2.1	Radiator	Micro-strip		
2.2	Polarization	Horizontal		
2.3	Antenna Rotation Speed	24/31/41 rpm nominal (auto-select according to range)		
2.4	Radiator Length	45 cm		
2.5	Horizontal Beamwidth	5.2° typical		
2.6	Vertical Beamwidth	25°		
2.7	Sidelobe Attenuation	Less than -20 dB		

Figura 2: Stralcio delle caratteristiche radar FURUNO 1715

La strumentazione di misura consiste in un analizzatore di spettro Agilent ESA 7704 B, accoppiato ad una antenna a tromba marca Schwarzbeck mod. BHA 9120 D tramite cavo coassiale Schwarzbeck mod. AK-9515-E. L'antenna è montata su un tripode diamagnetico la cui orientazione nelle tre dimensioni spaziali può essere agevolmente modificata in relazione al tipo di misura programmata. Dai data sheet a corredo dell'antenna e del cavo sono calcolabili, per interpolazione, i valori relativi al fattore antenna ed all'attenuazione del cavo alla frequenza centrale a cui è sintonizzato l'analizzatore di spettro. Infatti occorre ricordare che i valori di potenza

letti in dBm sull'AS sono convertiti in valori di campo elettrico, espresso in V/m, per essere confrontati con i limiti di azione secondo l'equazione

$$E = 10^{0,05(V-13+ac+af)} \tag{1}$$

dove af e ac sono i valori in dB relativi al fattore antenna e attenuazione del cavo che nel caso specifico valgono rispettivamente 38,09 e 6,17.

La risposta al segnale ricevuto dall'analizzatore di spettro, come noto, è una funzione del tipo $y = \text{sinc}(x)$ come quella rappresentata in figura 3 (che essendo reale manca dei valori negativi) dalla quale è possibile ricavare alcuni dei parametri elencati precedentemente. In particolare l'inverso della metà della larghezza del lobo principale corrisponde alla durata del singolo impulso mentre, in base alla risoluzione di banda scelta, la distanza nel dominio del tempo tra due righe successive, corrisponde all'inverso del PRF- Pulse Repetition Frequency. La frequenza centrale è stata verificata essere pari a 9.412 GHz.

In questo lavoro si prescinde, tuttavia, dalla metodologia di misura dei singoli parametri caratteristici del radar in uso facendo riferimento ai dati di targa dello stesso.

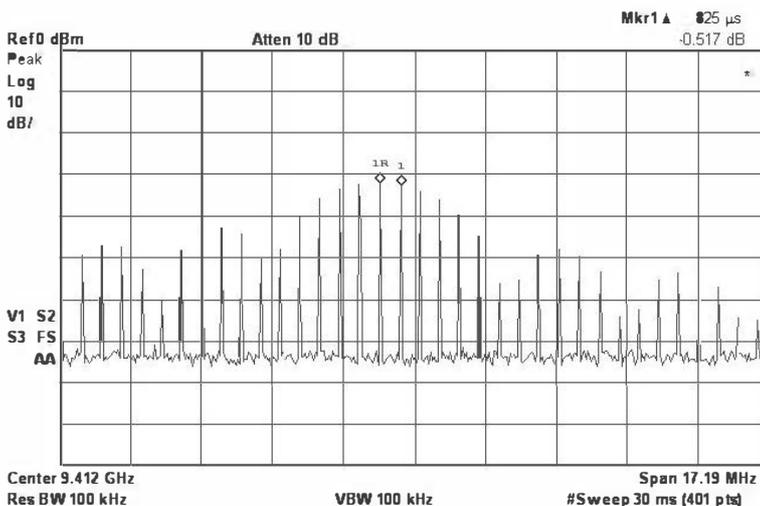


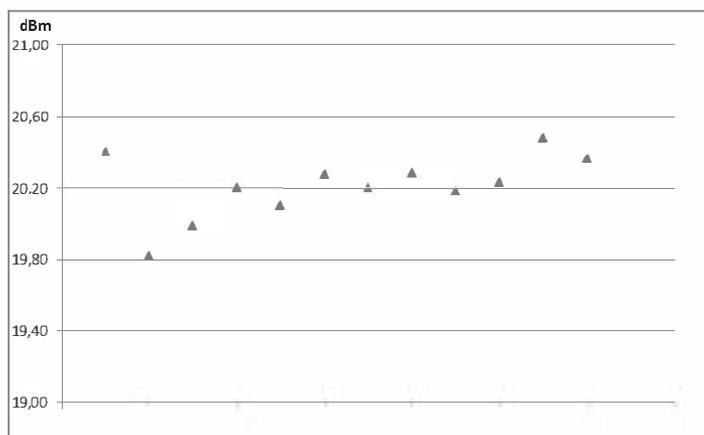
Figura 3: Inviluppo a video del segnale radar registrato. La figura è nota come pulse spectrum per differenziarla dalla line spectrum che si ottiene per RBW minori della PRF

L'interesse del lavoro è rivolto alla valutazione, seppur preliminare, dei livelli di campo riscontrabili a distanze, anche ravvicinate, a cui un operatore può essere esposto.

Una prima valutazione è consistita nella stima della ripetibilità del segnale al fine di valutare la stabilità di emissione della sorgente. A tale scopo fissando una distanza tra sorgente ed antenna ed impostando il radar su precise condizioni di funzionamento, si sono eseguite misure ripetute del livello di picco (in dBm). Tali

misure, riportate nel grafico di figura 4, sono riportate volutamente in scala lineare, sebbene i valori sono di fatto logaritmici, al fine di amplificare le differenze. Dall'analisi risulta una variabilità nei dati misurati dell'ordine del 4%.

Va tenuto presente che il radar è impostabile in modo tale da far variare la portata di visualizzazione ossia la distanza massima dei bersagli individuabili. Come si evince dal datasheet della figura 2, vi sono 3 macro intervalli (range) nei quali si ha un effettivo cambiamento delle caratteristiche della radiazione emessa quali velocità di rotazione dell'antenna, larghezza dell'impulso e PRF e 15 sottointervalli in cui cambia solamente la visualizzazione sul monitor per scopi di navigazione.



Figur a4: Valori di picco misurati nelle medesime condizioni di misura

A seconda dell'impostazione del radar occorre impostare in modo adeguato il tempo di misura (sweep-time) su intervalli sufficientemente lunghi da garantire che ciascun punto campionato dall'analizzatore di spettro sia illuminato almeno una volta dal passaggio dell'antenna rotante. Il massimo sweep-time calcolato sulla base delle caratteristiche del radar utilizzato è di circa 15 minuti.

Oltre al tempo di misura occorre impostare in modo appropriato anche gli altri parametri dell'analizzatore di spettro, infatti l'ampiezza dell'impulso è smorzata man mano che la risoluzione di banda dell'analizzatore diminuisce. Questo a causa del fenomeno noto come desensibilizzazione che in realtà è dovuto al fatto che la potenza trasportata dal segnale si distribuisce su un consistente numero di righe spettrali. Convien quindi scegliere una risoluzione di banda del filtro IF piuttosto grande in modo tale che questo copra la maggior parte delle componenti spettrali più significative. Nel caso presente il valore maggiore della RBW è pari a 5 MHz. Lo span è stato scelto in modo tale che coprisse l'intero lobo principale. In figura 5 sono riportati tre grafici relativi al segnale di picco registrati a distanza fissa tra ricevitore e antenna radar variando in ognuna le impostazioni di utilizzo di quest'ultimo, ovvero selezionando i tre range di lavoro per i quali cambiano i parametri dell'impulso. I tre range scelti sono 0,125 mn, 1,5 mn e 16 mn che corrispondono alle tre distanze indicate espresse in miglia nautiche (mn) a cui si farà riferimento per individuare il settaggio e quindi le caratteristiche dell'impulso.

In **Figura 6** sono riportati i risultati, presentati a video, delle misure in channel power relativamente ai tre range di portata del radar, fatte rispettivamente al termine di ogni acquisizione presentata in **Figura 5**, mantenendo, pertanto, le medesime condizioni di misura.

Sulla base dei risultati testé presentati sono state condotte delle misure secondo la metodica descritta, per il solo campo elettrico di picco, misurandolo in funzione della distanza tra emettitore e ricevitore.

Allo scopo l'antenna a tromba è stata posizionata in asse con il radar e questo è stato fatto scorrere lungo tale asse in modo da aumentare la distanza reciproca. Per ciascuna posizione è stato misurato il segnale ricevuto in dBm in ciascuno dei tre range di funzionamento del radar a cui corrispondono diverse caratteristiche dell'impulso e, successivamente, è stato ricavato il campo E(V/m) utilizzando l'equazione (1) di trasformazione che tiene conto dell'attenuazione del cavo e del fattore antenna.

I dati ottenuti sono riportati in tabella 2 dove nella prima colonna è riportata la distanza relativa tra antenna e ricevitore e nella seconda e nella terza rispettivamente i segnali di picco registrati in dBm e trasformati in V/m.

Tabella 2 Campo elettrico di picco a differenti distanze relative tra emettitore e ricevitore misurate in tre impostazioni di differente settaggio del radar

Distanza m	V(dBm) 16 mn	V(dBm) 1,5 mn	V(dBm) 0,125 mn	E (V/m) 16 mn	E (V/m) 7,5 mn	E (V/m) 0,125 mn
1	31,25	30,03	20,12	1335	1160	371
2	27,94	26,73	16,12	912	793	234
3	25,08	23,55	12,79	656	550	159
4	22,88	21,54	10,86	509	437	128
5	22,44	21,29	10,62	484	424	124
7,5	18,57	16,82	6,29	310	254	75
10	16,36	15,16	4,21	240	209	59

4 - DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le misure presentate rappresentano un primo approccio alla valutazione di quella che può essere l'esposizione ai campi elettromagnetici prodotta da sorgenti radar utilizzati per scopi marini. Si è tralasciata la metodologia di misura di tali sorgenti, peraltro rintracciabile in recenti lavori presenti in bibliografia, seppur con le opportune modifiche, per presentare i livelli di campo prodotto. Dalle misure di ripetibilità, di cui è dato uno stralcio in **Figura 2**, si è notata una variabilità dei segnali di picco dell'ordine del 4% che si ritiene una valutazione dell'incertezza relativa piuttosto ottimistica.

In **Figura 5** sono stati presentati i risultati delle misure effettuate posizionando a distanza di circa 7,5 metri il radar dall'antenna ricevente. E' stato valutato il segnale di picco variando il range di lavoro del radar sulle tre impostazioni selezionabili di 16, 1,5 e 0,125 miglia nautiche.

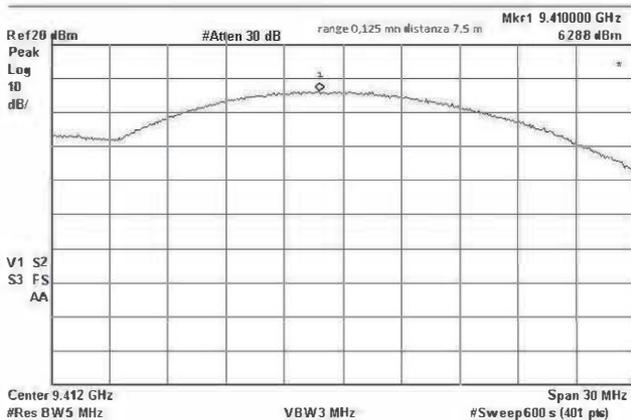
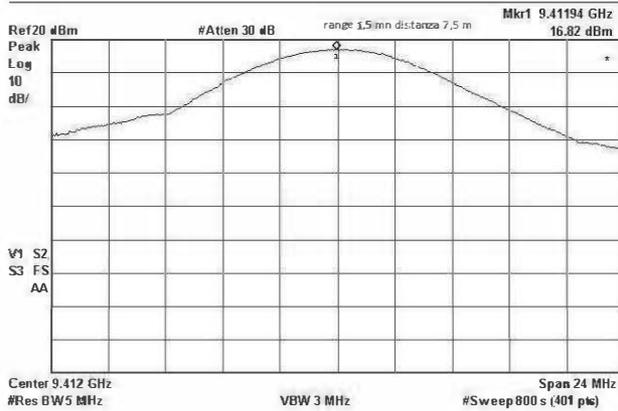
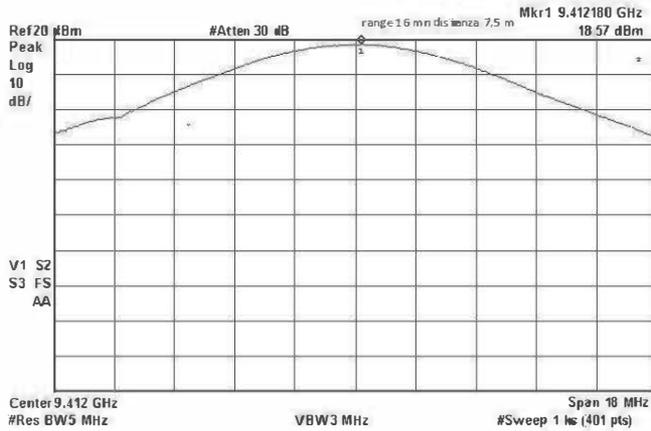


Figura 5: Segnali di picco registrati mantenendo fissa la distanza tra sorgente e ricevitore (7,5 m) e cambiando in ciascuno il settaggio del radar (0,125 mm, 1,5 mm e 16 mm)

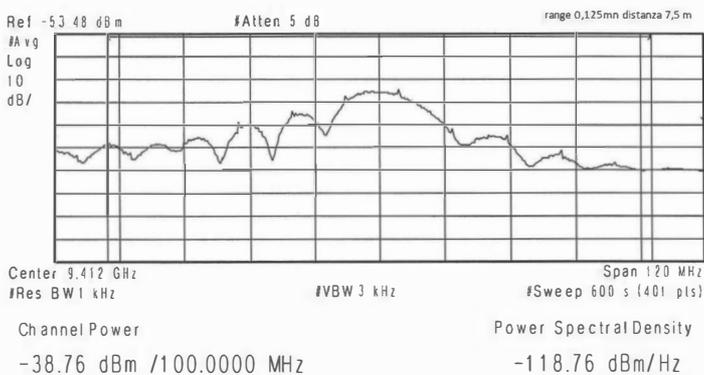
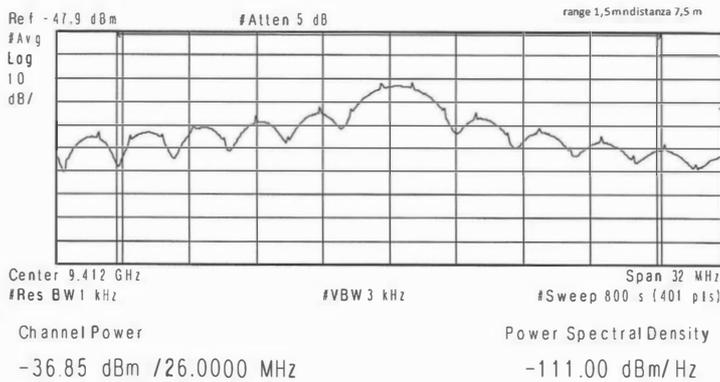
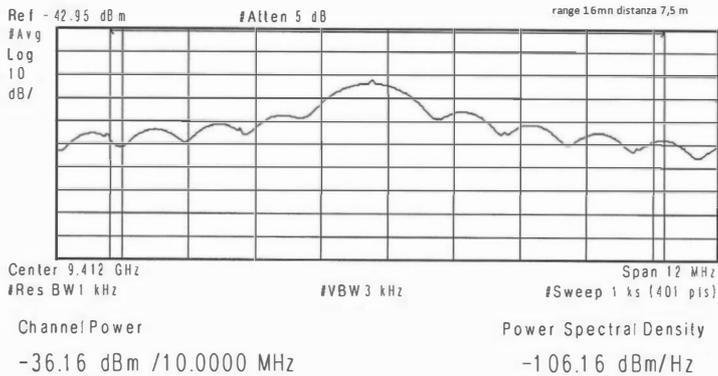


Figura 6: Segnali relativi alla modalità channel power. La banda di integrazione è scelta in modo da comprendere la parte più significativa del segnale circa tre lobi secondari a destra e sinistra del lobo principale.

Tutto è questo è stato fatto per verificare se ci fossero differenze nei campi prodotti e se potesse esistere una condizione operativa ottimale. I valori di campo elettrico riscontrati nel set di misura descritto valgono

$$E_{Pk16mm} = 310 \pm 16 \text{ V/m}$$

$$E_{Pk1,5mm} = 254 \pm 13 \text{ V/m}$$

$$E_{Pk0,125mm} = 75 \pm 4 \text{ V/m}$$

Una volta terminate le misure di picco è stato valutato il campo medio utilizzando l'opzione channel power disponibile sull'analizzatore di spettro previa misura, nella configurazione adottata, del rumore elettronico introdotto dalla catena strumentale. In questa modalità lo strumento misura automaticamente la potenza presente in una determinata finestra spettrale definita dall'integrazione bandwidth scelta in modo tale da comprendere almeno tre lobi secondari alla destra e alla sinistra del lobo principale ovvero la parte che maggiormente contribuisce alla potenza del segnale e, praticamente, quasi coincidente con lo span. La figura 6 riporta, nei tre range scelti, i valori di densità spettrale di potenza misurati dai quali si ricavano i seguenti valori di campo elettrico medio alla distanza di 7,5 metri:

$$E_{medio16mm} = 0,57 \pm 0,03 \text{ V/m}$$

$$E_{medio1,5mm} = 0,52 \pm 0,03 \text{ V/m}$$

$$E_{medio0,125mm} = 0,42 \pm 0,02 \text{ V/m}$$

Tanto i valori di picco quanto quelli medi sono ben al di sotto dei limiti a cui fare riferimento sia per i lavoratori sia per il pubblico, come si evince dal confronto con quelli riportati sinteticamente in fig. 1. Il confronto tra i livelli di picco e quelli medi indica che i primi sono più vicini al rispettivo valore limite ed è questo il motivo per cui si è scelto di focalizzare l'attenzione ai soli valori di picco per la misura del campo emesso in funzione della distanza. Inoltre dai risultati appare evidente che mentre tra i primi due range considerati si ha una leggera differenza nei valori misurati, che comunque rimane al di sopra di 1 dBm, questa diventa più importante se confrontata con il range utilizzato per scandagliare distanze più prossime. Tale osservazione implicherebbe che il settaggio a più bassi range porterebbe a campi di emissione inferiori e quindi a esposizioni più contenute. Potrebbe quindi fornire una indicazione di misura cautelativa per un utilizzo appropriato della strumentazione.

Come anticipato, queste considerazioni hanno suggerito, per i soli valori di picco, di estendere la misura ai valori di campo elettrico per distanze relative differenti. Tale scelta trova giustificazione nell'osservazione che su alcuni tipi di imbarcazioni risulta piuttosto verosimile la circostanza che gli operatori possano venirsi a trovare a distanze ravvicinate con la sorgente di emissione e si è ritenuto, pertanto, interessante valutare l'ordine di grandezza dell'eventuale esposizione. I risultati di queste misure, riportati in tabella 2; indicano come anche a distanze piccole i valori di picco non eccedono quelli indicati dalla normativa come limiti di riferimento.

Le misure presentate, pur essendo preliminari e non del tutto conclusive, forniscono indicazioni utili sulla eventuale esposizione ai campi elettromagnetici generati da sorgenti radar per utilizzo marino. Ovviamente alcune incoerenze emerse nello

studio, ancora in itinere, meritano di essere ulteriormente approfondite. Infatti occorrerebbe convalidare la metodologia di analisi seguita e valutare l'affidabilità dei risultati stimandone le incertezze. Bisognerebbe, poi, riuscire a stimare la ripetibilità dei risultati ottenuti mediante misurazioni in situ e quindi verificare in condizioni reali, l'attendibilità degli stessi, estendendoli, eventualmente, a tipologie di sorgenti con caratteristiche emissive differenti sia nella potenza di picco emessa sia nelle proprietà intrinseche dell'impulso elettromagnetico.

5 - RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (1998). "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Elettromagnetic Fields (Up to 300 GHz)". Health Physics, Vol. 74, N. 4.
- [2] CEI 211-7/B (2008-01) Appendice B: Misura e valutazione del campo elettromagnetico emesso dagli impianti radar di potenza
- [3] Direttiva 2004/40/CE del parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004. G.U.C.E. 24 maggio 2004, n° L 184
- [4] Direttiva 2008/46/CE del parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2008. G.U.C.E. 26 aprile 2008, L 114
- [5] Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici con frequenza da 0 Hz a 300 GHz. Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee L 199/62 del 30/7/1999.
- [6] Legge 22 febbraio 2001, n° 36 "legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".
- [7] DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008 , n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro
- [8] P.Zanichelli, M. Frascetta, M.Tiberti, S. Righi, M. Poli, S. Violanti, P.P. Alberoni "Sovveglianza fisica ambientale sulle emissioni elettromagnetiche provenienti dai radar in uso al servizio idro-meteoclima di ARPA della regionenEmila romagna" AIRP Convegno di Radioprotezione 12-14 ottobre 201.
- [9] "Spectrum Analysis ... Pulsed RF", Agilent, Application Note N. 150-2
- [10] M. Bini, A. Ignesti, C. Riminesi: "Misure sul Radar Meteorologico di Gattatico (Reggio Emilia)" Technical, Scientific and Research reports Vol. 2 – n. 65-6 (2010), CNRIFAC TR-06-1/009;
- [11] M. Bini, A. Ignesti, C. Riminesi: "Procedura per la misura di Campi EM emessi da impianti Radar utilizzabile in campagne di Sorveglianza Fisica Ambientale" Technical, Scientific and Research reports Vol. 2 – n. 65-3 (2010), CNR-IFAC TR-08/009;
- [12] M. Bini, A. Ignesti, C. Riminesi: "Misure sul Radar di Maccarese (Fiumicino - Roma)" Technical, Scientific and Research reports Vol. 2 – n. 65-4 (2010), CNR-IFAC TR-02-1/010;
- [13] M. Bini, A. Ignesti, C. Riminesi: "Misura del campo EM emesso dal Radar Primario ATCR-33S installato presso l'aeroporto di Firenze-Peretola"

Technical, Scientific and Research reports Vol. 2 – n. 65-5 (2010), CNR-IFAC TR-01/010;

- [14] D. Andreuccetti, M. Bini, A. Ignesti, R. Olmi, R. Vanni: “Sorveglianza Fisica di installazioni Radar” Report N. EP/AO-I13 Giugno 1988 CNR-IROE
- [15] A. Barellini, L. Bogi, G. Licitra, A. M. Silvi, and A. Zari “Measurement of electromagnetic fields generated by air traffic control radar systems with spectrum analysers” Radiation Protection Dosimetry 2009

AGGI ORNAMNTSIURI S CHDA L UBLU

Br u rPc c Gili, s e Pppls Eili, e ka

Università Cattolica del Sacro Cuore - Istituto di Sanità Pubblica – Sezione
Medicina del Lavoro - Roma

1 - INT RODUZI ONE

Si definisce "luce blu" la radiazione luminosa compresa tra i 380 ed i 520 nm (Figur 1). Sorgente naturale di questo tipo di emissione luminosa è il sole. Gli effetti patologici della luce blu, dopo i primi studi agli inizi del secolo (17), sono stati resi definitivamente noti da Arthur Worth Ham (8), celebre istologo canadese, sin dagli anni '80. Questo autore, in un brillante studio condotto sui macachi, ha dimostrato che esponendo le retine di questi animali a "luce blu" si ottenevano lesioni strutturali irreversibili (danni fotochimici) in funzione di tre variabili: tempo, intensità e lunghezza d'onda. In particolare, per quanto riguarda quest'ultima, gli effetti, a parità di tempo e di intensità, erano assai più marcati per lunghezze d'onda tra i 400 ed i 440 nm, con massima capacità lesiva a 440-441 nm.

Oltre al sole, numerose sorgenti di luce artificiale sono fonte di luce blu. Tra queste, quelle più diffuse certamente sono le lampade ad alogenuri metallici, spesso utilizzate nei luoghi di lavoro, sia per il loro minore consumo energetico, sia per la buona resa cromatica. Utile riferimento normativo per l'installazione e l'uso di sorgenti luminose artificiali con emissione nella banda del blu è rappresentato dalla norma CEI 34-141 (IEC/TR 62778) "Applicazione della IEC 62471 alle sorgenti luminose e agli apparecchi di illuminazione per la valutazione del rischio da luce blu" e dalle linee guida "Indicazioni operative D.Lgs.81/08 Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V – Coordinamento Tecnico per la sicurezza dei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome" (14, 10).

Sulla base di quanto riportato in letteratura, i settori e le lavorazioni ove maggiore sembra essere la presenza e più intenso l'uso di sorgenti artificiali emettenti luce blu, sono:

1. saldature ad arco e ad elettrodo;
2. processi di indurimento resine;
3. studi fotografici pubblicitari;
4. teatri e studi televisivi;
5. processi di stampa industriali;
6. supermercati e grandi magazzini;
7. studi odontoiatrici e dermatologici.

2 -DANNO RETINICO DA LUCE BLU

Partendo dagli studi di Ham del 1983 (8), numerosi autori si sono interessati al tema giungendo, prevalentemente mediante ricerche condotte su animali, a delineare le basi biochimiche ed istologiche del danno retinico da luce blu, la cui patogenesi, assai complessa, può, pur con alcune inevitabili semplificazioni, essere schematicamente sintetizzata come segue.

L'assorbimento di un quanto di luce induce uno stato di eccitazione nei pigmenti fotosensibili presenti nei fotorecettori retinici (coni e bastoncelli). Ciò innesca un complesso processo fotochimico (ciclo visivo della rodopsina o ciclo di Wald) finalizzato a generare cariche elettriche (impulsi) che, tramite le vie ottiche, raggiungono il cervello. Quando i fotopigmenti assorbono luce naturale, la cellula fotorecettoriale "sbianca" (i fotorecettori, a seguito di una scomposizione fotochimica, perdono il loro colore porpora e divengono biancastri, "bleaching" degli autori anglosassoni) e non è più disponibile ad assorbire altra luce fino a quando il ciclo visivo non avrà ricostituito completamente i fotopigmenti. Con l'esposizione a luce blu questo fisiologico processo subisce una notevole intensificazione (4) in quanto la luce blu è in grado di ricostituire la rodopsina (intervendo su prodotti intermedi del processo), assai più rapidamente rispetto a quanto accade quando la stimolazione del recettore avviene con lunghezze d'onda attorno ai 555 nm., innescando così una anticipata riattivazione (photoreversal of bleaching, 13) del "ciclo visivo" (Figura 2). Questi anomali processi biochimici producono uno "stress ossidativo", con maggior formazione di lipofuscina, sostanza contenente grandi quantità di A2E (N-retinil-N-retinilidene-etanolamina), particolarmente attiva nell'indurre apoptosi cellulare (15). L'A2E, inoltre, entrando in contatto con i fotoni del blu è in grado, a sua volta, di produrre, mediante azione ossidativa, alterazioni strutturali al DNA cellulare dell'EPR (16) con effetti degenerativi nei fotorecettori e nell'epitelio retinico pigmentato (3). Per contrastare l'azione negativa dello stress ossidativo, la retina produce sostanze antiossidanti che riducono questi effetti degenerativi. Tuttavia, oltre i 40 anni d'età, la produzione di queste sostanze antiossidanti diminuisce progressivamente ed i processi degenerativi divengono sempre più marcati, rendendo più frequente (3) l'insorgenza della Age-related Macular Degeneration (AMD). Si noti che il danno molecolare da stress ossidativo, che interessa l'articolo esterno del fotorecettore e l'EPR, è il più importante fattore di deterioramento a lungo termine della retina, sia nell'invecchiamento "normale", sia nello sviluppo della degenerazione maculare senile la cui patogenesi iniziale coinvolge proprio le cellule dell'EPR. Quando l'EPR non è più in grado di eliminare tutta la lipofuscina prodotta, questa sostanza viene ad accumularsi nello spazio tra le cellule dell'EPR e la membrana di Bruch. Questi depositi extracellulari sono responsabili della formazione di "soft drusen", che si ritiene svolgano un ruolo essenziale nello sviluppo della AMD (12, 5) (Figura 12). Importante sottolineare che, date le caratteristiche dei meccanismi degenerativi indotti dai processi fotochimici, sembra essere del tutto possibile l'insorgenza di alterazioni a medio e a lungo termine, anche per esposizioni prolungate a bassi livelli di luce blu (2), ma in questo ambito sono necessarie ulteriori ricerche di approfondimento e conferma. Va comunque ricordato, che in letteratura da tempo la luce blu è inclusa tra le possibili cause di AMD (6).

3 - LA "LUCE BLU" E L'ATTIVITÀ LAVORATIVA

Le radiazioni ottiche artificiali interessano una molteplicità di sorgenti cui i lavoratori possono essere esposti. Tali sorgenti includono l'illuminazione generale diffusa, ma anche quella localizzata (lampade da tavolo, displays di vario tipo, schermi, etc.) (9).

È difficile pensare ad un'occupazione che non implichi, prima o poi, l'esposizione a radiazioni ottiche generate artificialmente, ove la presenza di "componenti blu" sia totalmente esclusa.

Tuttavia pare opportuno indicare quali siano i settori lavorativi in cui essa è di più comune riscontro:

- lavorazione di metalli con operazione di saldatura ad arco;
- manifestazioni di intrattenimento e spettacolo (ampio uso di diversi tipi di proiettori per produrre specifici effetti, quali luci modellanti, lampade flash, "occhio di bue", etc. (Fig u 3));
- attività sanitarie (sale operatorie, fototerapia neonatale e dermatologica, odontoiatria - Fig u 4, 5, 6-, etc.);
- trattamenti cosmetici (utilizzo di lampade UV, da cui possono originare anche emissioni nella banda del blu) (Fig u 7));
- capannoni industriali e grandi magazzini (Fig u r 8) dove sono necessarie potenti sorgenti di illuminazione artificiale.

4 - LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO E I LIMITI DI ESPOSIZIONE

La valutazione del rischio relativo all'esposizione a Radiazioni Ottiche Artificiali deve essere eseguita mantenendo come principale riferimento il Decreto Legislativo 81/2008, Titolo VIII, capo V e l'Allegato XXXVII parte prima. Utile documento interpretativo è costituito dalle già citate "Indicazioni operative" predisposte dalla Coordinamento Tecnico delle Regioni (10).

In base all'articolo 216 del D.Lgs.81/2008, nella valutazione dei rischi occorre prestare particolare attenzione ai seguenti elementi:

- a) livello, gamma di lunghezza d'onda, durata della esposizione;
- b) Valori Limite di Esposizione (VLE) ;
- c) gruppi particolarmente sensibili al rischio;
- d) interazioni tra le ROA e le sostanze chimiche foto-sensibilizzanti;
- e) effetti indiretti, come l'accecamento temporaneo, le esplosioni o il fuoco;
- f) esistenza di attrezzature di lavoro alternative, progettate per ridurre i livelli di esposizione alle ROA;
- g) disponibilità di azioni di risanamento volte a minimizzare i livelli di esposizione alle ROA;
- h) informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni pubblicate;
- i) sorgenti multiple di esposizione alle ROA;
- j) classificazione dei laser, stabilita conformemente alla pertinente norma IEC e, in relazione a tutte le sorgenti artificiali che possono arrecare danni simili a quelli di un laser della classe 3B o 4, tutte le classificazioni analoghe;

k) informazioni fornite dai fabbricanti delle sorgenti di radiazioni ottiche e delle relative attrezzature di lavoro in conformità alle pertinenti direttive comunitarie. La valutazione del rischio andrà effettuata in collegamento con il Medico Competente cui competono gli aspetti relativi all'individuazione dei soggetti ipersuscettibili e le modalità di effettuazione della Sorveglianza Sanitaria.

Gli effetti biologici (in particolare oculari) della luce blu dipendono da:

- lunghezza d'onda λ ;
- durata dell'esposizione t ;
- angolo α sotto il quale la sorgente viene osservata.

Pertanto, le grandezze che esprimono i VLE devono essere prese, di volta in volta, come riferimento ed assumono valori differenti in funzione dei parametri citati, ossia:

- l'irradianza "E" viene adottata, quale VLE, quando gli effetti sono indipendenti dall'angolo di osservazione e dal tempo di esposizione;
- l'esposizione radiante "H" viene adottata, quale VLE, quando si deve considerare l'effetto dell'energia assorbita in relazione al tempo di esposizione;
- la radianza "L" viene adottata, quale VLE, quando è importante la dipendenza angolare.

La Direttiva 2006/25/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative alla esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (ROA), recepisce per intero i criteri proposti dall'ICNIRP.

In tutti i casi di esposizione, la valutazione tiene conto dei dati indicati dal costruttore dell'attrezzatura o apparecchio, se contemplati da pertinenti direttive comunitarie di prodotto.

I rilievi vengono effettuati presso le postazioni di lavoro occupate dagli addetti, ovvero nei punti ritenuti idonei a ricostruire la situazione espositiva di occhi, mani o altre parti del corpo.

Completate le rilevazioni, si deve provvedere alla stesura del documento di valutazione del rischio che, basandosi sui dati contenuti nella specifica "relazione tecnica di misura" (allegato indispensabile ai fini valutativi), definirà l'eventuale necessità di adozione di specifiche misure di prevenzione e protezione.

All'azienda viene richiesta la disponibilità a fornire tutte le informazioni ritenute necessarie ai fini della valutazione, con particolare riguardo all'acquisizione dei dati necessari alla effettuazione delle misure, alla identificazione delle categorie di lavoratori esposti ed alla stima del tempo di esposizione.

5 - I LIMITI DI ESPOSIZIONE PER LA "LUCE BLU"

L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) ha pubblicato uno specifico documento (1) che riporta i valori limite di soglia per sostanze chimiche e agenti fisici ove è fatto specifico riferimento anche alla "luce blu", sulla base dei dati forniti dall'ICNIRP (7).

Il documento emanato dall'ICNIRP risulta il più autorevole tra quelli sino ad oggi pubblicati e riporta anche specifiche indicazioni tecniche per le misurazioni,

nell'intento di favorirne una standardizzazione, in particolare per quanto riguarda la valutazione delle reali condizioni di esposizione.

I limiti di esposizione, sia per le sorgenti convenzionali sia per i laser, sono basati su soglie di lesione oculare riscontrate prevalentemente mediante studi di laboratorio, su cavie e in qualche caso anche sull'uomo con valori e relativi fattori di sicurezza tra loro differenti. Lo spettro di azione che viene utilizzato per la luce blu correla il potenziale danno retinico con la radianza della sorgente e, in alcuni casi particolari, con l'irradianza della superficie oculare.

Per le sorgenti a banda larga, caratterizzate da uno spettro continuo estremamente variabile, si osserva che, per un dato tempo di esposizione e per una data sorgente, risulta prevalente una patogenesi di lesione (per esempio quella termica), mentre per un'altra sorgente, che abbia configurazione differente, la patogenesi prevalente è diversa (fotochimica).

In generale, l'intensità della sorgente influenza anche il periodo di esposizione durante il quale si produce la lesione; sorgenti ad alta intensità provocano lesioni in brevi periodi di esposizione, mentre sorgenti più deboli impiegano più tempo per far insorgere la stessa lesione. Inoltre, se la sorgente comprende bande spettrali diverse, a determinati livelli di potenza può instaurarsi più di un tipo di lesione (ad esempio: fotoretinite associata a danno termico del cristallino).

Dal momento che la lesione fotochimica segue la legge della reciprocità, i limiti di esposizione possono anche essere espressi semplicemente in termini di energia totale. In tal caso, non è richiesto che sia specificata la durata dell'esposizione (purché sia inferiore al t_{\max} dato di 10000 s), in quanto è fissato un valore di energia (durata per intensità) che non deve essere superato. Tale approccio non prende in considerazione, però, gli eventuali rischi dovuti a piccolissime dosi ripetute in tempi prolungati, di grande rilevanza invece in una prospettiva di prevenzione del rischio occupazionale.

6 - L'APPLICAZIONE DEI LIMITI DI ESPOSIZIONE

La corretta applicazione dei limiti di esposizione richiede la conoscenza della radianza spettrale (L_{λ}) o dell'irradianza spettrale (E_{λ}) e delle dimensioni della sorgente sottesa rispetto alla posizione degli occhi. Per le sorgenti di luce bianca, i dati spettrali sono necessari ai fini della valutazione dell'esposizione solo nel caso in cui la luminanza superi 104 cd/m^2 (1 cd/cm^2). Questa regola pratica è usata per escludere a priori le sorgenti di luce più semplici che non superano comunque i limiti di esposizione ed è applicabile a sorgenti anche più complesse (a incandescenza, fluorescenza e ad arco) che con valore di luminanza inferiore a 104 cd/m^2 non provocano il superamento dei limiti di esposizione. I limiti di esposizione prendono in considerazione osservazioni con durata superiore a 0,25 s, anche se la risposta di naturale avversione alle sorgenti di luce intensa esclude che una tale sorgente possa essere osservata più a lungo. Va tuttavia rilevato che né la letteratura né le norme escludono in modo chiaro e netto la possibilità di lesioni insorte a seguito di esposizioni ripetute a piccole dosi e per brevi tempi. È pertanto necessario, per un'efficace prevenzione, mettere a punto anche metodi e criteri di diagnosi capaci di identificare, in modo precoce, i sintomi e soprattutto i segni

causati da un'esposizione che si è lungamente protratta nel tempo.

7 -STRUMENTI DI MISURAZIONE

La valutazione del rischio biologico da esposizione a luce blu richiede la conoscenza delle grandezze radiometriche spettrali relative alla sorgente emittente (radianza e irradianza spettrale). Essendo, per tali misure, indispensabile l'uso di uno strumento dotato di monocromatore (spettrometro), se ne descrivono di seguito struttura e caratteristiche.

7 . LO SPETTRORADIOMETRO

Lo spettrometro (Figura 9) è in grado di misurare l'irradianza e la radianza in una sottile banda dello spettro, centrata su una lunghezza d'onda variabile e selezionabile dall'utilizzatore. Esso comprende: ottica d'ingresso, monocromatore e sistema di lettura (Figura 10) .

L'ottica d'ingresso è progettata per condurre la radiazione dalla sorgente al monocromatore. La radiazione ottica, inviata all'interno del monocromatore mediante fibre ottiche, viene separata, a seconda della lunghezza d'onda, da un prisma o da un reticolo in quarzo. La luce entra nel monocromatore attraverso una fessura d'ingresso che è posizionata nel fuoco di uno specchio collimante, viene riflessa come un fascio parallelo e incide sul prisma o sul reticolo che separa la luce in fasci paralleli con lunghezze d'onda dipendenti dall'angolo d'incidenza.

Negli spettrometri a scansione, la rotazione del reticolo consente la selezione delle differenti lunghezze d'onda, mentre negli strumenti multicanale il reticolo è fisso e le diverse componenti spettrali sono separate dalla diffrazione e vengono rivelate contemporaneamente da una serie di sensori – CCD.

Negli spettrometri a multicanale, sono usualmente utilizzati CCD con proprietà differenti rispetto agli spettrometri a scansione. Il ricorso a rivelatori a CCD permette di effettuare acquisizioni istantanee di spettri: sono quindi particolarmente indicati per l'analisi di sorgenti pulsate o flash. Va tuttavia ricordato che essi introducono, rispetto ai sistemi a scansione, numerosi errori che possono pregiudicare l'attendibilità della misura.

8 -LA SORVEGLIANZA SANITARIA AI LAVORATORI ESPOSTI A LUCE BLU

Momento importante per prevenire gravi patologie luce blu correlate, è anche quello della sorveglianza sanitaria che dovrebbe essere fatta con maggiore attenzione nei soggetti più sensibili, in particolare se giovani (assunzione di farmaci fotosensibilizzanti, quali amiodarone, cloroquina, fenotiazine, ibuprofene, etc., presenza di segni di maculopatia, di lesioni colobomatose, di drüsen, di pseudofachia).

A nostro avviso, la sorveglianza sanitaria dovrebbe consistere in:

- a) visita oftalmica generale (anamnesi, esame obiettivo di annessi, segmento anteriore e posteriore);
- b) acuità visiva e rifrazione;
- c) oftalmoscopia (in midriasi), con foto del fundus in autofluorescenza;
- d) esame della retina mediante Ocular Computerized Tomography (OCT) (Figura 11);
- e) valutazione funzionale mediante griglia di Amsler;
- f) test per l'esame del contrasto.

Da ultimo, utile ricordare che nei lavoratori intensamente esposti, o aventi caratteristiche oculari che li rendano maggiormente suscettibili all'azione della luce blu, dovrebbero essere resi disponibili dispositivi di protezione individuale. Questi potrebbero essere rappresentati da specifici occhiali a tempiale con schermatura laterale o da speciali lenti a contatto per i soggetti che ne facciano già uso.

9 - CONCLUSIONI

Mentre in letteratura sono reperibili molti studi in ambito istologico ed oftalmico sugli effetti patologici "da luce blu", sono quasi completamente assenti indagini di Medicina del Lavoro e d'Igiene Occupazionale mirate a valutare "sul campo", mediante analisi e quantificazioni obiettive, le condizioni di rischio degli operatori esposti.

Il tema "luce blu" pare oggi assumere sempre maggiore importanza in tutti i moderni settori del mondo del lavoro. Prova ne sia la recente comparsa sul mercato di displays ad alta luminanza (schermi di computer, smartphone, tablet e smartwatch) che emettono luce blu (9, 11) e che certamente diverranno sempre più presenti nella vita di ogni individuo, in ambito lavorativo ed extralavorativo. Pare pertanto doveroso l'auspicio che la Medicina del Lavoro e l'Igiene Occupazionale prestino a questo fattore di rischio un'attenzione maggiore che in passato.

10 - BIBLIOGRAFIA

1. ACGIH 2014 – Valori limite di soglia per sostanze chimiche ed agenti fisici ed indici biologici di esposizione - www.acgih.org/.
2. Alverre P.V., Marshall J., Seregard S. Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. *Acta Ophthalmol Scand* 2006 Feb; 84(1): 4-15.
3. Beatty S, et al. The role of oxidative stress in the pathogenesis of Age-related Macular Degeneration. *Surv Ophthalmol* 2000 Sep-Oct; 45(2): 115-34.
4. Chen P., Hao W., Rife L., Wang XP., Shen D., Chen J., Ogden T., Van Boemel GB., Wu L., Yang M., Fong HK. A photic visual cycle of rhodopsin regeneration is dependent on Rgr. *Nat .Genet.* 2001 28:256-60.
5. Crabb J.W., et al. Drusen Proteome Analysis: An Approach to the Etiology of Age-Related Macular Degeneration. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A* 2002; 99(23): 14682-7.

6. Easty D.L., Sparrow J.M. Oxford Textbook of Ophthalmology, Oxford Medical Publication 2000.
7. Guidelines on Limits of Exposure for Broad-band incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 μ). ICNIRP GUIDELINES. Health Phys. 1997 Sept; 73(3): 539-554. - www.icnirp.org/.
8. Ham W. Ocular hazard of current knowledge. J Occup Med 1983; 25: 101-103.
9. Haruo I., Apurva K., Takuya K., Yuuta N., Hiroyuki Y. The Effect of Blue Light on Visual Fatigue When Reading on LED-backlit Tablet LCDs - Proc. of the 20th International Display Workshops (IDW'13), VHFp-9L (2013).
10. Indicazioni operative D.Lgs.81/2008 Titolo VIII, Capo I, II, III, IV e V – Coordinamento Tecnico per la sicurezza dei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Provincie autonome.
11. Kuse Y., Ogawa K., Tsuruma K., Shimazawa M., Hara H. Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. - Sci Rep. – Nature 2014 Jun 9;4:5223.
12. Leu S.T., Batni S., Radeke M.J., Johnson L.V., Anderson D.H., Clegg D.O. Drusen are Cold Spots for Proteolysis: Expression of Matrix Metalloproteinases and Their Tissue Inhibitor Proteins in Age-related Macular Degeneration. Exp Eye Res 2002 Jan; 74(1): 141-54.
13. Liang FQ, Godley BF. Oxidative stress-induced mitochondrial DNA damage in human retinal pigment epithelial cells: a possible mechanism for RPE aging and age-related macular degeneration. Exp Eye Res 2003 Apr; 76(4): 397-403. E. Rinaldi: Saldatura e taglio dei metalli. Hoepli, 1975.
14. Norma CEI 34-141 (IEC/TR 62778) “Applicazione della IEC 62471 alle sorgenti luminose e agli apparecchi di illuminazione per la valutazione del rischio da luce blu” - www.ceiweb.it/
15. Shaban H., Richter C. A2E and blue light in the retina: the paradigm of age-related macular degeneration. Biol Chem 2002 Mar-Apr; 383(3-4): 537-45.
16. Sparrow J.R., Zhou J., Cai B. DNA is a target of the photodynamic effects elicited in A2E-laden RPE by blue-light illumination. Invest Ophthalmol Vis Sci 2003 May; 44(5): 2245-51.
17. Verhoeff FH., Bell L. The pathological effect of radiant energy on the eyes. Proc. Am. Acad. Arts. Sci. 51:630-759, 1916.

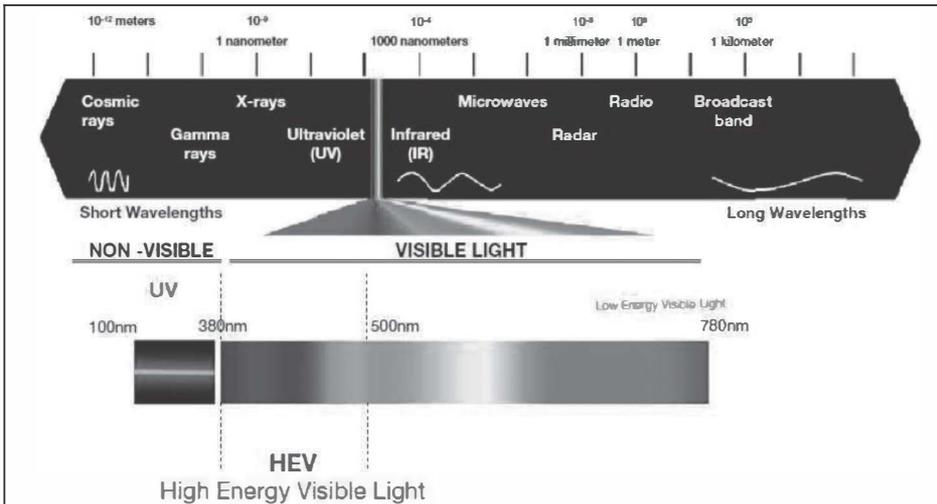


Figura 1: Spettro elettromagnetico totale e radiazione visibile

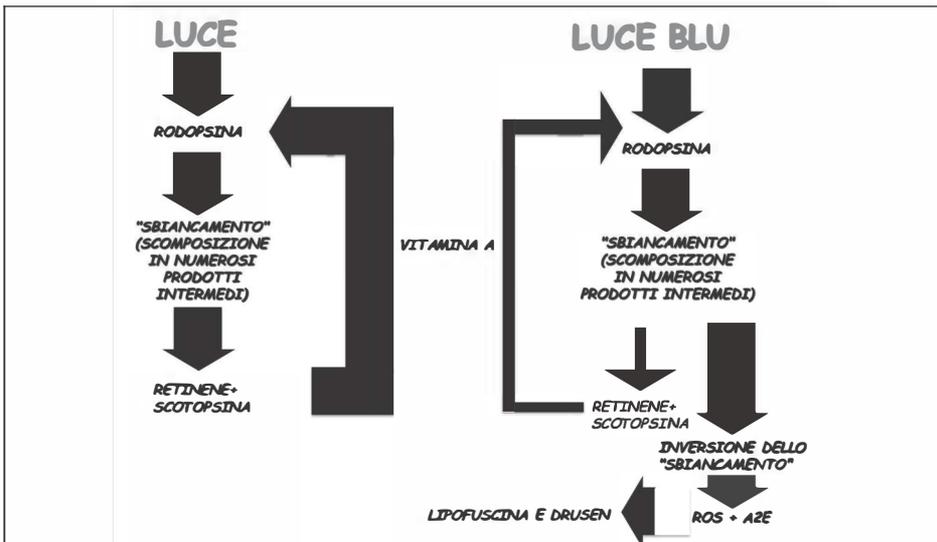


Figura 2: Ciclo visivo o ciclo di Wald



Figura 3 Palco illuminato con lampade ad alogenuri metallici



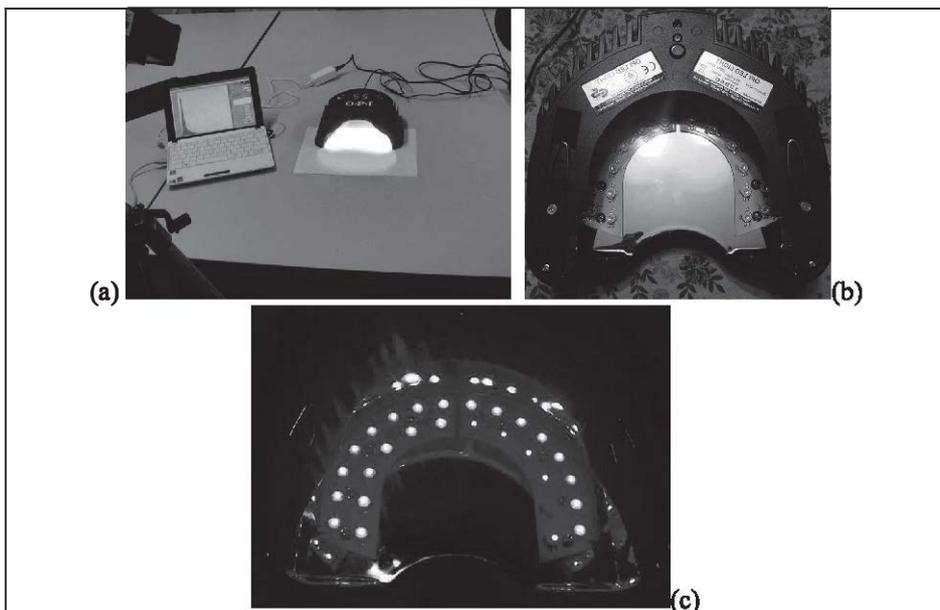
Figura 4 : Lampada scialitica presso sala operatoria



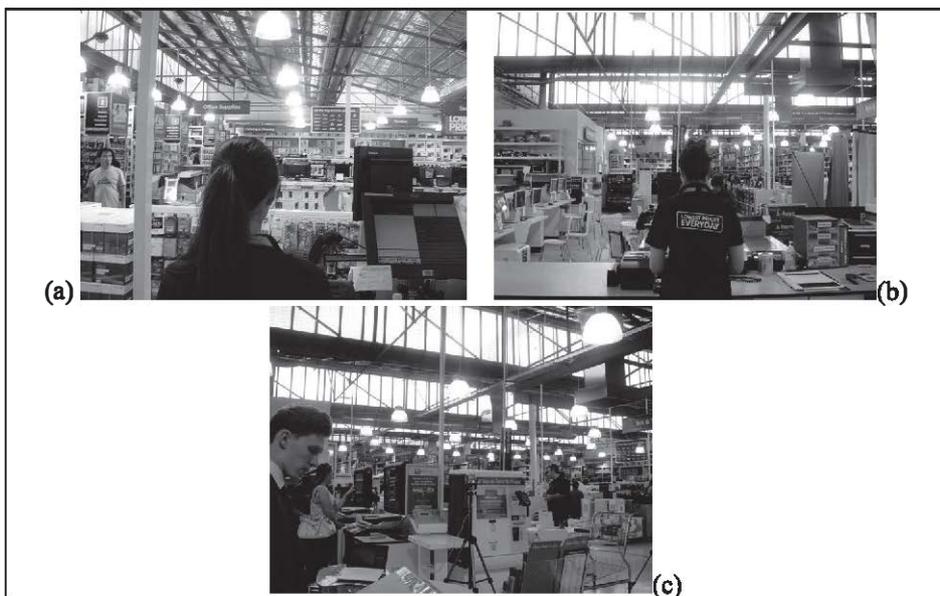
Figura 5: Ambulatorio per terapia P-UVA



F i g u r a 6: Uso di lampada polimerizzante in terapia ortodontica



Figur a 7 : Lampada polimerizzatrice di prodotti gel per la ricostruzione delle unghie: lampada in funzione (a); capovolta spenta (b); capovolta accesa (c)



Figur a 8: grande magazzino illuminato con lampade ad alogenuri metallici (mod. VENTURE MP 350W/C/V/MD/UVS/PS 737): postazione cassa (a); postazione fotocopie (b); area cliente (c)



Figura 9: Spettrofotometro per misurazioni ambientali

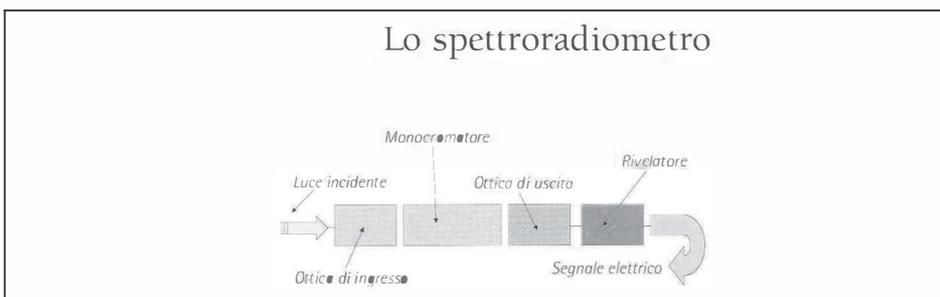


Figura 10: Diagramma a blocchi di uno spettroradiometro



Figura 11: Optical Coherent Tomography (OCT) per l'esame della retina



Figura 12 : Fondo clinico di paziente affetto da AMD (Age related Macular Disease)

LOCALI IN TERRA E IN TERRA DEFUMI, REQUISITI AERODINAMICI E ILLUMINAZIONE

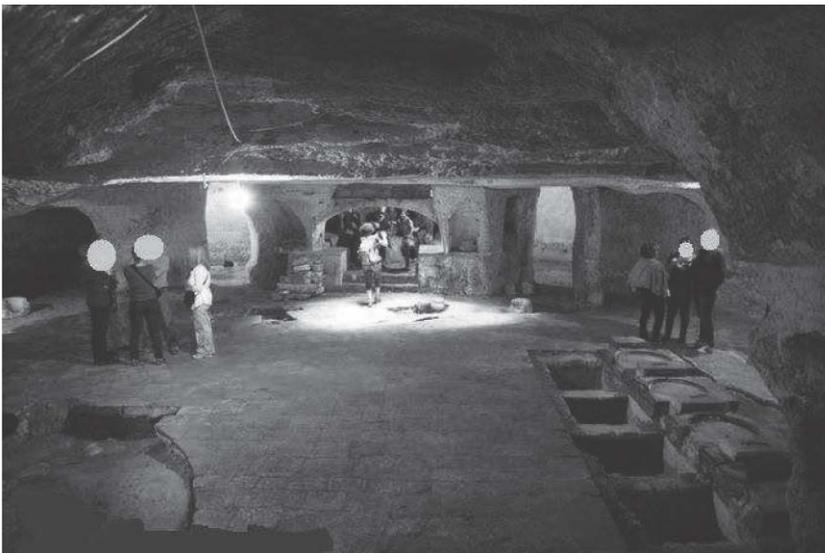
Siliconi

Azienda USL di Modena

1 - P R E M E S S A

Nel corso dei millenni l'essere umano ha saputo sfruttare il sottosuolo per ragioni di opportunità ed utilità, economizzando lo spazio in superficie, sfruttandone le caratteristiche termiche (locali freschi d'estate e caldi d'inverno) e le possibilità di difesa (caveau, bunker).

Un esempio è rappresentato dal Frantoio Ipogeo per la produzione di olio d'oliva, che risultava molto diffuso in Salento: l'isolamento termico del locale sotterraneo, riscaldato da grandi lumi e dal calore prodotto da uomini ed animali, garantiva condizioni microclimatiche ottimali al processo di produzione dell'olio d'oliva (F i g h) a



F i g u r a Frantoio Ipogeo del Salento per la produzione di olio d'oliva

Le esperienze del passato tuttavia mettono in evidenza anche i limiti, se non addirittura la pericolosità per la salute e la sicurezza dell'uomo, della vita e dell'attività lavorativa condotta in locali interrati e seminterrati o comunque, in locali privi dei requisiti di illuminazione, aerazione, controllo dell'umidità.

Si pensi ad esempio alle condizioni di lavoro dei carusi siciliani, cioè i ragazzi di età inferiore ai 9 anni occupati nelle miniere: l'inchiesta avviata nel 1903 mise in luce risultati raccapriccianti, per i danni e le deformazioni permanenti subiti da questi ragazzi.

Significativa è anche l'esperienza delle lavorazioni della seta e del cotone alla fine del XIX secolo: l'assenza di finestre nelle fabbriche era la norma, in quanto la luce avrebbe potuto stingere la brillantezza del colore dei filati; inoltre erano del tutto assenti o assolutamente insufficienti i servizi igienici, gli spazi di lavoro erano ristrettissimi, l'illuminazione era affidata a lampade a petrolio, i pavimenti erano imbrattati di olio e l'aria era irrespirabile.

1 . SFRUTTAMENTO DI LOCALI INTERRATI E SEMINTERRATI: LE CRITICITÀ

L'opportunità di utilizzare il "sottosuolo" per fini abitativi o produttivi è inevitabilmente legata allo sforzo progettuale di superarne le intrinseche criticità: salubrità degli ambienti e sicurezza delle persone.

L'ambiente ipogeo impone infatti l'adozione di soluzioni tecnico-impiantistiche di alto livello tecnologico, affidabili e comprensive di sistemi di emergenza, in grado di far fronte a guasti ed avarie.

Gli aspetti principali da considerare sono in particolare:

- a) la pericolosità delle caratteristiche idrogeologiche dell'area oggetto di intervento, poiché la possibilità di allagamenti e inondazioni è vincolante su qualsiasi ipotesi progettuale;
- b) la destinazione degli ambienti di lavoro l'art. 65 del D.Lgs.81/08 impone il divieto di destinare al lavoro locali chiusi sotterranei o semi-sotterranei (salvo deroghe per particolari esigenze tecniche legate al processo produttivo o per lavorazioni che non diano luogo ad emissioni di agenti nocivi), mentre per la destinazione residenziale il rilascio del permesso a costruire è vincolato al rispetto delle prescrizioni dei vigenti regolamenti edilizi, peraltro non uniformi tra loro sul territorio nazionale e regionale;
- c) la sicurezza statica e l'eventuale presenza di gas nocivi che lo sfruttamento di locali interrati e seminterrati non può prescindere dall'esistenza per detti locali dei requisiti di aerazione, illuminazione, altezza interna, larghezza e lunghezza dei passaggi, lunghezza dei percorsi di esodo, numero di uscite di emergenza;
- d) il controllo dell'umidità e le eventuali infiltrazioni di acqua, eccesso di umidità e ventilazione carente influenzano il benessere termigrometrico e la salubrità degli ambienti;
- e) l'accessibilità personale con ridotta o impedita capacità motoria o sensoriale;
- f) la presenza di radiazioni radioattive naturali, inodore e inodore, generato dal decadimento del radio (prodotto dalla trasformazione dell'uranio) presente nelle rocce, nel suolo e nei materiali da costruzione; la sua pericolosità come agente cancerogeno è particolarmente significativa negli ambienti chiusi (F i g 2) a

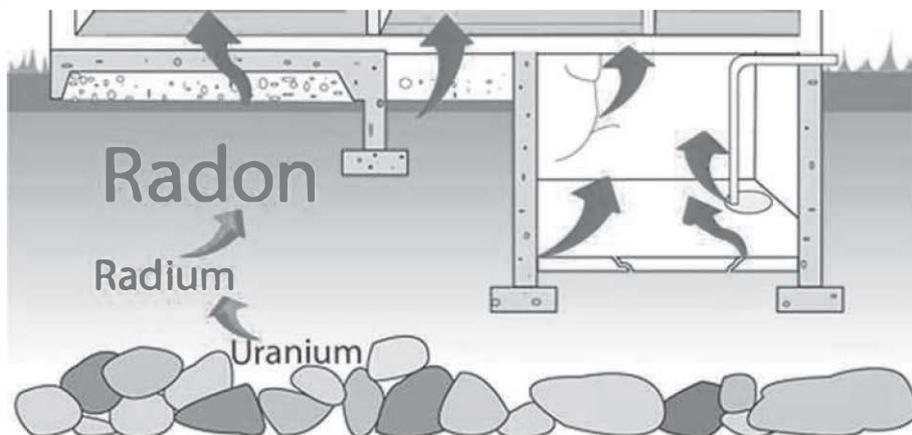


Figura 2: Decadimento dell'Uranio in Radio e del Radio in Radon

1.2 SFRUTTAMENTO DI LOCALI INTERRATI E SEMINTERRATI: LE OPPORTUNITÀ

Lo sfruttamento di locali interrati e seminterrati presenta innegabilmente dei punti di forza, in primo luogo la **riduzione dell'impatto ambientale**, in termini di **consumo di suolo** e di rispetto del paesaggio; in secondo luogo vanno considerati lo sfruttamento efficiente degli spazi sopra-suolo attraverso lo spostamento in profondità dei servizi (ad esempio i locali tecnici, i parcheggi, le metropolitane) ed il contributo a risolvere efficacemente il problema della densità abitativa e della "mancanza di spazio" nelle città.

Il suolo è estremamente importante per la vita sulla Terra: ospita migliaia di specie che mantengono e regolano i cicli dei nutrienti e il flusso energetico tra l'atmosfera, le acque sotterranee e la vegetazione. Il suolo costituisce la base per la produzione di alimenti e svolge importanti funzioni, ad esempio filtra e trattiene l'acqua e immagazzina carbonio. Ciò nonostante, la sua importanza viene spesso sottovalutata. Non a caso l'Assemblea generale delle Nazioni unite ha proclamato il 2015 «Anno internazionale dei suoli».

Il **consumo** di suolo deve essere inteso come un fenomeno associato alla perdita di una risorsa ambientale fondamentale, limitata e non rinnovabile, dovuta all'occupazione di superficie originariamente agricola, naturale o semi-naturale.

Il fenomeno si riferisce ad un incremento della copertura artificiale di terreno, legato alle dinamiche insediative: costruzione di nuovi edifici, capannoni e insediamenti, all'espansione delle città, alla densificazione o alla conversione di terreno entro un'area urbana, all'infrastrutturazione del territorio.

Gli impatti negativi del consumo di suolo sono ormai ben conosciuti a livello scientifico; tra i più significativi si segnala l'impermeabilizzazione, ovvero la copertura permanente di parte del terreno e del relativo suolo con materiale artificiale non permeabile, principale causa di degrado in Europa, in quanto comporta un rischio accresciuto di inondazioni, contribuisce al riscaldamento globale, minaccia la biodiversità.

Nel grafico di **Figura 3** si evidenzia l'andamento del consumo di suolo in Italia dagli anni 50 ad oggi.

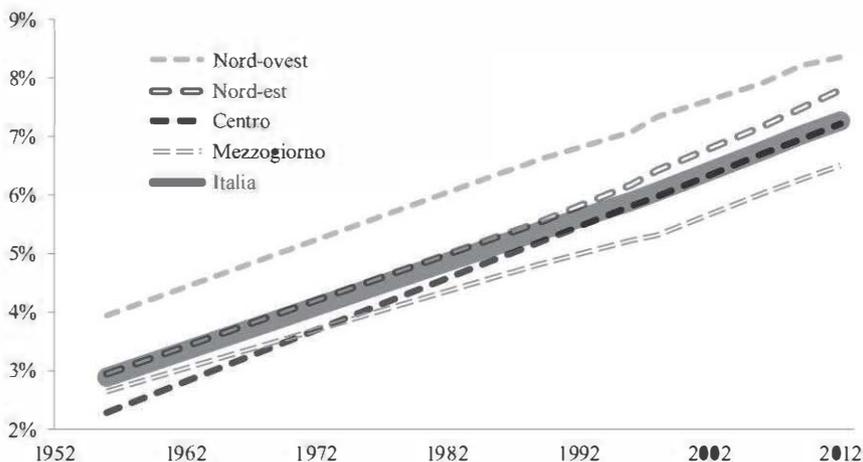


Figura 3 Il consumo di Suolo in Italia (Fonte: ISPRA 2014)

Le principali strategie per ridurre il consumo di suolo sono:

- riutilizzare aree già costruite, compresi i siti industriali dismessi,
- investire sul patrimonio edilizio esistente,
- incentivare il riuso dei suoli già compromessi e la rigenerazione urbana,
- tutelare tutte le aree non edificate e non impermeabilizzate, anche in ambito urbano (oltre che in ambito agricolo),
- sfruttare locali interrati e seminterrati (architettura ipogea).

2 - DEFINIZIONI

2.1 DEFINIZIONI DI LOCALE INTERRATO, SEMINTERRATO, ASSIMILABILE A FUORI TERRA

La definizione di locali interrati, seminterrati, assimilabili a fuori terra non è uniforme sul territorio nazionale.

Diversi anni fa il **Ministero del Lavoro**, in una nota inviata agli organi ispettivi periferici, diede alcuni indirizzi sull'applicazione dell'art. 8 del D.P.R. n. 303/1956 (oggi superato in seguito all'introduzione del D.Lgs.81/2008) e si espresse nel senso di considerare:

- **locali interrati**, quelli che hanno il solaio di copertura completamente al di sotto del piano campagna o di pavimentazione esterna;

- **locali seminterrati**, quelli il cui solaio di copertura è posto al di sopra dello stesso piano campagna, per una altezza inferiore al 50% dell'altezza del locale medesimo;
- **locali assimilabili ai locali al piano** quelli aventi il solaio di copertura posto, rispetto al piano campagna, a più del 50% dell'altezza del locale medesimo.

Per quanto riguarda i locali disposti in zone con piano esterno inclinato o disposti ad altezze diverse, la stessa nota suggeriva, per individuare se il locale era interrato, seminterrato o assimilabile a locale fuori terra, di fare riferimento ad una altezza media perimetrale dei locali da adibire a lavoro.

Sono state introdotte altre definizioni di locali interrati e seminterrati, ad esempio il Decreto Ministeriale sull'edilizia scolastica del 18 dicembre 1975 "*Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*", al punto 3.0.6 stabilisce:

"sarà consentito ubicare in piani seminterrati solamente locali di deposito e per la centrale termica o elettrica; non saranno considerati piani seminterrati quelli la cui metà del perimetro di base sia completamente fuori terra".

Pertanto si evincono le seguenti definizioni:

- **locali seminterrati**: quelli che hanno più del 50% del perimetro di base sotto terra;
- **locali assimilabili a fuori terra**: quelli che hanno più del 50% del perimetro di base completamente fuori terra.

Oltre a quanto sopra, successivamente sono state introdotte altre e diverse definizioni nell'ambito di norme regionali, regolamenti comunali, linee guida; anche la giurisprudenza è intervenuta.

Di seguito si riportano alcuni casi.

2. I Regione Emilia Romagna

Le definizioni sono tratte dalla "Deliberazione della Assemblea legislativa della regione Emilia-Romagna 4 febbraio 2010, n. 279 *Approvazione dell'atto di coordinamento sulle definizioni tecniche uniformi per l'urbanistica e l'edilizia e sulla documentazione necessaria per i titoli abilitativi edilizi*".

- **Locale interrato**: piano di un edificio il cui soffitto si trova ad una quota uguale o inferiore a quella del terreno circostante, intesa come linea di stacco dell'edificio. Ai fini del computo delle superfici, sono assimilati agli interrati i seminterrati con quota di soffitto sopraelevata rispetto a quella del terreno circostante di una misura media inferiore a m 0,90.
- **Locale seminterrato**: piano di un edificio il cui pavimento si trova a una quota inferiore (anche solo in parte) a quella del terreno circostante e il cui soffitto si trova ad una quota media uguale o superiore a m 0,90 rispetto al terreno, misurata sulla linea di stacco dell'edificio.
- **Locale assimilabile a fuori terra**:
 - i seminterrati il cui pavimento sia, almeno su un fronte, ad una quota uguale o superiore a quella del terreno circostante;
 - i seminterrati il cui pavimento sia ad una quota media uguale o superiore a 0,30 m sotto a quella del terreno circostante (-0,30 m).

2 . 1 Comune di Modena

Le definizioni sono tratte dal *Testo Coordinato delle norme di PSC - POC – RUE* approvato con Delibera di C.C. n° 36 del 31/03/2014 e sono essenzialmente le medesime della suddetta Delibera della Assemblea Legislativa Regionale 279/2010.

- **Piano fuori terra:** è il piano di un edificio il cui pavimento si trova in ogni suo punto perimetrale a una quota uguale o superiore a quella del terreno circostante, anche a seguito delle opere di sistemazione dell'area.
- **Piano seminterrato:** è il piano di un edificio il cui pavimento si trova a una quota inferiore (anche solo in parte) a quella del terreno circostante e il cui soffitto si trova ad una quota media uguale o superiore a m 0,90 rispetto al terreno, misurata sulla linea di stacco dell'edificio.

Ai fini del computo delle superfici, i piani con quota di soffitto sopraelevata rispetto a quella del terreno circostante di una misura in media inferiore a m 0,90 sono assimilati ai piani interrati.

Sono assimilati a piani fuori terra: i seminterrati il cui pavimento sia, almeno su un fronte, ad una quota uguale o superiore a quella del terreno circostante; i seminterrati il cui pavimento sia ad una quota media uguale o superiore a m -0,30 rispetto a quella del terreno circostante.

- **Piano interrato:** è il piano di un edificio il cui soffitto si trova ad una quota uguale o inferiore a quella del terreno circostante, intesa come linea di stacco dell'edificio.

Ai fini del computo delle superfici, sono assimilati agli interrati i seminterrati con quota di soffitto sopraelevata rispetto a quella del terreno circostante di una misura media inferiore a m 0,90.

2 . 1 Regione Piemonte

Le definizioni sono tratte dalla Deliberazione della Giunta Regionale Piemonte del 16 gennaio 2006, n. 30-1995 "Approvazione di linee-guida per la notifica relativa a costruzione, ampliamento o adattamento di locali e di ambienti lavoro ex art. 48, D.P.R. n. 303/1956".

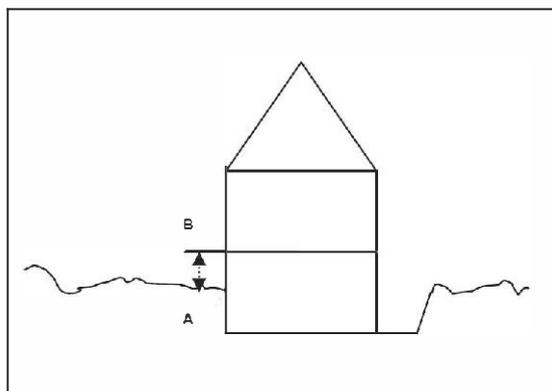


Figura 4: Schema per le definizioni di locale interrato, locale semi-interrato, locale assimilabile a fuori terra

- **Localnet** è quello quando la differenza B - A è inferiore a 1/3 dell'altezza del locale.
- **Localsemi** è quello quando la differenza B - A è compresa fra 1/3 e 1/2 dell'altezza del locale.
- **Localsesi** è quello quando la differenza B - A è superiore a 1/2 dell'altezza del locale.

Dove:

A - Piano è il piano di campagna circostante il fabbricato. Risulta orizzontale nel caso del terreno pianeggiante e obliquo nel caso di zona non pianeggiante. In caso di terreni in pendenza il piano di campagna viene riferito alla superficie corrispondente alla quota media aritmetica degli interrimenti su ogni parte del locale.

Qualora i terreni in pendenza siano oggetto di sbancamenti, il piano di campagna corrisponde al piano del pavimento del fabbricato quando lo spazio circostante il fabbricato, nei lati rivolti verso lo sbancamento, è libero e scoperto per una ampiezza di almeno m 1,20 (l'ampiezza del passaggio che circonda le parti del fabbricato rivolte verso le aree di sbancamento consente la realizzazione di vie di esodo o di accesso per i soccorritori equivalenti a quelle dei piani fuori terra).

B - Piano è il piano contenente la faccia inferiore (intradosso) del solaio di copertura del locale in esame.

2.1 Regione Veneto

Le definizioni sono tratte dalla Delibera n. 1887 del 27 maggio 1997 relativa alla *Revisione circolare regionale n. 38/87 "Criteri generali di valutazione dei nuovi insediamenti produttivi e del terziario"*. Si prenda a riferimento ancora lo schema di **Figura**

- **Localnet** è quello ove la differenza B-A è inferiore a m 1,00.
- **Localsemi** è quello ove la differenza B-A è compresa fra m 1,00 e m 1,60.
- **Localsesi** è quello ove la differenza B-A è superiore a m 1,60.

Dove:

A - Piano è il piano di campagna circostante il fabbricato. Risulta orizzontale nel caso di terreno pianeggiante e obliquo nel caso di zona non pianeggiante.

B - Piano è il piano contenente la faccia inferiore (intradosso) del solaio di copertura del locale in esame.

2.1.5 Regione Emilia

Le definizioni sono tratte dalla Legge Regionale 15 novembre 2007, n. 33 *"Recupero dei sottotetti, dei porticati, di locali seminterrati e interventi esistenti e di aree pubbliche non autorizzate"*.

- **Semi** è il piano la cui superficie laterale si presenta contro-terra per una percentuale inferiore ai due terzi della superficie laterale totale.

- **Interrati:** i piani la cui superficie laterale si presenta contro-terra per una percentuale superiore ai due terzi della superficie laterale totale.

2.1.6 Regione Toscana

Le definizioni sono tratte dal documento *“Indirizzi tecnici di igiene edilizia per i locali e gli ambienti di lavoro”* emanato dalla Regione Toscana nel 2003.

- **Sottterraneo:** quando il piano orizzontale contenente l'intradosso del solaio di copertura del locale risulta sotto o al pari del piano di campagna.
- **Semisottterraneo:** quando la quota (Q) tra il piano di calpestio del locale ed il piano di campagna è compresa tra m 1,20 e l'altezza del locale.
- **Equiparabile a locale fuori terra:** quando la quota (Q) tra il piano di calpestio del locale ed il piano di campagna è inferiore a m 1,20 oppure quando il piano di calpestio è allo stesso livello del piano di campagna per almeno cinque metri misurati perpendicolarmente alla parete stessa.

Il piano di campagna è la superficie riconducibile o associata all'orizzontale che rappresenta il terreno ad una quota determinata. In caso di terreni in pendenza, il piano di campagna viene riferito alla superficie corrispondente alla quota media aritmetica degli interramenti su ogni parte del locale.

2.1.7 Comune di Firenze

Le definizioni sono tratte dal *Regolamento Edilizio* approvato con delibera C.C. n. 14 del 25/03/2014.

- **Piano o locale interrato:** piano dell'edificio - o singolo locale - il cui soffitto, misurato all'intradosso, risulti in ogni sua parte ad una quota pari o inferiore a quella del terreno, del marciapiede, della pavimentazione, nonché di eventuali rampe o scale esterne, posti in aderenza all'edificio medesimo.
In caso di manufatti isolati, oppure di locali in tutto o in parte esterni all'area di sedime dell'edificio cui afferiscono, si considerano interrati solo i locali, o parti di essi, il cui estradosso di copertura non fuoriesca dalla quota del terreno, del marciapiede o della pavimentazione posti in aderenza all'edificio medesimo.
- **Piano o locale seminterrato o parzialmente interrato:** piano dell'edificio - o singolo locale - posto ad una quota intermedia rispetto ai piani o locali fuori terra ed a quelli interrati.

Si considerano prevalentemente interrati i piani o i locali seminterrati la cui volumetria, misurata al lordo delle pareti perimetrali esterne, sia in prevalenza collocata al di sotto della quota del terreno, del marciapiede, della pavimentazione, nonché di eventuali rampe o scale esterne, posti in aderenza all'edificio.

2.1.8 Provincia Autonoma di Trento

Le definizioni sono tratte dalla Delibera di Giunta Provinciale 1513 del 13/07/2012 della Provincia Autonoma di Trento *“Criteri di valutazione di edifici o di locali da destinare a luogo di lavoro in ambiente produttivo e nel terziario”*.

- **Piano interrato:** piano la cui somma delle superfici delle pareti perimetrali comprese al di sotto della linea del terreno è superiore al 70% della superficie totale delle stesse pareti perimetrali.

- **Piano seminterrato:** piano la cui somma delle superfici delle pareti perimetrali comprese al di sotto della linea del terreno è compresa tra 50% e 70% della superficie totale delle stesse pareti perimetrali.
- **Piano assimilabile ad un piano fuori terra:** piano la cui somma delle superfici delle pareti perimetrali comprese al di sotto della linea del terreno è inferiore al 50% della superficie totale delle stesse pareti perimetrali ovvero piano avente un lato completamente aperto su un largo spazio libero e profondità, misurata perpendicolarmente al piano della parete finestrata, minore o uguale a 2,5 volte l'altezza dal pavimento al punto più alto della superficie finestrata.
- **Locale assimilabile ad un locale fuori terra:** locale con un lato completamente aperto su un largo spazio libero ed avente una profondità, misurata perpendicolarmente al piano della parete finestrata, minore o uguale a 2,5 volte l'altezza dal pavimento al punto più alto della superficie finestrata.
- **Largo spazio libero:** spazio antistante un piano interrato o seminterrato largo almeno quanto il dislivello del pavimento rispetto al piano di campagna ovvero uno spazio pianeggiante alla quota del pavimento del piano interessato di larghezza di almeno 1,50 m e delimitato da una rampa con pendenza massima di 45 gradi.

2.1.9 ASL Roma B

Le definizioni sono tratte dalla “Nota informativa per l’utente ai sensi dell’art. 65, del D.Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008” redatta dall’U.O.C. Prevenzione e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro – ASL Roma B.

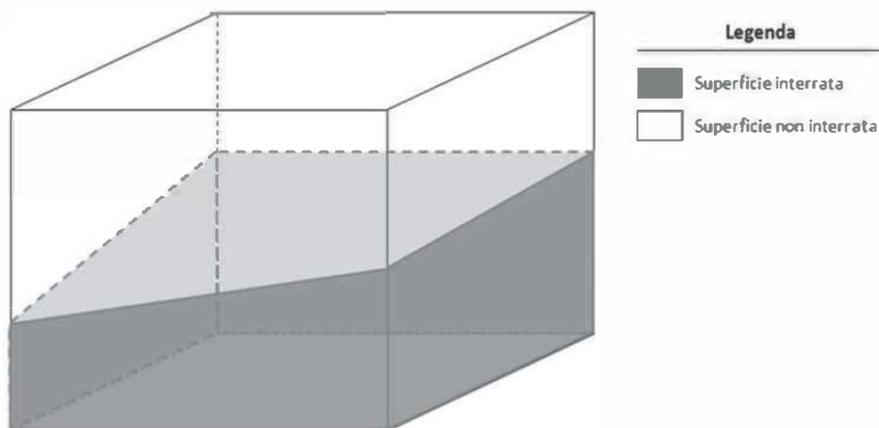


Figura 5 :Schema per le definizioni di locale sotterraneo e semisotterraneo

Con riferimento allo schema di **Figura 5** ,sono definiti:

- **Locale sotterraneo:** locale costituito da ambienti chiusi per i quali la percentuale media di interramento, rispetto al piano di campagna, calcolata lungo tutte le mura perimetrali, risulta pari al 100%.

- **Locale semisotterraneo:** locale costituito da ambienti chiusi per i quali la percentuale media di interramento, rispetto al piano di campagna, calcolata lungo tutte le mura perimetrali, risulta maggiore del 50%.

2.1.10 Il D.Lgs. 230/1995 in materia di radiazioni ionizzanti

Ai soli fini della protezione dei lavoratori e del pubblico dalle sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti e del correlato obbligo di misura della concentrazione del radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei (come normato dal D.Lgs. 230/1995, Capo III bis) le *“Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei”* emanate dal Coordinamento delle Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano (6 febbraio 2003) definiscono come segue i **locali o ambienti sotterranei**: “locale o ambiente con almeno tre pareti interamente sotto il piano di campagna, indipendentemente dal fatto che queste siano a diretto contatto con il terreno circostante o meno. Tale definizione include, fra i locali sotterranei nei quali effettuare le misure, anche tutti quelli che hanno un’apertura verso l’esterno (per esempio i locali pubblici che hanno di norma un ingresso sulla strada) ed i locali che sono circondati da una intercapedine aerata”.

2.1.11 Giurisprudenza

Si riporta la Sentenza della Pretura di Milano del 13 novembre 1979.

“Per la definizione di locale chiuso semisotterraneo, ai sensi dell’art. 8, D.P.R. 19 marzo 1956, n. 303, appare inadeguato il criterio rigido di considerare tale qualunque ambiente chiuso da pareti che si trovi per più della metà della sua altezza sotto il livello stradale, ma occorre rifarsi alla effettiva “ratio” della norma per non dare una risposta puramente formale ai problemi dell’igiene del lavoro. Non può, pertanto, considerarsi locale chiuso semisotterraneo, per il cui impiego in attività produttiva è necessaria l’autorizzazione dell’ispettorato del lavoro, quello che, pur essendo per più della metà della sua altezza sotto il livello stradale, presenti tutta via un lato completamente aperto su un largo spazio libero e abbia una superficie complessiva aerata ed illuminata direttamente superiore a quella chiusa. Per ulteriori indicazioni a proposito di tali locali si veda anche la Circ. 30 settembre 1994, n. 6135/48/768 dell’Assessorato all’Assistenza Sanitaria della Regione Piemonte.”

2.2 DEFINIZIONE DI ATTIVITÀ LAVORATIVA CONTINUATIVA

Il concetto di attività lavorativa continuativa non è univocamente definito nell’ambito del territorio nazionale, al contrario spesso i parametri (in particolare durata complessiva e continuità) per stabilire quando una determinata organizzazione dell’orario di lavoro corrisponde ad attività lavorativa continuativa non risultano affatto definiti.

Uno dei pochi esempi in tal senso viene da un documento dell’URP del Comune di Bologna dal titolo *“Deroghe per locali interrati e seminterrati destinati alla permanenza di persone per attività lavorativa”*, dove si definisce:

- **attività lavorativa continuativa**, quella che viene svolta per più di due ore continuativamente e per più del 50% del turno di lavoro;
- **attività lavorativa senza permanenza di personale**, quella che si svolge in

maniera occasionale/saltuaria nel locale di lavoro (ad esempio archivio di consultazione, carico/scarico lavatrici-lavastoviglie, sala riunioni).

Altre definizioni le ha fornite l'Azienda Sanitaria Locale di Brescia, nell'ambito delle procedure per la richiesta di deroga ai sensi dell'art.65 del D.Lgs./81/2008:

- **attività lavorativa continuativa**, quella che viene svolta per più di un'ora continuativamente;
- **attività lavorativa senza permanenza di personale**, quella che si svolge in maniera non continuativa nel locale di lavoro.

Più spesso il concetto di permanenza continuativa di personale è collegato alla destinazione d'uso dell'ambiente, ovvero alla distinzione tra:

- locali di lavoro destinati all'attività principale, che comportano la permanenza continuativa di persone;
- locali di supporto e/o di servizio (spogliatoi, bagni, archivi, disimpegni, corridoi, depositi, ...) che comportano la permanenza non continuativa o solo saltuaria/occasionale di addetti.

3- REQUISITI AEROILLUMINANTI

Per ottenere situazioni di benessere in un ambiente di lavoro, occorre garantire condizioni accettabili dal punto di vista del microclima (temperatura, umidità, velocità dell'aria), della qualità dell'aria indoor, del livello di illuminazione e di aerazione naturale.

Ciò può essere ottenuto attraverso scambi naturali con l'ambiente esterno o, quando si renda necessario, mediante l'utilizzo di appositi dispositivi meccanici.

Così come accade per la "definizione" di locale interrato, seminterrato e assimilabile fuori terra, anche per quanto riguarda le caratteristiche strutturali ed i requisiti igienico-sanitari dei luoghi di lavoro, assistiamo a variazioni da un territorio regionale all'altro, se non addirittura tra i singoli Comuni di una stessa Regione.

3.1 DEFINIZIONI

3.1.1 Microclima

È il complesso dei parametri fisici ambientali che caratterizzano l'ambiente locale, non necessariamente confinato, e che, assieme a parametri individuali quali l'attività metabolica e l'abbigliamento, determinano gli scambi termici fra l'ambiente stesso e gli individui che vi operano.

Un microclima confortevole è quello che suscita nella maggioranza degli individui presenti una sensazione di soddisfazione per l'ambiente, da un punto di vista termigrometrico, convenzionalmente identificata col termine "benessere termigrometrico", ma più spesso indicata per brevità come "benessere termico" o semplicemente "benessere" o "comfort". Infatti il corpo umano è un sistema che opera in modo ottimale quando la temperatura del suo nucleo viene mantenuta entro un ristretto intervallo di variabilità. Il mantenimento dell'omeotermia, necessaria allo svolgimento delle reazioni chimiche fisiologiche del corpo umano è diretto non solo

a garantire condizioni di benessere psico-fisico, ma anche ad evitare pregiudizio alla salute dei lavoratori.

3.1.2 Aria indoor

Per "aria indoor" si intende quella presente negli ambienti confinati: essa è caratterizzata dalla presenza di sostanze di varia natura che provengono sia dall'interno delle costruzioni (originati dalla stessa presenza umana o da emissioni di materiali ed attività) sia dall'esterno, ma che non sono naturalmente presenti nell'aria esterna di sistemi ecologici di elevata qualità.

Gli inquinanti presenti nell'aria indoor possono essere generati da più fonti, ognuna delle quali di difficile identificazione e non particolarmente dominante, in modo sia occasionale che continuativo; l'inquinamento indoor è spesso di modesta entità ed assume sovente un carattere diffuso.

Nel corso degli anni si è assistito ad un progressivo aumento del numero e della concentrazione di sostanze inquinanti aerodisperse nell'aria indoor, con relative ricadute negative per gli effetti sulla salute degli occupanti; i principali inquinanti indoor sono:

- Anidride carbonica, dovuta alla presenza degli occupanti (respirazione) e di eventuali processi di combustione,
- Composti organici volatili, originati da arredamenti, fumo, prodotti per la pulizia, isolanti,
- Formaldeide, proveniente dagli arredamenti,
- Fumo di tabacco, che genera polveri, ossidi di azoto, monossido di carbonio,
- Ozono, proveniente dall'esterno o da strumenti elettrici ad alto voltaggio,
- Inquinanti microbiologici, generati dalla presenza di occupanti, animali domestici, impianti di condizionamento,
- Radon, presente naturalmente nel suolo o nell'acqua e nei materiali da costruzione.

Poiché molti degli inquinanti indoor sono presenti nelle case, negli ambienti pubblici, sui mezzi di trasporto, interessano anche la vita extralavorativa della popolazione, con evidenti ripercussioni sulla diffusione dell'eventuale rischio ad essi connesso e sul prolungamento dei tempi di esposizione.

Gli effetti dell'inquinamento dell'aria degli ambienti confinati possono interessare vari organi ed apparati determinando conseguenze sulla salute e sulla produttività di chi si trova a stazionare in tali ambienti.

Da notare che nonostante il miglioramento della qualità dell'aria indoor sia affidato pressoché totalmente agli impianti di condizionamento (attraverso il rinnovo e/o la filtrazione), uno degli imputati principali per il peggioramento della qualità dell'aria indoor è proprio l'impianto di condizionamento. Accanto agli indubbi vantaggi, infatti, gli impianti di condizionamento possono determinare rischi per la salute, soprattutto laddove la progettazione non sia stata corretta oppure quando si verificano trascuratezze nella manutenzione, in particolare nelle unità di trattamento dell'umidità e nel sistema di filtrazione.

3.1.3 Illuminazione naturale

L'illuminazione naturale è l'illuminazione che si ottiene utilizzando la luce diurna,

molto importante sia per la qualità della visione e le caratteristiche di gradevolezza ed accettazione da parte degli occupanti, sia per ragioni connesse al risparmio energetico. Il contributo della luce naturale all'illuminazione degli interni va inoltre privilegiato perché la presenza nell'involucro di un edificio di aperture verso l'esterno permette agli occupanti di cogliere le modulazioni del ciclo della luce, a cui sono legate importanti funzioni fisiologiche, e di mantenere un legame visivo col mondo circostante, che è un bisogno psicologico elementare dell'uomo.

Per queste ragioni, l'illuminazione con luce naturale degli ambienti di lavoro deve essere adottata in tutti i casi in cui le attività o le lavorazioni non necessitano, per il loro stesso espletamento, di un'illuminazione naturale ridotta o assente.

Il principale parametro di controllo della luce naturale è il livello di illuminamento: in passato molti regolamenti edilizi e d'igiene comunali esprimevano i livelli di prestazione che un edificio doveva garantire in termini di illuminazione naturale con il rapporto illuminante (R.I.), vale a dire il rapporto tra la superficie finestrata prospiciente spazi liberi esterni e la superficie pavimentata dell'ambiente.

Questo metodo di valutazione era molto diffuso per la sua facile applicazione ma presentava tuttavia dei limiti sulla quantità effettiva di luce naturale; successivamente è stato introdotto il fattore medio di luce diurna (FLD_m) come parametro per la valutazione della prestazione dell'edificio in termini di illuminamento naturale. Il FLD_m rappresenta il rapporto (in percentuale) tra l'illuminamento medio dell'ambiente e l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto.

3.1.4 Aerazione naturale

Con il termine "aerazione naturale" o "ventilazione naturale" si indicano gli scambi d'aria tra il locale in esame e l'ambiente circostante.

Il controllo dell'aerazione naturale degli spazi chiusi è uno dei principali elementi che concorrono al mantenimento di una buona qualità dell'aria indoor, ma contribuisce anche su altri versanti al benessere dell'individuo, tra cui controllare il valore di umidità relativa, riducendo il rischio di formazione di colonie batteriche, e favorire gli scambi convettivi ed evaporativi, permettendo una migliore termoregolazione corporea negli ambienti caldi.

Le grandezze correntemente utilizzate per descrivere l'aerazione naturale sono:

- rapporto aerante (R.A.), vale a dire il rapporto tra la superficie apribile delle finestre di un ambiente e la sua area in pianta;
- numero di ricambi orari (n), vale a dire la portata specifica di aria esterna per m^3 d'aria ambiente; tale quantità, moltiplicata per il volume dell'ambiente stesso, determina la quantità d'aria che attraversa il locale in oggetto in un'ora, dunque il numero di "lavaggi" che, nell'ipotesi di perfetto miscelamento, si verifica nel locale in tale periodo.

3.2 I PARAMETRI DI RIFERIMENTO

Come per le definizioni di cui al capitolo 2, anche per i requisiti igienico-sanitari di locali interrati e seminterrati, non esiste omogeneità sul territorio nazionale.

Di seguito si propongono alcuni casi.

3.2.1 Regione Emilia Romagna: Comune di Nonantola

Il *Regolamento edilizio comunale* di Nonantola fornisce le seguenti prescrizioni per l'utilizzo di locali interrati e seminterrati.

a) Isolamento dall'umidità

Tutti i locali posti al piano terreno o seminterrati debbono avere il piano di calpestio isolato dal terreno mediante solaio o vespaio areato.

Qualora i locali abitabili risultino anche parzialmente al di sotto della quota di terreno circostante, gli stessi, per tutta la parte interrata, devono essere isolati adeguatamente.

Il piano di calpestio dei locali abitabili deve essere sempre posto ad un livello superiore a quello della falda freatica e a quello di massima piena delle fognature di scarico.

I locali di servizio interrati o seminterrati con accesso dall'esterno a cielo aperto, devono essere muniti di impianto di sollevamento meccanico dell'acqua, se il pavimento è al di sotto della quota di fognatura.

b) Requisiti per i piani interrati

I locali dei piani interrati possono essere utilizzati esclusivamente per le seguenti destinazioni:

- locali accessori non specialistici, interni ed esterni agli alloggi o per attività che si svolgono in tipologie affini alla residenza (cantine, soffitte, depositi ecc.)
- locali complementari legati a funzioni specifiche, private, collettive o pubbliche (autorimesse, stenditoi, lavanderie, depositi biciclette, ambienti per impianti tecnologici, serre private per il ricovero di piante ornamentali, ecc.),

a condizione che, fatte salve eventuali prescrizioni particolari in relazione alla destinazione d'uso, sia garantito l'isolamento dall'umidità e sia assicurato il ricambio d'aria.

Nell'eventualità che il deflusso delle acque di scarico del fabbricato avvenga a quota superiore a quella del piano interrato, deve essere installato un impianto di sollevamento delle acque, onde evitare inconvenienti di carattere igienico.

c) Requisiti per i piani seminterrati

Nel caso di interventi di recupero di fabbricati esistenti, i seminterrati possono essere considerati abitabili, come locali di pertinenza di unità abitative già in essere (senza aumento quindi del numero degli alloggi), qualora l'altezza interna dei locali stessi non sia inferiore a m. 2,70, salvo le maggiori altezze prescritte per particolari destinazioni d'uso, e quando almeno $\frac{3}{4}$ dell'altezza media del locale sia al di sopra del livello del marciapiede o della più alta sistemazione esterna del terreno.

Devono inoltre essere soddisfatte tutte le altre condizioni relative all'aerazione, alle dimensioni e all'isolamento dall'umidità.

Potranno essere considerati abitabili locali in cui l'eventuale presenza di gas Radon non superi il valore massimo di 200 Bq/m³, fatti salvi valori specifici previsti dalla normativa in materia.

In ogni caso dovranno essere previsti sistemi in grado di garantire la ventilazione naturale e l'espulsione degli eventuali gas nocivi nel terreno (ad esempio condotti ventilati che dall'area di sedime del fabbricato sfocino sopra il tetto).

3.2.2 Regione Emilia Romagna: Comune di Faenza

Il *Regolamento di igiene, sanità pubblica e veterinaria* del Comune di Faenza fornisce i seguenti parametri/requisiti per la concessione di deroga all'utilizzo di locali interrati e seminterrati.

a) Isolamento dall'umidità

I locali devono soddisfare i seguenti parametri: quota massima piena della fognatura di scarico o falda freatica al di sotto del piano di posa del vespaio; pavimento a superficie unita e impermeabile, muri protetti efficacemente contro l'umidità del suolo.

b) Aerazione e illuminazione

I locali devono essere provvisti di specifici presidi tecnici integrativi per aerazione e illuminazione.

c) I locali interrati o seminterrati al di fuori delle zone soggette ad ingressione marina possono essere destinati ad usi che comportino permanenza di persone quali magazzini di vendita, sale di esercizi pubblici, mense, quando siano in possesso dei seguenti requisiti:

- Altezza e superfici: altezza e superfici minime utili secondo gli indici previsti dal presente regolamento per le specifiche destinazioni d'uso. In caso di soffitto a volta il requisito altezza si intende soddisfatto dalla media delle altezze misurate in almeno tre punti della volta stessa.
- Scale: fatti salvi i requisiti previsti dagli artt. 35, 48, 51 del Capo V della circolare del Ministero dell'Interno n. 16 del 15 febbraio 1951, almeno una scala dovrà avere una larghezza di rampa non inferiore a m 1,20. Sono ammesse, in aggiunta, scale con larghezza di rampa minore, ma comunque non inferiore a m 0,80. Nelle scale l'illuminazione artificiale dovrà assicurare sempre livelli di luce non inferiore a 50 lux e dovranno essere previste idonee luci di emergenza in caso di interruzione dell'energia elettrica. Nei vani scala non è consentito inoltre il passaggio delle tubazioni di adduzione del gas. Scale di sicurezza saranno prescritte secondo il tipo di esercizio e la sua ricettività globale, compreso il personale di servizio.
- Scarichi idrici: le acque di scarico devono confluire in collettori che non possano dar luogo a rigurgiti; le condutture devono essere adeguatamente isolate e protette. Qualora vengano previsti impianti di sollevamento delle acque, l'impianto elettrico dovrà essere dotato di sistema di emergenza (generatore di corrente).
- Umidità: i locali dovranno essere adeguatamente isolati dall'umidità del suolo e da quella derivante dagli agenti atmosferici. Dovranno possedere dispositivi tecnici tali da assicurare sia nelle pareti laterali che nei divisori interni una buona ventilazione naturale: in specifico i locali dovranno avere pavimento unito ed impermeabile, muri adeguatamente ventilati.
- Ventilazione: tutti i locali che non possiedono una sopraelevazione minima pari alla metà della loro altezza dal piano del marciapiede o cortile interno, e che comunque non siano provvisti di idonee finestre apribili sull'esterno, tali da consentire una uniforme aerazione dei locali, dovranno essere dotati di idoneo impianto di ventilazione con le caratteristiche fissate dal D.M. 18 maggio 1976

e dalle prescrizioni particolari. Le prese d'aria esterne devono essere sistemate di norma alla copertura e comunque ad una altezza di almeno 3 m dal suolo se si trovano in un cortile non adibito a parcheggi ed almeno di 6 m se su spazi pubblici.

3.2.3 Regione Piemonte

La Deliberazione della Giunta Regionale Piemonte del 16 gennaio 2006, n. 30-1995 "Approvazione di linee-guida per la notifica relativa a costruzione, ampliamento o adattamento di locali e di ambienti lavoro ex art. 48, D.P.R. n. 303/1956" stabilisce i seguenti requisiti minimi per i luoghi di lavoro suscettibili di deroga:

- intercapedine aerata con profondità non inferiore a 60 cm ed avente il fondo a livello di almeno cm 15 inferiore a quello del pavimento dei locali (Figura 6);
- vespaio aerato o altre soluzioni tecniche di pari efficacia (Figura 7);

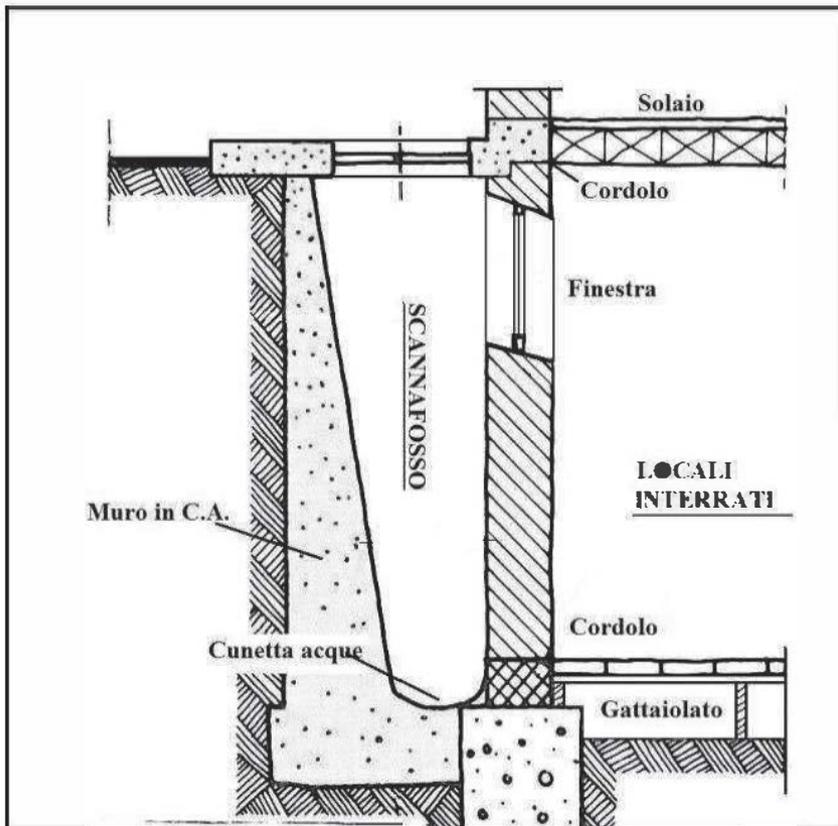


Figura 6: intercapedine verticale aerata per l'isolamento dei muri laterali dall'umidità

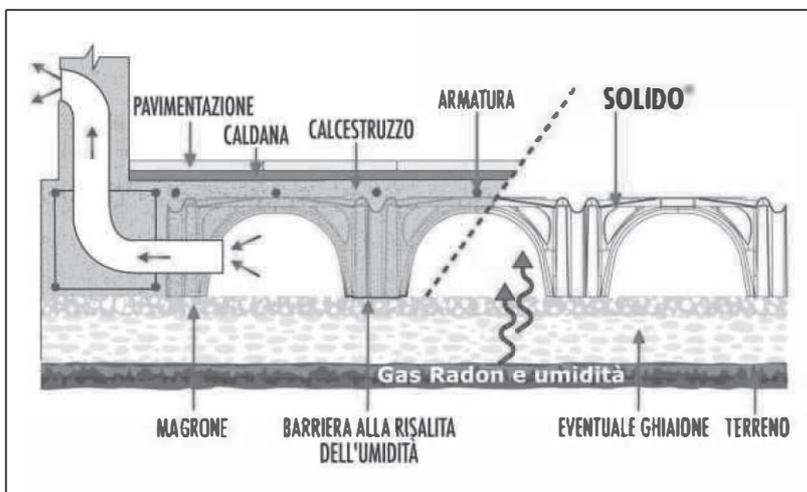


Figura 7: vespaio aerato per l'isolamento del pavimento dall'umidità e dal radon

- quota da falda freatica sottostante m 2,00;
- altezza interna come gli altri luoghi di lavoro;
- illuminazione naturale se tecnicamente realizzabile (seminterrati), eventualmente integrata con artificiale, fino all'ottenimento dei valori riportati dalla Norma UNI 12464-1 previsti per il tipo di attività specifica o confrontabile;
- aerazione secondo indicazioni specifiche: tenuto conto dei metodi di lavoro e degli sforzi fisici ai quali sono sottoposti i lavoratori, dovrà essere garantita ai lavoratori stessi aria salubre in quantità sufficiente, anche ottenuta con impianti di aerazione; l'espressione "anche ottenuta con impianti di aerazione" non va intesa, come avallo di sistema di aerazione meccanica in sostituzione di aerazione naturale, bensì come possibilità di integrazione dell'aerazione naturale, qualora non sia sufficiente il requisito minimo richiesto (norma UNI 10339/95);
- le scale che servono i piani fuori terra non devono estendersi anche ai piani interrati (preferibilmente), ciò è particolarmente importante se si tratta dell'unica scala a servizio dell'edificio; qualora una scala serva sia piani fuori-terra sia interrati, questi devono essere separati rispetto al piano terra da porte resistenti al fuoco;
- rispetto degli obblighi relativi alla radioattività naturale (Radon).

3.2.4 Regione Veneto

La Circolare del Presidente della Giunta Regionale n° 13 del 01/07/1997 stabilisce che, qualora non ricorrano particolari esigenze tecniche, può essere concessa la deroga al divieto di utilizzo (ex art. 65 D.lgs. 81/2008) se sussistono le seguenti condizioni, ognuna di per sé vincolante:

a) Locali interrati

- le pareti delimitanti esterne, su almeno un lato breve e un lato lungo del locale,

siano rese libere dal terreno circostante tramite sbancamento la cui larghezza sia maggiore della quota interna dei locali e la cui profondità sia di almeno 15 cm al di sotto del pavimento del locale in modo che vi possano sfociare le aperture aeranti del vespaio. È ammessa la possibilità di realizzare una scarpata con inclinazione non superiore a 45 gradi; in tal caso la distanza minima fra muro perimetrale e inizio della scarpata deve essere di almeno m 1,50. I muri perimetrali a contatto con il terreno devono essere protetti, mediante adatti materiali, contro l'umidità del suolo;

- altezza libera interna non inferiore a m 3,00;
- illuminazione e aerazione naturali dirette in ragione rispettivamente di 1/10 e 1/20 della superficie in pianta del locale, uniformemente distribuita. Nel computo delle superfici di aeroilluminazione possono essere considerate le aperture su bocche di lupo per la superficie minima tra quella della finestra e quella (orizzontale) della bocca di lupo;
- attività lavorativa che non comporti emanazioni nocive e non esponga i lavoratori a temperature eccessive;
- il pavimento sia separato dal suolo mediante un piano sottostante cantinato, o mediante un vespaio ventilato di altezza non inferiore a m 0,50, o tavellonato con intercapedine non inferiore a m 0,10; la linea di falda sia ad almeno m 2,00 dal pavimento;
- se il terreno circostante i locali interrati è inclinato (almeno 20%) e di tipo roccioso compatto, lo sbancamento potrà essere a parete verticale, con larghezza di m 1,50, a condizione che i muri del fabbricato prospicienti lo sbancamento siano doppi con intercapedine e che sia previsto un efficace sistema di smaltimento delle acque piovane sul fondo dello sbancamento.

b) Locali seminterrati

- le pareti delimitanti esterne, su almeno un lato breve e un lato lungo del locale, devono essere separate dal terrapieno mediante una intercapedine ventilata tra fabbricato e sbancamento, di luce libera di almeno m. 1,50 tra muro del seminterrato e muro di sostegno del terrapieno e profonda almeno 15 cm al di sotto del pavimento del seminterrato stesso. I muri perimetrali a contatto con il terreno devono essere protetti, mediante adatti materiali, contro l'umidità del suolo;
- altezza libera interna non inferiore a m 2,70 fino a cinque lavoratori addetti (nei comuni montani, al di sopra dei 1000 m di altitudine, può essere consentita un'altezza minima di m 2,55) e non inferiore a m 3,00 per più di cinque lavoratori;
- illuminazione e aerazione naturali dirette in ragione rispettivamente di 1/10 e 1/20 della superficie in pianta del locale, uniformemente distribuita. Nel computo delle superfici di aeroilluminazione possono essere considerate le aperture su bocche di lupo per la superficie minima tra quella della finestra e quella (orizzontale) della bocca di lupo;
- attività lavorativa che non comporti emanazioni nocive e non esponga i lavoratori a temperature eccessive;
- il pavimento sia separato dal suolo mediante un piano sottostante cantinato, o mediante un vespaio ventilato di altezza non inferiore a m 0,50, o tavellonato

con intercapedine non inferiore a m 0,10; la linea di falda sia ad almeno m 2,00 dal pavimento;

- se il terreno circostante i locali seminterrati è inclinato (almeno 20%) e di tipo roccioso compatto e per almeno metà del perimetro i muri risultano assimilabili a fuori terra, in alternativa all'intercapedine ventilata tra fabbricato e sbancamento possono essere costruiti muri doppi con intercapedine, isolati verso l'esterno con materiale impermeabile all'acqua.

c) Locali assimilabili a quelli fuori terra

- i muri perimetrali a contatto con il terreno siano protetti, mediante adatti materiali, contro l'umidità del suolo;
- altezza libera interna non inferiore a m 2,70 fino a cinque lavoratori addetti (nei comuni montani, al di sopra dei 1000 m di altitudine, può essere consentita un'altezza minima di m 2,55) e non inferiore a m 3,00 per più di cinque lavoratori;
- illuminazione e aerazione naturali dirette in ragione rispettivamente di 1/10 e 1/20 della superficie in pianta del locale, uniformemente distribuita. Nel computo delle superfici di aeroilluminazione possono essere considerate le aperture su bocche di lupo per la superficie minima tra quella della finestra e quella (orizzontale) della bocca di lupo;
- il pavimento sia separato dal suolo mediante un piano sottostante cantinato, o mediante un vespaio ventilato di altezza non inferiore a m 0,50, o tavellonato con intercapedine non inferiore a m 0,10; la linea di falda sia ad almeno m 2,00 dal pavimento.

3.2.5 Regione Puglia

La Legge 33 del 15/11/2007 *“Recupero dei sottotetti, dei porticati, di locali seminterrati e interventi esistenti e di aree pubbliche non autorizzate”* detta limiti e norme per il recupero dei locali seminterrati da destinare a uso residenziale e dei locali seminterrati e interrati da destinare a uso terziario e/o commerciale.

In particolare l'art. 8 stabilisce che l'utilizzo di piani seminterrati a uso residenziale e di **piani seminterrati e interrati a uso terziario e/o commerciale** è consentito, previo rilascio del permesso di costruire, purché siano rispettate le prescrizioni dei vigenti regolamenti edilizi e siano almeno assicurate le seguenti condizioni:

- altezza interna non inferiore a metri 2,70;
- aperture per la ventilazione naturale diretta non inferiore a 1/8 della superficie del pavimento, ovvero realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica per un ricambio d'aria almeno pari a quello richiesto per la ventilazione naturale;
- rispetto della normativa vigente in materia di consumi energetici, sicurezza del lavoro e di impiantistica antincendio;
- accessibilità totale garantita anche ai soggetti con ridotta capacità motoria.

3.2.6 Regione Toscana

Il documento *“Indirizzi tecnici di igiene edilizia per i locali e gli ambienti di lavoro”* emanato dalla Regione Toscana nel 2003 stabilisce i seguenti parametri igienico dimensionali per la concessione di deroga all'utilizzo di locali di lavoro chiusi sotterranei o semisotterranei, fermo restando che devono ricorrere particolari

esigenze tecniche, che le attività non diano luogo ad emanazioni nocive né esporre i lavoratori a temperature eccessive.

a) Per i locali sotterranei o semisotterranei può essere concessa deroga al divieto di utilizzo per lo svolgimento di attività lavorativa, se sussistono le seguenti condizioni, ciascuna di per sé vincolante:

- altezza interna utile, illuminazione ed areazione naturali secondo i parametri dei locali fuori terra di pari categoria;
- attività lavorativa non ricompresa tra quelle di cui all'art. 33 del D.P.R. 303/56 (lavorazioni per le quali vige l'obbligo delle visite mediche preventive e periodiche) e/o comunque comportante l'utilizzo di sostanze nocive;
- pavimento separato dal suolo mediante una delle seguenti soluzioni: un piano sottostante cantinato, o un vespaio ventilato di altezza non inferiore a cm 50, o impiego di idonei materiali che garantiscano adeguata protezione contro l'umidità del suolo;
- pareti contro terra rese libere dal terreno circostante tramite una delle seguenti soluzioni: realizzazione di intercapedine ventilata ispezionabile, la cui larghezza sia maggiore di cm 60 e la cui profondità sia di almeno cm 15 al di sotto dell'interrato stesso, ove possano sfociare le eventuali aperture aeranti del vespaio, oppure impiego di idonei materiali che garantiscano adeguata protezione contro l'umidità del suolo;
- protezione dall'umidità e da eventuali perdite della fognatura, risultante da una dettagliata relazione tecnica e dagli elaborati grafici;
- realizzazione di almeno una uscita con rampa di esodo nel piano di campagna.

b) Nei locali equiparabili a quelli fuori terra può essere svolta qualunque attività lavorativa se sussistono le seguenti condizioni, ciascuna di per sé vincolante:

- altezza, illuminazione ed areazione naturali con le stesse caratteristiche e parametri previsti per i locali di lavoro fuori terra di pari categoria;
- pavimento separato dal suolo mediante una delle seguenti soluzioni: piano sottostante cantinato, o vespaio ventilato di altezza inferiore a 50 cm, o mediante idonei materiali che garantiscano adeguata protezione contro l'umidità del suolo;
- porzione dei muri perimetrali contro terra resa libera dal terreno circostante tramite una delle seguenti soluzioni: realizzazione di intercapedine ventilata ispezionabile, la cui larghezza sia maggiore di cm 60 e la cui profondità sia di almeno cm 15 al di sotto dell'interrato stesso, ove possano sfociare le eventuali aperture aeranti del vespaio, oppure impiego di idonei materiali che garantiscano adeguata protezione contro l'umidità del suolo;
- protezione dall'umidità e da eventuali perdite della fognatura, risultante da una dettagliata relazione tecnica e dagli elaborati grafici;
- realizzazione di almeno una uscita con rampa di esodo nel piano di campagna.

3.2.7 Comune di Firenze

Il Regolamento Edilizio approvato con delibera C.C. n. 14 del 25/03/2014 all'art.66 *"Posizione dei locali destinati a funzioni diverse da quella abitativa"* stabilisce:

- a) I locali primari e di supporto devono, di norma, essere fuori terra.
- b) I locali seminterrati possono essere adibiti a funzioni primarie e di supporto

esclusivamente in presenza dei seguenti requisiti:

- le parti contro terra devono essere protette da scannafosso aerato ed ispezionabile di larghezza maggiore di cm 60, di profondità maggiore di almeno cm 15 rispetto al piano di calpestio del locale, ove possano sfociare le eventuali aperture acranti del vespaio;
 - il piano di calpestio, ove non sia presente un sottostante cantinato, deve essere isolato dal terreno mediante solaio o vespaio adeguatamente aerato;
 - il locale deve rispondere a tutte le altre prescrizioni del Regolamento in relazione allo specifico uso cui deve essere adibito.
- c) I locali seminterrati che non rispettano tutti i requisiti di cui al precedente comma possono essere adibiti esclusivamente a funzioni di servizio o accessorie.
- d) I locali interrati possono essere ordinariamente utilizzati come locali di servizio soltanto in presenza di tutti i requisiti precedente; possono altresì, previo ottenimento del parere favorevole da parte dell'Azienda Sanitaria Locale competente per territorio, essere adibiti ad attività primarie o di supporto ove lo richiedano particolari esigenze tecniche e funzionali.
- e) I locali interrati che non rispettino tutte le prescrizioni precedenti possono essere adibiti esclusivamente a funzioni accessorie.

Relativamente ai parametri di illuminazione naturale, aerazione naturale ed altezza dei locali, il Regolamento Edilizio agli articoli 67-68-69 stabilisce:

a) Illuminazione naturale diretta

Per i locali di lavoro destinati ad attività principale:

- 1/8 della superficie utile del locale se la superficie del locale è inferiore a m² 100;
- 1/10 della superficie utile del locale, con un minimo di m² 12,5, se la superficie del locale è compresa tra m² 100 e m² 1000;
- 1/12 della superficie utile del locale, con un minimo di m² 100, se la superficie del locale è superiore a m² 1000.
- almeno il 50% della superficie illuminante deve essere ordinariamente collocata a parete, inclusa la porzione verticale degli shed.

Per i locali di servizio l'illuminazione può essere garantita sia in maniera naturale diretta che artificiale; è sempre ammesso il ricorso alla sola illuminazione artificiale.

Per i locali accessori non è necessaria l'illuminazione naturale diretta ma deve comunque essere assicurato un livello di illuminazione funzionale all'uso previsto.

b) Aerazione naturale

Per i locali destinati ad attività principale:

- 1/8 della superficie utile del locale, se la superficie del locale è inferiore a m² 100;
- 1/16 della superficie utile del locale, con un minimo di m² 12,5, se la superficie del locale è compresa tra m² 100 e m² 1000;
- 1/24 della superficie utile del locale, con un minimo di m² 62,5, se la superficie del locale è superiore a m² 1000.
- le porte ed i portoni comunicanti direttamente con l'esterno possono essere

compresi nel computo delle superfici aeranti fino ad un massimo del 50% della superficie minima necessaria.

Per i locali di servizio l'aerazione può essere garantita sia in maniera naturale diretta che meccanizzata. In caso di aerazione naturale la superficie aerante deve essere almeno pari a 1/12 della superficie del locale e può essere collocata a parete o a soffitto. È sempre ammesso il ricorso alla sola aerazione meccanizzata assicurando un ricambio d'aria non inferiore a: 5 volumi orari, nel caso in cui l'impianto sia ad estrazione continua; 3 volumi per ogni utilizzo del locale, nel caso in cui l'impianto (dimensionato per almeno 10 volumi orari) sia ad estrazione intermittente, con comando automatico temporizzato.

Per i locali accessori non è necessaria l'aerazione naturale diretta ma deve comunque essere assicurato un livello di aerazione funzionale all'uso previsto.

c) **Dimensioni ed altezze minime dei locali di lavoro.**

Nel caso di aziende industriali o di produzione di servizi che occupano più di cinque lavoratori, ed in ogni caso in quelle che eseguono le lavorazioni che comportano la sorveglianza sanitaria, devono essere rispettati i limiti di altezza, cubatura e superficie definiti dalla vigente normativa in materia di igiene dei luoghi di lavoro (Allegato IV del D.lgs. 81/2008); altezze inferiori, fino ad un minimo inderogabile di m 2,70 possono essere ammesse, per necessità tecniche e aziendali, soltanto previo parere favorevole dell'Azienda Sanitaria Locale competente per territorio.

3.2.8 Provincia Autonoma di Trento

La Delibera di Giunta Provinciale 1513 del 13/07/2012 della Provincia Autonoma di Trento "*Criteria di valutazione di edifici o di locali da destinare a luogo di lavoro in ambiente produttivo e nel terziario*" stabilisce le caratteristiche igienico-strutturali dei locali interrati e seminterrati oggetto di deroga come di seguito riportato.

a) Isolamento dall'umidità

Isolamento delle pareti laterali dal terreno con una intercapedine laterale aerata di larghezza non inferiore a 0,80 m ed avente il fondo a livello di almeno 0,15 m inferiore a quello del pavimento dei locali.

Isolamento delle pavimentazioni dal terreno mediante un vespaio aerato, idonea intercapedine o altre soluzioni tecniche di pari efficacia.

b) Altezza interna degli ambienti di lavoro

Come negli altri luoghi di lavoro.

c) Uscite di sicurezza

Larghezza della rampa delle scale di accesso e delle uscite di sicurezza non inferiore a 1,00 m.

Nel caso di luoghi di lavoro a basso rischio di incendio (DM 10/3/98), qualora la lunghezza del percorso per raggiungere un luogo sicuro superi i 30 m, dovrà essere prevista una seconda uscita di sicurezza.

In caso di luoghi di lavoro a medio ed elevato rischio di incendio i locali dovranno disporre almeno di un'uscita di sicurezza oltre quella di accesso, indipendentemente dal numero delle persone presenti (vanno classificati come luoghi a rischio di incendio elevato quei locali ove le limitazioni motorie delle persone presenti, rendono difficoltosa l'evacuazione in caso di incendio).

d) Illuminazione.

La superficie finestrata di ogni locale di lavoro dovrà corrispondere ad almeno:

- 1/10 della superficie pavimentata, per i locali con superficie in pianta sino a 1000 m²;
- 1/12 della superficie pavimentata per la parte eccedente i primi 1000 m²;
- 1/15 della superficie pavimentata per la parte eccedente i 3000 m², qualora l'altezza interna netta dei locali sia superiore a 5 m.

Nel computo della superficie illuminante può essere compresa la porzione vetrata di porte e portoni comunicanti con l'esterno, misurata a partire da 0,70 m dal suolo.

Per i locali non presidiati la superficie finestrata di ogni locale dovrà corrispondere ad almeno 1/50 della superficie pavimentata. I valori sopra riportati sono comprensivi della parte vetrata di porte e portoni.

In caso di lavoro saltuario è possibile ottenere deroga a detti indici di illuminazione, solo se risulta dalla documentazione di progetto che sono stati posti in atto tutti gli interventi strutturali tecnicamente realizzabili e volti al raggiungimento dei parametri indicati.

I luoghi di lavoro, presidiati e non, dovranno essere dotati di impianti di illuminazione artificiale conformi alle norme di buona tecnica.

e) Ventilazione

Nei luoghi di lavoro, presidiati e non, dove per esigenze tecniche legate al ciclo produttivo esiste la necessità di una limitazione della ventilazione naturale (ad esempio maturazione e affinamento dei vini) dovrà essere valutata in modo specifico la necessità di installare impianti di ventilazione artificiale al fine di garantire la sicurezza dei lavoratori.

Per locali ad uso ufficio la superficie finestrata apribile dovrà corrispondere ad almeno 1/10 della superficie pavimentata.

Per i locali di lavoro la superficie finestrata apribile dovrà corrispondere ad almeno:

- 1/20 della superficie pavimentata, per i locali con superficie in pianta fino a 1000 m²;
- 1/24 della superficie pavimentata per la parte eccedente i primo 1000 m²;
- 1/30 della superficie pavimentata per la parte eccedente i 3000 m² qualora l'altezza interna netta sia superiore a 5 m.

Dai valori sopra riportati sono esclusi i contributi dovuti ai portoni.

Nel caso in cui i parametri sopra indicati non vengano raggiunti, i locali dovranno essere dotati di idoneo impianto di ventilazione e/o condizionamento.

I requisiti dell'impianto di ricambio e condizionamento dell'aria dovranno essere rispondenti a quelli indicati dalle norme italiane di buona tecnica.

Per i locali non presidiati la superficie finestrata apribile dovrà corrispondere ad almeno 1/50 della superficie pavimentata. I valori sopra riportati sono comprensivi dei contributi di porte e portoni.

f) Radioattività naturale

Il D.Lgs. 230/95, relativo alla protezione dalle radiazioni ionizzanti, impone l'obbligo di procedere nei luoghi di lavoro sotterranei anche saltuari alla misurazione della concentrazione media annuale di Radon entro 24 mesi dall'inizio dell'attività (capo III-bis), ai fini dell'applicazione delle misure conseguenti.

g) Illuminazione di emergenza

Deve essere previsto un impianto di illuminazione di sicurezza che garantisca almeno 5 lux per l'illuminazione generale dell'ambiente e 10 lux per le vie di fuga; tale illuminazione deve garantire almeno 60 minuti di luce, salvo diversa previsione normativa.

h) Locali scolastici

Premessa la raccomandazione di evitare per quanto possibile l'utilizzo di locali interrati/seminterrati ad uso scolastico, si ricorda che è vietata la presenza di studenti minori in locali interrati in cui i valori di "gas radon" misurati superino il livello d'azione previsto di 500 Bq/m³. Potrà essere concessa deroga per i locali seminterrati/interrati da adibirsi ad utilizzo saltuario quali, ad esempio, locali adibiti a proiezioni filmati, riunioni/udienze, attività integrative, fatti salvi i requisiti strutturali/impiantistici previsti. In riferimento alle strutture scolastiche, non necessitano di deroga ex art. 65 del D.Lgs. 81/08 gli ambienti collocati su piani interrati ed adibiti a locali per impianti tecnologici, locali di servizio, magazzini, servizi igienici e spogliatoi e gli ambienti collocati su piani seminterrati e adibiti a palestra e a mensa.

3.2.9 ASL Brescia

L'Azienda Sanitaria Locale di Brescia, nell'ambito delle procedure per la richiesta di deroga ai sensi dell'art.65 del D.Lgs./81/2008, ha stabilito i seguenti livelli di prestazione per i locali interrati/seminterrati.

a) Requisiti igienico-sanitari dei locali

Dovranno essere rispettati gli standard previsti dal Regolamento Locale d'Igiene Tipo e dalle disposizioni eventualmente impartite dal Servizio d'Igiene Pubblica.

b) Accessibilità

Per tutti i locali dovrà essere garantito il diritto alla mobilità nei luoghi di lavoro alle persone con capacità motoria ridotta o impedita, in forma permanente o temporanea. Se la richiesta di Deroga concerne l'utilizzo per attività lavorativa di locali interrati o seminterrati che sono complementari a locali posti al piano terra, deve essere garantito il requisito di *visibilità* dei locali interrati o seminterrati e deve essere garantita l'accessibilità dei locali al piano terra e superiore. Se la richiesta di Deroga concerne l'utilizzo degli unici locali dell'attività lavorativa posti al piano interrato o seminterrato, deve essere garantito il requisito di accessibilità dei locali interrati o seminterrati.

c) Requisiti strutturali e organizzativi di prevenzione incendi

Dovranno essere rispettati i requisiti previsti dal DM 10/03/1998 "*Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro*".

Nel caso di luoghi di lavoro con lunghezza del percorso per raggiungere un luogo sicuro superiore a 30 m, deve essere presente una seconda uscita di sicurezza. In caso di luoghi di lavoro a medio ed alto rischio d'incendio i locali dovranno disporre almeno di un'uscita di sicurezza oltre a quella di accesso, indipendentemente dal numero delle persone presenti. Vanno classificati come luoghi a rischio d'incendio medio e alto quei locali ove le limitazioni motorie delle persone presenti rendono difficoltosa l'evacuazione in caso d'incendio.

d) Altezza minima

L'altezza minima interna utile, per ogni ambiente è fissata in m 3,00 (derogabile a discrezione dell'Organo di Vigilanza a m 2,70 per locali interrati o seminterrati che sono complementari a locali posti al piano terra e utilizzati da attività lavorative con basso inquinamento acustico). Nel caso di soffitti ad altezza variabile, va considerata come altezza minima interna utile l'"altezza media ponderata", sottesa al soffitto, di ogni determinato ambiente e non un'altezza media generica, riferita a due o più ambienti. Nel caso di soffitti a volta l'altezza minima utile interna si deve intendere quale media delle misurazioni effettuate in almeno tre punti della volta stessa, con una altezza minima all'imposta di m 1,80.

e) Illuminazione naturale

Tutti i locali dovranno essere dotati di superfici finestrate apribili pari a 1/8 della superficie di calpestio, misurate al lordo dei telai, con sistemi di apertura facilmente manovrabili dal basso. Se le superfici finestrate sono aperture di bocche da lupo o cavedio, la superficie finestrata non sarà conteggiata, né per il rapporto illuminante né per il rapporto aerante.

Tutti i locali, che non raggiungono il rapporto d'illuminazione naturale di 1/8 della superficie di calpestio, dovranno essere dotati d'idoneo impianto d'illuminazione artificiale avente le caratteristiche fissate dal Regolamento Locale d'Igiene Tipo della Regione Lombardia, dalle Norme UNI e dalle norme di buona tecnica.

f) Aerazione naturale

Tutti i locali che non raggiungono il rapporto di aerazione naturale di 1/8 della superficie di calpestio, dovranno essere dotati d'idoneo impianto di ventilazione e condizionamento avente le caratteristiche fissate dal Regolamento Locale d'Igiene Tipo della Regione Lombardia, dalle Norme UNI e dalle norme di buona tecnica.

g) Radioattività naturale

Per utilizzare i locali interrati o seminterrati dovrà essere fatta, entro 24 mesi dall'inizio dell'attività, la valutazione dei livelli di concentrazione di gas Radon, ai sensi del D.Lgs.230/1995.

4- AUTORIZZAZIONI

La normativa vigente vieta di destinare al lavoro locali chiusi sotterranei o semisotterranei (Art. 65, comma 1, D.Lgs.81/2008).

Esistono due condizioni in cui tale divieto può venire meno:

1) quando ricorrano particolari esigenze tecniche (Art. 65, comma 2, D.Lgs. 81/2008): per esigenze tecniche sono da intendersi quelle condizioni indispensabili per una ottimale resa del ciclo produttivo, non raggiungibile, allo stato attuale delle conoscenze, adottando soluzioni alternative; ad esempio può verificarsi per le lavorazioni connesse alla stagionatura di alcuni formaggi o per le cantine. In questi casi non è richiesta alcuna autorizzazione in deroga al divieto, ma il datore di lavoro deve assicurare idonee condizioni di aerazione, di illuminazione e di microclima;

2) quando NON ricorrano particolari esigenze tecniche (Art. 65, comma 3, D.Lgs. 81/2008): purché le lavorazioni non diano luogo ad emissioni di agenti nocivi, l'organo di vigilanza può consentire l'uso dei locali chiusi sotterranei o

semisotterranei, sempre che siano rispettate le norme del D.Lgs.81/2008 e si sia provveduto ad assicurare idonee condizioni di aerazione, di illuminazione e di microclima. In questo secondo caso il datore di lavoro deve richiedere all'organo di vigilanza territorialmente competente (il Servizio Prevenzione e Sicurezza Ambienti di Lavoro dell'ASL) una formale autorizzazione.

I requisiti di deroga per insediare un'attività lavorativa in un locale interrato o semi-interrato, dipendono fortemente dalle sue caratteristiche: attività di tipo continuativo o intermittente, locali presidiati o meno, attività aperta al pubblico o meno, caratteristiche di affollamento. Tali requisiti, in termini di aerazione, illuminazione, altezza interna, larghezza e lunghezza dei passaggi, ecc. riguardano scostamenti o adattamenti rispetto a quanto previsto dall'Allegato IV del D.Lgs.81/08 (requisiti di sicurezza e salubrità degli ambienti di lavoro) ed, in tema di prevenzione incendi, dal D.M. 10/03/1998 (*Criteria generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro*).

Considerate le criticità dei luoghi interrati e seminterrati, in particolare salubrità dei locali ed aspetti di sicurezza, il datore di lavoro deve sempre garantire:

- un adeguato livello di illuminazione naturale, mediante la presenza di aperture verso l'esterno;
- la salubrità dell'aria, attraverso idonei ricambi d'aria ottenibili con aperture naturali o impianti di ventilazione forzata;
- il controllo del microclima e dell'umidità dei locali interrati e seminterrati, in quanto l'eccesso di umidità favorisce la formazione di muffe e la proliferazione di batteri ed acari con effetti sulla salute non trascurabili (disturbi alle vie respiratorie, allergie da muffa, asma ed infezioni alle vie respiratorie superiori, ecc.);
- la riduzione del rischio di infiltrazioni, con idonei isolamenti del pavimento (vespai aerati) e delle pareti laterali (intercapedini, bocche di lupo);
- l'accessibilità per disabili, cioè la possibilità di raggiungere l'edificio e le sue singole unità immobiliari e ambientali, di entrarvi agevolmente e di fruirne spazi e attrezzature in condizioni di adeguata sicurezza e autonomia (D.M.14 giugno 1989, n. 236);
- la presenza di uscite di emergenza e di percorsi di esodo adeguati, per lunghezza e larghezza, all'affollamento e all'uso dei locali stessi;
- il controllo della presenza di Radon, la cui pericolosità come agente cancerogeno è particolarmente significativa negli ambienti chiusi. L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) e l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) classificano il Radon come cancerogeno di gruppo 1, cioè come sostanza per la quale si ha sufficiente evidenza di cancerogenicità nell'uomo. La presenza di Radon all'interno degli edifici è dovuta al sottosuolo ma anche ai materiali da costruzione o all'acqua; nel caso di attività in sotterraneo, il D.Lgs. 230/1995 obbliga il datore di lavoro a misurare la concentrazione di radon negli ambienti: il livello di azione è fissato in 500 Bq/m³ di concentrazione media annua, mentre la nuova Direttiva della Comunità Europea 2013/59/Euratom, pubblicata il 17 Gennaio 2014, riduce il livello di riferimento per le concentrazioni di radon nei luoghi di lavoro (Art. 54) a 300 Bq/m³, lo stesso stabilito per le civili abitazioni, inteso come media annua dei valori di concentrazione.

Tuttavia, come risulta dall'analisi delle definizioni e dei parametri adottati dai vari enti sul territorio nazionale, di cui ai precedenti capitoli 2 e 3, la concessione di deroga attualmente si basa su presupposti non omogenei.

Per superare tale criticità, al fine di garantire a tutti i soggetti interessati (progettisti, committenti, enti autorizzativi, organi di controllo) parametri analoghi a livello nazionale, si rende necessaria ed opportuna la condivisione, possibilmente a livello sovra-regionale, delle definizioni di:

- locale interrato, locale seminterrato, locale assimilabile a fuori terra,
- lavoro continuativo e lavoro saltuario,
- locali di lavoro presidiati e non presidiati

e, successivamente, dei seguenti aspetti:

- per quali usi è consentito l'utilizzo dei locali interrati e seminterrati: fermo restando che, mentre per i locali accessori e di servizio risulta scontata l'opportunità di un loro utilizzo, nel caso invece di attività principale non è chiaro se, anche in presenza di determinati requisiti, sia possibile concedere una eventuale deroga;
- requisiti di illuminazione e aerazione naturale, microclima, inquinamento indoor, controllo dell'umidità e delle infiltrazioni, accessibilità per i disabili, sicurezza in caso di emergenza incendio ed evacuazione.

5- CONCLUSIONI

Alla luce di quanto precedentemente evidenziato, l'utilizzo di ambienti interrati e seminterrati, dovrebbe essere favorito per destinazioni quali servizi, impianti, locali accessori, soprattutto se già presenti, nel caso di interventi sul patrimonio edilizio esistente.

Dovrebbe altresì essere oggetto di valutazione per la realizzazione di spazi di vita e di lavoro, in quanto, grazie alle opportunità offerte delle tecnologie attuali, è possibile superarne le intrinseche criticità, principalmente salubrità degli ambienti e sicurezza delle persone.

Attualmente l'utilizzo dei locali interrati e seminterrati per destinarvi luoghi di lavoro è legittimato tramite il meccanismo della deroga di cui all'art.65 del D.Lgs.81/2008, qualora non si sia in presenza di particolari esigenze tecniche legate al processo produttivo.

Il D.Lgs.81/2008, tuttavia, non fornisce valori di riferimento specifici per la maggior parte dei requisiti igienico sanitari dei luoghi di lavoro, che risultano invece definiti da norme regionali e/o dai Regolamenti Edilizi Comunali.

Relativamente ai requisiti igienico-sanitari di locali interrati e seminterrati, da un lato molti degli enti competenti non hanno fissato i criteri per il loro possibile utilizzo come luoghi di lavoro, mentre dall'altro lato, i pochi enti che se ne sono occupati, hanno definito criteri e parametri significativamente differenti.

Le differenze riscontrate a livello nazionale sono rilevanti e sono attinenti sia alla definizione stessa di locali interrati e seminterrati, sia ai criteri igienico-sanitari richiesti per l'eventuale deroga.

Di conseguenza i soggetti che si occupano di costruzione, ampliamento o adattamento dei locali e degli ambienti di lavoro, siano essi progettisti o decisori/organi di controllo, si trovano di fronte ad una molteplicità di parametri e requisiti, quando invece sarebbe opportuno avere a disposizione indirizzi uniformi per l'applicazione delle norme, così da favorire l'adozione di standard progettuali e realizzare condizioni di maggior confort, di aderenza ai criteri ergonomici nonché di sicurezza degli impianti e delle strutture, omogenei in tutto il territorio nazionale.

6- BIBLIOGRAFIA

- Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome - Linee Guida *"Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti e standard. Indicazioni operative e progettuali."* – atti **dba 2006**
- Provincia Autonoma di Trento *"Criteri di valutazione di edifici o di locali da destinare a luogo di lavoro in ambiente produttivo e nel terziario"* – 2012 approvati con Delibera di Giunta Provinciale 1513 del 13/07/2012
- Deliberazione della Giunta Regionale PIEMONTE 16 gennaio 2006, n. 30-1995- Approvazione di *"Linee-guida per la notifica relativa a costruzione, ampliamento o adattamento di locali e di ambienti lavoro"* ex art. 48, D.P.R. n. 303/1956. (B.U.R. n. 6, 9 febbraio 2006)
- Comune di Firenze - Regolamento Edilizio approvato con delibera C.C. n. 14 del 25/03/2014.
- Regione Toscana (Boll. n 5 del 29/01/2003, parte Seconda , SEZIONE I) *"Indirizzi tecnici di igiene edilizia per i locali e gli ambienti di lavoro"*
- Regione Puglia - Legge 33 del 15/11/2007 *"Recupero dei sottotetti, dei porticati, di locali seminterrati e interventi esistenti e di aree pubbliche non autorizzate"*
- Deliberazione della Assemblea legislativa della regione Emilia-Romagna 4 febbraio 2010, n. 279 *"Approvazione dell'atto di coordinamento sulle definizioni tecniche uniformi per l'urbanistica e l'edilizia e sulla documentazione necessaria per i titoli abilitativi edilizi"*
- Regione Veneto - Delibera n. 1887 del 27 maggio 1997 *"Revisione circolare regionale n. 38/87 - Criteri generali di valutazione dei nuovi insediamenti produttivi e del terziario"*
- Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 *"Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica"*
- *"Deroghe per locali interrati e seminterrati destinati alla permanenza di persone per attività lavorativa"* tratto dal sito
- [http://urp2.comune.bologna.it/Regolamentoedilizio/regolamentoediliziopub.nsf/9c79f311bb185c15c1256c4e0048566a/c125718f0031d6b2c125716900503b2a/\\$FILE/Criteri%20di%20deroga.doc](http://urp2.comune.bologna.it/Regolamentoedilizio/regolamentoediliziopub.nsf/9c79f311bb185c15c1256c4e0048566a/c125718f0031d6b2c125716900503b2a/$FILE/Criteri%20di%20deroga.doc)

GLI APPARATI DI IMMISSIONE/ESTRAZIONE DELL'ARIA NEI POLIGONI DI TIRO A CIELO CHIUSO: VALUTAZIONI FUNZIONALI ED OSSERVAZIONI IN TEMA DI QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR E MICROCLIMA

Pietro Paolo Capone⁽¹⁾, Emma Ciconte⁽²⁾, Renato Giardino⁽²⁾, Egidio Villella⁽²⁾

¹: ARPACAL – Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

²: ASP di Catanzaro – Servizio SPISAL

1-PREMESSA

I poligoni di Tiro a Cielo Chiuso rappresentano, dal punto di vista costruttivo/tecnologico, il sistema attualmente in uso più efficace e sicuro per la corretta effettuazione di esercitazioni di sparo con armi da fuoco con diverso munizionamento. Trattandosi di vere e proprie gallerie di dimensioni importanti (*in alcuni casi si superano i 100 m di lunghezza ed i 20 di larghezza*), senza alcun collegamento con l'ambiente esterno durante le esercitazioni di sparo, questi ambienti tendono a diventare malsani in brevissimo tempo, a causa dell'accumularsi di sostanze venefiche derivanti dai processi esplosivi dei colpi da sparo. Al fine di garantire la piena efficienza, e la completa salubrità dell'aria nei poligoni di tiro a cielo chiuso, è necessario prevedere il corretto "lavaggio" dell'aria tramite un sistema di immissione e di estrazione dell'aria che, immettendo in continuo aria pulita dall'esterno e contemporaneamente estraendo aria potenzialmente inquinata, garantisce il giusto numero di ricambi d'aria in tutto l'ambiente.

Oggetto del presente studio è la valutazione proprio di questi impianti che, definiti a tutt'aria esterna, in quanto non effettuano in alcun modo il ricircolo dell'aria interna, sono rappresentati da grossi sistemi di trattamento aria che prevedono opportuni apparati di filtrazione ed idonee strutture di diffusione all'interno della galleria di tiro. Infatti è proprio l'efficienza di questi impianti che garantisce non soltanto "quanta" aria viene immessa ma "come", per garantire, sia il giusto comfort termico ad esempio in termini di velocità dell'aria immessa alle spalle degli operatori addetti alle operazioni di sparo, ma anche la piena salubrità dell'aria ambiente liberando opportunamente tutte le sostanze nocive, con particolare riferimento al monossido di carbonio, al particolato PM10 ed al pulviscolo di Piombo, valutando in questo caso l'efficacia di un moto il più possibile laminare e non turbolento, al fine di limitare eventuali zone di ristagno.

2 - GENERALITÀ SUGLI IMPIANTI DI IMMISSIONE/ESTRAZIONE DELL'ARIA

Per come specificatamente previsto dalla Direttiva Tecnica/P1 del Genio Militare, i poligoni di tiro chiusi a cielo chiuso, al fine di evitare il ristagno di sostanze nocive quali: ossido di carbonio, piombo, anidride carbonica, ecc., sono caratterizzati da un

impianto di ventilazione a doppio sistema: uno di immissione, e l'altro di emissione dell'aria. L'intero impianto, per semplicità indicato come di immissione/estrazione deve essere dotato di un sistema di filtrazione che prevede una doppia batteria filtrante per l'aria: una, prima che venga immessa dall'esterno all'interno del poligono ed un'altra prima che l'aria venga espulsa all'esterno.

L'impianto di immissione è del tipo a tutta aria esterna, e non vi è assoluto riciclo della stessa.

L'aria viene introdotta direttamente alle spalle dei tiratori tramite un sistema di diffusione formato generalmente da griglie che, dotate di specifiche alette direzionali, sono in grado di convogliare opportunamente l'aria all'interno del poligono. A volte però, per ragioni costruttive al sistema ad alette direzionali si preferisce un sistema tipo plenum microforato con direzione obbligatoria del flusso d'uscita.



Figura 1: pannelli immissione ad alette rigide regolabili

L'impianto di ventilazione in questione, nella maggior parte dei casi presenta le medesime caratteristiche costruttive ossia:

- n° 1 sistema per l'immissione dell'aria; dotato in genere di doppia canalizzazione per servire diversi blocchi di diffusori, ai quali si collega direttamente l'UTA (l'Unità di Trattamento Aria). Questa è in grado grazie a motori di notevoli dimensioni non soltanto di convogliare, grazie a specifiche giranti grandi

quantità di aria all'interno del poligono ma, grazie a specifici scambiatori di calore e deumidificatori ad effettuare un vero e proprio trattamento dell'aria in grado di immettere aria calda in inverno e in particolari poligoni anche aria fresca per

l'estate. Il sistema di immissione, limitatamente al gruppo UTA, è provvisto in tutti i casi esaminati, come da normativa, di una batteria filtrante costituita generalmente da filtri a celle pieghettate in materiale sintetico. A protezione della bocca di immissione dell'aria è prevista una protezione formata da una griglia a maglie fitte.



Figura 2: UTA - impianto immissione – posizionamento a tetto

- n° 1 sistema per l'emissione dell'aria verso l'esterno. In

genere è rappresentato da un gruppo o più gruppi di aspirazione, posizionati proporzionalmente alla lunghezza del poligono. Per poligoni fino a 25 metri in genere si trova una sola bocca di ripresa, posizionata nella zona parapalle, mentre per poligoni di 50 metri o di 100 metri di lunghezza di possono trovare bocche di ripresa solitamente una ogni 20 metri circa a partire dalla linea di tiro.

L'aria aspirata prima di sfociare all'esterno tramite specifiche canalizzazioni, subisce un opportuno ciclo di filtrazione finalizzato al recupero di polveri o altro materiale particellare proveniente dall'interno del poligono per evitare che si possano diffondere nell'ambiente circostante.

L'impianto di immissione/estrazione appena descritto molto spesso presenta una caratteristica comune a decine di impianti ossia quella della velocità di esercizio.

Gli impianti infatti, soprattutto quelli costruiti utilizzando motori trifase presentano sostanzialmente due velocità di rotazione che, consentendo alla girante di ruotare con due velocità differenti, garantisce la generazione di due flussi d'aria ben distinti che spesso per semplicità vengono indicati come flusso al 50% e flusso al 100%.

Per i poligoni che montano questo tipo di impianto, si parla di condizione di esercizio, ossia durante le operazioni di sparo, con l'impianto posto al 50%, e condizione di pulizia o di "lavaggio" quando l'impianto è posto al 100% dell'operatività, ma senza addetti alle operazioni di sparo.

Altri poligoni invece che utilizzare attuatori per il posizionamento dell'impianto al 50 o al 100%, utilizzano appositi reostati in grado di modificare gradualmente la velocità dei motori e di conseguenza di modificare i flussi dell'aria in entrata o in uscita in modo più lineare fino ad individuare i livelli più consoni.

Ciò che comunque accomuna tutti gli impianti di immissione, per come citato in precedenza, è l'essere a tutt'aria esterna in quanto non effettuano in alcun modo il ricircolo (neanche una minima parte) dell'aria interna presente nella galleria di tiro. Questa scelta costruttiva, imposta dal legislatore, se da un lato può apparire energeticamente non conveniente in quanto le batterie di riscaldamento in inverno o di raffrescamento in estate devono lavorare sempre al massimo della potenzialità per garantire la climatizzazione di aria "pulita" in ingresso senza un pretrattamento con recupero di calore, da un altro punto di vista è sinonimo di certezza di salubrità in quanto l'aria in entrata risulta essere non contaminata da eventuali sostanze inquinanti generate durante le operazioni di sparo.

Per garantire comunque questa condizione di salubrità dell'aria in circolazione nella galleria di tiro, è necessario che i filtri in entrata e soprattutto i filtri posti all'emissione siano costantemente tenuti puliti. L'intasamento dei filtri, infatti, dovuto all'accumulo di materiale particellare tende a rendere più difficoltoso il normale deflusso e questo, oltre che rappresentare un problema per la corretta espulsione dell'aria sporca all'esterno, rappresenta un vero e proprio ostacolo alla corretta diffusione del flusso dell'aria all'interno della galleria di tiro, con particolare riferimento all'area in cui si trovano i box di sparo.

3 - INDAGINI PER LA VERIFICA DELL'IMPIANTO DI IMMISSIONE E ASPIRAZIONE DELL'ARIA

Per la verifica dell'efficienza dell'impianto di immissione/estrazione, in particolare per la correttezza delle portate di immissione al 50% dell'operatività, negli impianti in cui è prevista la doppia velocità, si provvede ad effettuare la misura ed il calcolo delle portate direttamente alle bocchette.

A tal fine, tra le tante strumentazioni in grado di effettuare le misure di portate di aria condizionata, si usa un balometro o convogliatore di flusso mod. Accubalance Plus della ditta TSI. Questo strumento, se da un lato appare molto versatile ed in grado di effettuare misure in tempo reale in modo semplice e veloce, per un altro aspetto appare abbastanza ingombrante in quanto presenta dimensioni molto importanti. Ciò impone un utilizzo, per motivi di sicurezza, mai durante le operazioni di sparo ma preferibilmente immediatamente dopo.

I dati che si rilevano su ciascuna bocchetta vengono normalizzati in base alla temperatura dell'aria del flusso ed alla pressione atmosferica nel momento del prelievo. Per meglio caratterizzare i volumi d'aria per ciascuna bocchetta si effettuano diverse misure (almeno una decina) considerandone poi come valore caratteristico il valore medio.

Durante le operazioni di misura l'impianto di estrazione è posto in funzione alla piena operatività.

I dati relativi alle bocchette di immissione sono racchiusi in genere in una tabella in cui i dati sono strutturati in modo da evidenziare due dati caratteristici: *il numero di ricambi d'aria*, e *l'omogeneità nei flussi in uscita*. Mentre il primo parametro da indicazioni su "quanta" aria viene immessa nel poligono, il secondo parametro da indicazioni sul "come" questa si diffonde in tutto l'ambiente. La giusta integrazione di questi indicatori, è alla base di un efficace sistema di immissione d'aria che spesso, pur appearing ben dimensionato non appare essere in grado di garantire le condizioni di salubrità necessarie per la corretta esecuzione delle esercitazioni di sparo.

L'aria immessa infatti spesso pur risultando essere in quantità tale da garantire potenzialmente un corretto ed efficace lavaggio dell'intera galleria di tiro (e non solo della zona di sparo), nella pratica, non presenta una distribuzione ottimale e ciò può determinare il formarsi di pericolose sacche di ristagno d'aria

In genere dall'osservazione dei valori medi della portata dell'aria ai diffusori indicati nelle tabelle, si evince come la distribuzione dell'aria non appare uniforme,



Figura 3 : Utilizzo del Convogliatore di flusso

in particolare per alcune bocchette, la distribuzione risulta notevolmente differente rispetto alle altre. Ciò spesso è dovuto non solo al posizionamento dei blocchi diffusivi rispetto alla canalizzazione principale ma anche, e soprattutto, dalle alette di diffusione poste alle bocche di immissione. Infatti queste, oltre che ad accelerare o diminuire il flusso, tendono a farlo divergere verso posizioni del tutto arbitrarie rispetto ad una direzione ottimale che non provochi fastidiose correnti d'aria per gli operatori impegnati nelle operazioni di sparo, e che consenta l'allontanamento delle sostanze che possono determinare la formazione di sacche di gas inquinante.

La Figura 4, mostra come l'andamento dell'aria in uscita da alcune bocchette

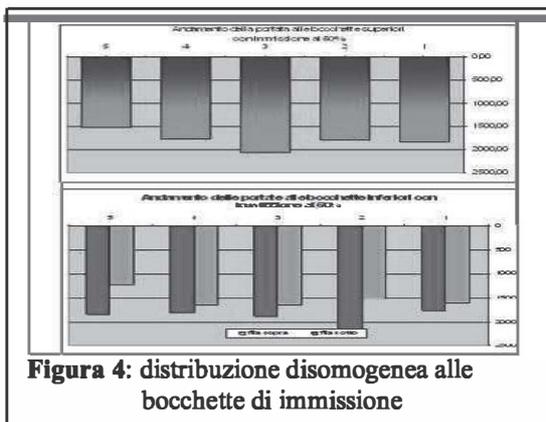


Figura 4: distribuzione disomogenea alle bocchette di immissione

posizionate in un poligono, risultino con valori nominali a volte di molto differenti tra loro.

Di conseguenza il flusso complessivo dell'aria appare poco uniforme determinando complessivamente per l'aria in uscita un moto non di tipo laminare ma turbolento con direzioni preferenziali a scapito di altre.

La successiva Figura 5, mostra la distribuzione la distribuzione spaziale complessiva del flusso

dell'aria immessa nella normale condizione di esercizio, relativamente alla velocità dell'aria delle bocchette schematizzate negli istogrammi della Figura 4.

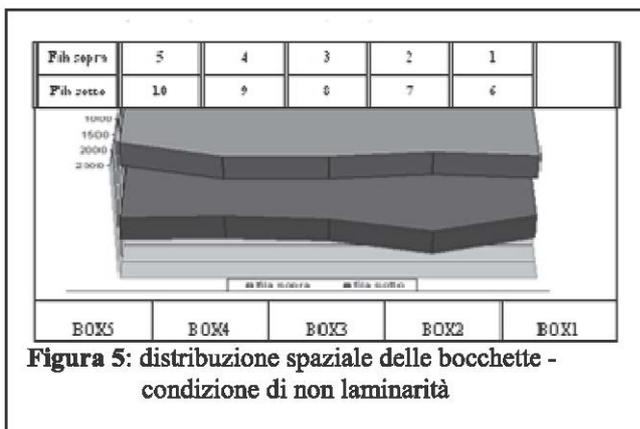


Figura 5: distribuzione spaziale delle bocchette - condizione di non laminarità

La visualizzazione grafica dei flussi in uscita rappresenta un valido metodo per percepire come avviene e con quale intensità la diffusione dell'aria.

Tale metodo riesce a dare anche indicazioni operative su dove eventualmente agire fisicamente, ad esempio aprendo o chiudendo le alette

diffusive, per ottimizzare complessivamente la dispersione dell'aria all'interno della galleria di tiro.

Accanto a questi metodi di tipo compilativi, si associano anche metodi di tipo empirico come ad esempio l'utilizzo di "fiale fumogene". L'utilizzo di questi dispositivi infatti, consente di avere una indicazione diretta sulla tipologia del moto

dell'aria in uscita in quanto, le scie di fumo ad alta visibilità che fuoriescono dalle fialette, sono estremamente sensibili al tipo di moto dell'aria in uscita. Pertanto dall'osservazione di queste scie ci si rende facilmente conto se ci troviamo in presenza di un moto di tipo laminare o turbolento oppure se si generano delle zone di ristagno, ed individuare immediatamente l'origine del problema. Questo metodo è valido anche per individuare eventuali perdite nelle guarnizioni di tenuta delle porte di ingresso/uscita e delle uscite di sicurezza posizionate all'interno della galleria di tiro.

4 - CONCLUSIONI

La denominazione utilizzata "a cielo chiuso", indica che i poligoni di questa categoria sono caratterizzati dall'essere delimitati non soltanto perimetralmente come normali poligoni di tiro all'aperto, ma dall'aver anche un "tetto" che di fatto rappresenta un cielo chiuso.

Pertanto le linee di tiro risultano essere circoscritte in un ambiente a geometria estremamente lineare con volumetria nota.

Se questa scelta di delimitare il volume entro il quale prevedere l'inserimento dell'intero sistema necessario per l'effettuazione di esercitazioni di sparo in piena sicurezza può rappresentare "l'optimum" per l'incolumità delle persone esterne all'area del poligono, da un altro punto di vista rappresenta una complicazione, spesso di non facile soluzione, a tutte quelle problematiche legate alla sicurezza ed alla salvaguardia degli operatori addetti alle operazioni di sparo.

Trattandosi di vere e proprie gallerie, senza alcun collegamento con l'ambiente esterno durante le esercitazioni di sparo, questi ambienti, come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, tendono a diventare malsani in brevissimo tempo.

Infatti è bene ricordare che nei processi esplosivi dei colpi da sparo, avvengono due fenomeni molto importanti ossia: l'esplosione del colpo e l'impatto delle ogive.

Entrambe le situazioni generano gas tossici in particolare, dall'esplosione dei colpi, nascono miscele di gas tipici della combustione, in cui il Monossido di Carbonio risulta essere il più velenoso, mentre dall'impatto delle ogive in piombo sugli smorzatori inerziali, posizionati alla fine della galleria di tiro, si determina la sublimazione del metallo liberando una polvere di piombo molto fine.

La piena efficienza e la completa salubrità dell'aria nei poligoni di tiro a cielo chiuso, è garantita quindi da una serie di dispositivi tecnologici in grado non solo di monitorare in continuo il livello degli inquinanti potenzialmente pericolosi, ma di assicurare il completo "lavaggio" dell'aria in tutti gli ambienti che caratterizzano un poligono di tiro.

Il corretto lavaggio dell'aria in particolare è assicurato da un sistema di immissione e di estrazione dell'aria che, diffondendo in continuo, grandi quantità di aria pulita dall'esterno e contemporaneamente estraendo aria potenzialmente inquinata, garantisce il giusto numero di ricambi d'aria in tutto l'ambiente.

Ma spesso il semplice posizionamento di questi impianti (a tutt'aria) di per se non è sinonimo di una ottimizzazione delle condizioni critiche all'interno del poligono, in quanto il parametro discriminante non è quanta aria pulita viene immessa ma come questa viene distribuita.

Un posizionamento non corretto dei sistemi diffusivi infatti, tende a far convergere il flusso di aria in direzioni arbitrarie rispetto ad un flusso ottimale, generando oltre che fenomeni di turbolenza soprattutto pericolosi ristagni d'aria, potenzialmente inquinata con i gas di combustione.

La normativa vigente, stabilisce criteri estremamente severi, per garantire la salute degli operatori e l'ambiente esterno imponendo il rispetto di alcuni "valore limite" sia all'interno che all'esterno del poligono.

Il legislatore infatti, imponendo valori molto restrittivi per il controllo di alcuni fattori potenzialmente inquinanti, ha cercato di considerare sia le esigenze di salubrità di un luogo di lavoro che dell'inquinamento esterno, senza però gravare troppo sulle scelte tecnico/costruttive per non complicare troppo l'utilizzo dei poligoni.

E' auspicabile quindi che per garantire sempre la massima efficienza in queste particolari infrastrutture, il legislatore preveda, nelle periodiche revisioni dei disciplinari normativi di riferimento, specificatamente opportuni protocolli di verifica e manutenzione che al momento con le periodicità imposte appaiono non idonei.

5 - BIBLIOGRAFIA

5.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Direttiva D.T./P1 Edizione 2005 - Direttiva tecnica per i poligoni di tiro chiusi a cielo chiuso D.T. /P1 – (revisione 2013).
- Direttiva D.T./P2 Edizione 2006 - Direttiva tecnica per i poligoni di tiro chiusi a cielo aperto D.T. /P2.
- DPCM 28.3.1983 e s. m. e/o abrogazioni -Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente estemo.
- D.M. 02/04/02 n° 60 - Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio.
- D.Lgs. 152/06 - Norme in materia ambientale

5.2 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA E SITOGRAFIA

- L. Bozzoli, U. Maugeri: "Igiene Industriale – campionamento gas, vapori, polveri", Ed. La Goliardica, Pavia.
- Baglioni, S. Riardi: "Costruzioni e Salute. Criteri, norme e tecniche contro l'inquinamento interno". Ed. Franco Angeli, 1991.
- Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati (G.U. n.276 del 27 novembre 2001 suppl. ord. n. 252).

- L. Golino, E. Mori: “Progettare un poligono di tiro”, 2001 consultabile su:
<http://www.teamberetta.it/public/Progettare%20un%20poligono%20di%20tiro.pdf>
- www.tiopratico.com
- www.teamberetta.com
- www.poligonimikra.com

ESPOSIZIONE AD ATMOSFERE IPERBARICHE: IPOTESI DI PROTOCOLLO DI RICERCA

Enrico Marchetti^(1, 4), Agnese Martini⁽¹⁾, Angelo Tirabasso⁽¹⁾, Floriana Sacco⁽¹⁾, Emilia Paba⁽¹⁾, Antonella Mansi⁽¹⁾, Giovanna Tranfo⁽¹⁾, Giuseppe Filomeni^(2,3), Giuseppina Di Giacomo⁽²⁾, Maria Concetta D'Ovidio⁽¹⁾

¹: INAIL DC Ricerca DiMEILA – Monte Porzio Catone – Roma

²: Università di Roma Tor Vergata – Dipartimento di Biologia

³: Cell Stress and Survival Unit - Danish Cancer Society Research Center

⁴: Università Sapienza di Roma – Dipartimento di Fisiologia e Farmacologia “V. Erspamer”

1 - INTRODUZIONE

Il Decreto Legislativo 81/2008, che riunisce in un unico codice tutta la normativa in materia di salute e sicurezza sul lavoro, introduce il fattore di rischio da esposizione ad atmosfere iperbariche. Tale aspetto viene inserito tra i fattori di rischio fisici nel Titolo VIII ma non ne viene data alcuna indicazione sulla valutazione, come invece viene fatto per altri agenti di rischio. Tra le ragioni di tale omissione vi è quella per cui, mentre l'agente di rischio è palesemente un'osservabile fisica, la sua azione sulla probabilità di averne un detrimento è multifattoriale, spaziando dalla medicina iperbarica alla fisica dei gas disciolti, al microclima, etc.. Conseguentemente, una metodologia di valutazione non è stata ancora proposta né validata.

L'obiettivo del presente progetto di ricerca è di studiare, da un punto di vista quantitativo, semiquantitativo e qualitativo, tutte le osservabili implicate nell'attività iperbarica, sia umida che a secco. Da questo studio, in casi ben definiti, si può ricavare uno schema di interazione e quindi una relazione causa-effetto approssimata, tale da consentire di attribuire una possibilità di valutazione del rischio. Tale sistema dovrebbe essere poi messo a confronto con dati epidemiologici sul campo. Infine si auspica di poter trovare un parametro unico che, in condizioni standardizzate definibili caso per caso, consenta di associare a detto parametro un livello di rischio nella valutazione ex art.15 del testo unico di sicurezza del lavoro.

Un simile progetto implica giocoforza la partecipazione di numerosi attori appartenenti a settori diversi, ciascuno in grado di apportare il proprio *know how* e di consentire il giusto approccio multidisciplinare necessario per la valutazione del rischio da esposizione iperbarica.

Questo articolo intende descrivere la fase di progettazione, di avvio del progetto di ricerca e le fasi di arricchimento verificatesi nel corso della stessa progettualità. Idee e professionalità diverse, ma tra loro complementari, hanno consentito di integrare le fasi iniziali e di sviluppo del progetto di studio; gli scenari di incidenti che purtroppo sono avvenuti e continuano a verificarsi sulle nostre coste rafforzano la necessità di considerare la valutazione del rischio da esposizione iperbarica ai fini della tutela della salute e sicurezza dei lavoratori.

2 – LA NATURA MULTIFATTORIALE DEL PROBLEMA

Il rischio da esposizione ad atmosfera iperbarica rappresenta una macrocategoria che include molti agenti di rischio: fisico, chimico, biologico e di sicurezza.

La prima necessità che si incontra nel definire il fattore di rischio consiste nello specificare quale atmosfera si vuole studiare. Per quanto riguarda il presente progetto di ricerca ci si occuperà esclusivamente di aria. Non verranno prese in considerazione altre atmosfere modificate con la sostituzione dell'azoto con altri gas inerti quali elio, ovvero con una alterata percentuale di azoto rispetto all'aria atmosferica. Inoltre, come ulteriore restrizione, ci si limiterà all'aria fornita a ciclo aperto ovvero immagazzinata nelle bombole, escludendo i ricondizionatori di aria espirata (*rebreather*).

La descrizione fisiologica degli effetti dell'esposizione ad atmosfera iperbarica fa riferimento a quanto eccellentemente descritto da Vann e Thalmann (1993).

Una completa descrizione di tutti gli aspetti di rischio che intervengono nell'immersione può essere reperita nell'ottimo manuale d'immersione della Marina Militare Americana (facilmente reperibile in rete). Qui noi diamo un veloce elenco degli stessi al fine di chiarire i limiti d'estensione del nostro progetto.

- 1) Ipossia
- 2) Avvelenamento da CO
- 3) Ipercapnia (CO₂)
- 4) Tossicità dell'ossigeno (O₂)
- 5) Narcosi d'azoto (N₂)
- 6) Iperventilazione
- 7) Dispnea
- 8) Enfisema
- 9) Pneumotorace
- 10) Sovradistensione gastro-intestinale
- 11) Barotrauma (orecchio, maschera, seni ossei)
- 12) Annegamento
- 13) Ipotermia o ipertermia
- 14) Embolia gassosa arteriosa
- 15) Patologia da decompressione
- 16) Osteonecrosi iperbarica
- 17) Effetti neurologici
- 18) Effetti sul DNA

Alcune di queste patologie attengono alla sfera della sicurezza più che dell'igiene del lavoro, in ragione della loro eziopatogenesi e del tempo di latenza degli effetti. Altri sono più tipicamente igienistici (punti 17 e 18). Infine ci sono alcuni elementi di un tipo che influiscono su quelli dell'altro, rendendoli di fatto non separabili nella valutazione¹. Per chiarire con un esempio, non esaustivo, prendiamo in esame lo stress ossidativo. Ci sono indicazioni in bibliografia che tale stress (sia ossidativo

¹ Quando uno stesso effetto ha origine da due diverse cause e esiste una sinergia tra di esse allora si avranno due differenti relazioni causa-effetto. Per una valutazione del rischio è sufficiente prendere quel valore limite di quella delle due curve causa-effetto che impone il valore più restrittivo.

che nitrosativo) sia intrinseco alla respirazione di ossigeno iperbarico (Thom, 2009) e che a seconda della pressione della miscela respirata possa interessare i polmoni, il sistema nervoso centrale, sia entrambi (Allen *et al.* 2009). Attualmente non è stata trovata una correlazione con un danno al DNA, nel senso che il danno è stato osservato ma viene riparato entro un'ora e induce una resistenza specifica nell'individuo sano ed allenato (Groger *et al.* 2009). Resta il fatto che un fenomeno transitorio quale il rischio di tossicità dell'ossigeno si trova indissolubilmente legato con un fenomeno permanente quale il danno polmonare e con una modifica del DNA. Un altro esempio di interconnessione tra effetti a lungo e breve termine lo possiamo osservare nella formazione di microbolle nella circolazione sanguigna. Le microbolle, sia asintomatiche che sintomatiche (embolia lieve), che si formano a seguito di una decompressione (ossia il ritorno da una pressione iperbarica alla pressione normobarica della superficie del pianeta) possono indurre un'alterazione alle pareti dei vasi sanguigni (venosi) che percorrono.

Conseguentemente con la lettura della letteratura scientifica si deve argomentare che alcuni rischi hanno una origine multifattoriale (Barry *et al.* 1994; Engan *et al.* 2012; Ivkovic *et al.* 2012; Kaczerska *et al.* 2013; Pollock *et al.* 2002; Astarita *et al.* 2000; Lee *et al.* 2013) e possono avere effetti sinergici e/o antagonisti che devono essere investigati e valutati come relazione causa-effetto per poter produrre un criterio ragionato di valutazione del rischio.

3 - IL PROGETTO DI RICERCA

Un gruppo multidisciplinare degli ex Dipartimenti di Medicina e di Igiene del Lavoro dell'INAIL - Direzione Centrale Ricerca (attualmente riuniti nel Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro ed Ambientale - DiMEILA) ha elaborato un progetto sperimentale per l'acquisizione di dati ad ampio spettro finalizzato a comprendere ed a mettere in atto la possibilità di stabilire relazioni causa-effetto tra rischio ed effetti multifattoriali dell'esposizione a pressioni iperbariche della miscela respiratoria (Martini *et al.* 2011; D'Ovidio *et al.* 2012; Martini *et al.* 2012; Marchetti *et al.* 2013; Sacco *et al.* 2013). Il nucleo di ricerca originario è stato successivamente integrato e supportato da altri nuclei afferenti a diversi centri di ricerca che si sono resi disponibili sulla base delle proprie competenze ed esigenze professionali e sperimentali.

Le finalità di questo progetto di ricerca sono indirizzate a stabilire una catena di misura che prenda in considerazione i parametri relativi ai diversi organi/tessuti/apparati che possono maggiormente essere interessati dalle condizioni che si creano nell'esposizione ad ambienti iperbarici sia in condizioni a secco che umide, sia per i lavoratori che per i subacquei amatoriali. Un'ulteriore possibilità è quella di confrontare i risultati ottenuti dalle immersioni con quelli ottenuti dalla permanenza in camera iperbarica, attraverso un approccio multidisciplinare e trasversale. E' necessario considerare, studiare e monitorare tutti i fattori personali e ambientali che possono contribuire a garantire la tutela della salute e della sicurezza dei soggetti esposti a condizioni iperbariche, al fine di mettere in atto tutte le procedure preventive, protettive e di controllo prima, durante e dopo le immersioni.

Il periodo di tempo in cui si determineranno i diversi parametri da studiare sarà compreso tra 12 ore prima e 24/48 ore dopo l'esposizione a condizione iperbarica; infatti dati di letteratura indicano che dopo 24 ore dall'immersione si può considerare conclusa la fase di decompressione. A ridosso dell'esposizione si effettueranno le valutazioni dei vari indicatori un'ora prima dell'immersione; quindi, in post-immersione, dieci minuti, un'ora e tre ore dopo. I soggetti che, su base volontaria e consenso informato, accetteranno di partecipare allo studio saranno sottoposti al protocollo che prevede la compilazione di un questionario clinico-anamnestico *ad hoc*, campionamenti su matrici biologiche (quali urine, siero, cute, etc.), nelle fasi di pre- e post-immersioni per le valutazioni dei vari indicatori. Una criticità da valutare è la distanza di tempo (un'ora o più) per effettuare i campionamenti pre-immersione ma soprattutto la distanza di tempo per i campionamenti post-immersione.

In particolare la valutazione riguarderà fattori fisici e medici rilevati in continua durante l'immersione stessa e altri di natura chimico-biologica rilevati sul campo ed analizzati in laboratorio sulle matrici biologiche:

Il profilo d'immersione: si rileva il profilo in termini di tempi di permanenza alle varie profondità, con la profondità stessa e con la relativa frequenza cardiaca a consumo d'aria ventilata. Questi fattori hanno diretta rilevanza sullo stress decompressivo e su tutti gli altri fattori che hanno rilevanza nell'esposizione ad alta pressione, bassa temperatura in condizione di elevata dispersione termica (elevata conducibilità termica dell'acqua) e di alterazione del metabolismo conseguente all'attività praticata.

Lo stress nitro-ossidativo: rilevazione ematica dello stress nitro-ossidativo e/o su campioni di urina. Si vuole correlare tale osservabile con lo stress decompressivo e, eventualmente, con altri aspetti relativi alla condizione di inquinamento chimico, microbiologico e fisiologico, oltre che con rilevazioni più veloci e meno invasive dell'ossido nitrico esalato.

Lo stato immunologico: i lavori in letteratura considerano importante conoscere la condizione immunologica in generale e immuno-allergologica in particolare. Le moderne tecnologie immunochimiche e molecolari offrono l'opportunità di conoscere la risposta immunologica nei confronti di un elevato numero di agenti biologici e di allergeni di origine vegetale, animale, occupazionale, alimentare.

La composizione corporea: la definizione dei diversi comparti corporei è molto utile ai fini della valutazione di diversi parametri biochimici tra cui elettroliti, acqua totale, acqua intra ed extracellulare, massa corporea. Inoltre è noto che una differente composizione del rapporto massa grassa/massa magra influenza la velocità di desaturazione del gas inerte e che tale influenza varia con i diversi gas inerti impiegati nelle immersioni lavorative e sportive.

I consumi alimentari/intake/anamnesi alimentare: la disponibilità di *software* analitici specifici consente - attraverso l'analisi di parametri specifici quali fabbisogno energetico basale, kcalocalorie, spesa energetica totale - di indicare e

rispondere ai fabbisogni alimentari/nutrizionali individuali. Tali aspetti nutrizionali sono potenzialmente legati al metabolismo differenziale in immersioni a secco e bagnate e alla capacità di mantenere l'omeotermia in immersione. Questo fattore, a sua volta, sembra avere influenza sull'insorgenza della patologia da decompressione.

L'inquinamento (micro)biologico: è importante monitorare tale variabile ai fini della valutazione di inquinanti biologici potenzialmente presenti nella riserva di aria compressa. Anche gli inquinanti dispersi nell'acqua possono indurre sensibilizzazione immunitaria e avere, in definitiva, un effetto sullo stato generale dell'organismo e sulla sua capacità di risposta allo stress decompressivo. **Monitoraggio microbiologico ambientale:** negli ambienti lavorativi indoor e outdoor (acque ad uso ricreativo, acque di balneazione, etc.) l'eventuale presenza di agenti patogeni (*Escherichia coli*, Enterococchi, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Legionella spp*, *Mycobaterium spp*, *Blastomyces spp*, etc.) che possono essere responsabili di patologie infettive quali ad esempio otiti, dermatiti, infezioni cutanee, congiuntiviti, patologie respiratorie, infezioni genito-urinarie, gastroenteriti, etc..

Tali valutazioni sono finalizzate a definire degli indicatori di rischio e ad elaborare un protocollo di indagine che contribuisca alla determinazione ed allo studio dei diversi indicatori. Questi saranno correlati agli effetti a breve ed a lungo termine attraverso un confronto dei valori precedenti e successivi all'esposizione iperbarica.

Nei sommozzatori saranno valutati i seguenti osservabili:

- Il profilo d'immersione: tramite computer d'immersione Galileo SOL indossato con sonda aria e con cardiofrequenzimetro per rilevare il profilo d'immersione (tempo - profondità), l'aria ventilata e la frequenza cardiaca. La frequenza sarà correlabile con quanto rilevato con metabolimetro K5 (agefis).
- Il metabolismo individuale: con metabolimetro K5 si misura la ventilazione dell'ossigeno, dell'anidride carbonica, la ventilazione generale, la frequenza cardiaca, il costo energetico metabolico, pre e post immersione. Tale ultimo osservabile sarà monitorato, parzialmente, in immersione per mezzo del cardiofrequenzimetro indossato del computer Galileo SOL. Quindi sarà parzialmente possibile seguire la variazione di metabolismo derivante dall'immersione ed alle sue caratteristiche fisiche (pressione, temperatura, tempo) durante la curva d'immersione e di decompressione. Successivamente ci si riallacerà alle misure post-immersione fatte col K5 (agefis).
- Il carico del sistema immunitario: si propone lo studio di indicatori immunologici di suscettibilità individuale volti a valutare la risposta immunologica nei confronti di inquinamenti (micro)biologici e allergologici (vegetali, animali, occupazionali, alimentari) attraverso l'utilizzo di tecnologie immunochimiche/molecolari (agebio).
- La composizione corporea: si propone di valutare parametri biochimici specifici quali acqua totale, acqua intra ed extracellulare, massa grassa e massa magra, massa metabolicamente attiva, massa extracellulare inerte, potassio, sodio, azoto, attraverso l'utilizzo della bioimpedenziometria (agebio).

- I consumi alimentari/intake/anamnesi alimentare: si propone l'analisi di parametri biochimici specifici quali Kilocalorie, Kilojoule, fabbisogno energetico basale, spesa energetica totale, anche attraverso l'utilizzo di *software* specifici al fine di indicare e rispondere ai fabbisogni alimentari/nutrizionali individuali (agebio)
- La valutazione della qualità microbiologica dell'aria compressa (all'uscita delle bombola, dell'erogatore e del compressore di ricarica), mediante la rilevazione di specifici agenti biologici e/o loro prodotti e componenti tramite metodi colturali, biologico molecolari ed immunenzimatiche (agebio).
- La valutazione nell'aria compressa delle bombole dei principali inquinanti chimici: monossido di carbonio, anidride carbonica, etc. (agechim).

Tutto lo studio sarà condotto su soggetti lavoratori e non lavoratori aderenti su base volontaria e previo consenso informato. Le informazioni ottenute saranno trattate in forma anonima a tutela della *privacy*.

Soggetti

Lo studio sarà condotto inizialmente su un gruppo ristretto di soggetti interni al gruppo di ricerca, con esperienza subacquea, al fine di mettere a punto la catena di misura e rendere le diverse misurazioni compatibili tra loro, oltre a valutare le tempistiche e il fabbisogno di supporto per una campagna di misura estesa ed intensiva.

Questionario

Somministrazione di un questionario clinico-anamnestico specifico integrato di volta in volta con parti riguardanti i diversi aspetti da studiare nell'ambito del protocollo e validato per lo studio.

4 – PROTOCOLLO SPERIMENTALE

I soggetti saranno preventivamente informati su alcune regole da seguire per l'esecuzione delle parti relative allo studio. Il tempo di permanenza in immersione sarà standardizzato (verosimilmente 30 minuti circa). Altrettanto per le profondità. Entrambi i parametri d'immersione saranno variati al fine di rendere più evidenti i diversi valori degli osservabili.

Tra questi, 24 ore e 1 ora prima della permanenza in camera iperbarica o in immersione saranno attuate le seguenti parti operative:

- 1) applicazione del sistema K5 per la valutazione del metabolismo individuale e dei parametri di ventilazione;
- 2) applicazione di elettrodi bioimpedenziometrici per la misurazione di parametri biochimici della composizione corporea e dello stato nutrizionale;
- 3) prelievo urinario per la determinazione di indicatori di stress ossidativo;
- 4) prelievo ematico per la determinazione di indicatori immunologici, di stress ossidativo, nitrosativo, danno al DNA, etc.

Le stesse rilevazioni verranno eseguite dopo l'immersione con un *follow up*, differente per i vari osservabili, di 24/48 ore complessive.

Offline rispetto alle rilevazioni sui soggetti verranno eseguite le seguenti operazioni:

- 1) Campionamento di aria delle bombole (all'uscita della bombola e all'uscita dell'erogatore) e del compressore per la rilevazione di specifici agenti biologici e/o immunologici. Valutazione della qualità microbiologica dell'aria compressa presente nelle bombole di rifornimento dei subacquei, in accordo con le indicazioni riportate nelle norme tecniche ISO 8573-7:2003 e ISO 8573-1:2010 (agebio).
- 2) Valutazione funzionale-diagnostica del subacqueo (CIR).
- 3) Valutazione della curva d'immersione sulla base delle principali teorie presenti in bibliografia (agefis).
- 4) Valutazione dello stato immuno/allergologico dei soggetti: indagine immunoenzimatica e/o molecolare di reattività a specifici agenti su campioni ematici attraverso indagine di specifici allergeni (vegetali, animali, occupazionali, alimentari) con metodologie immunochimiche/molecolari (agebio).
- 5) Valutazione dei compartimenti corporei/composizione corporea: indagine bioimpedenziometrica per la valutazione dello stato di idratazione, della massa magra e grassa; del peso desiderabile; delle componenti metaboliche; dello stato elettrolitico; delle componenti minerali. In particolare possono essere valutati i parametri fisiologici e biochimici (agebio).
- 6) Valutazione della qualità microbiologica dell'aria compressa presente nelle bombole di rifornimento dei subacquei, in accordo con le indicazioni riportate nelle norme tecniche ISO 8573-7:2003 e ISO 8573-1:2010 (agebio).
- 7) Valutazione dei consumi alimentari/intake/anamnesi alimentare: analisi di parametri fisiologici e biochimici specifici quali Kilocalorie, Kilojoule, fabbisogno energetico basale, spesa energetica totale, anche attraverso l'utilizzo di *software* e moduli applicativi specifici al fine di indicare e rispondere ai fabbisogni alimentari/nutrizionali individuali. Possibilità di rilevare l'abitudine e il consumo alimentare, di attuare programmi educazionali e di prevenzione. (agebio).
- 8) Valutazione dello stress ossidativo nei sistemi biologici con la misura di biomarcatori che riflettono il danno indotto da un attacco da parte delle specie reattive dell'ossigeno e dell'azoto e, in particolare, dai ROS e RNS: 8-oxoGua, 8-oxodGuo, e 8-oxoGuo, risultanti dall'ossidazione della guanina nel DNA e nell'RNA (quali indicatori di effetto), isoprostani, prodotti di perossidazione lipidica, determinabili sia nelle urine come marcatori di stress ossidativo che nel condensato dell'espriato come *markers* di infiammazione. Tutti questi biomarcatori verranno determinati nelle urine mediante HPLC-MS/MS (monitbio, Tor Vergata).
- 9) Valutazione metabolica con metabolometro K5 a secco; valutazione del ritmo cardiaco in immersione con cardiofrequenzimetro subacqueo e successiva (*off line*) derivazione del metabolismo con adattamento in temperatura; ripetizione della valutazione con K5 dopo l'immersione ed in *follow up* per due ore (agefis).
- 10) Sulla frazione plasmatica saranno misurati (Tor Vergata):

- a) nitriti e nitrati attraverso il metodo spettrofotometrico al reattivo di Griess, quale valutazione indiretta di ossido nitrico (NO);
 - b) i livelli di proteine carbonilate (ossidate sui carboni α della catena polipeptidica) mediante tecniche immuno-elettroforetiche (Western blot) previa reazione dei gruppi chetonici e aldeidici con dinitrofenilidrazina (DNP) e successivo riconoscimento con anticorpo anti-DNP;
 - c) i livelli di proteine nitrosilate mediante biotin switch assay e riconoscimento in chemiluminescenza con streptavidina coniugata alla perossidasi di rafano (HRP). Alternativamente si utilizzeranno anticorpi anti nitroso-cisteina (SNO);
 - d) i livelli di nitrotirosine proteiche mediante tecniche immuno-elettroforetiche (Western blot) con anticorpo anti-nitrotirosine;
 - e) i livelli dei tioli circolanti, cisteina, cistina, glutatione ridotto (GSH), ossidato a disolfuro intramolecolare (GSSG) e misto a proteine (GS-prot) e nitrosilato (GSNO) mediante tecniche di cromatografia liquida ad elevata efficienza (HPLC) previa riduzione del campione con boroidruro di potassio (KBH₄) o, alternativamente, ascorbato;
- 11) Sulla frazione leucocitaria saranno misurati (Tor Vergata):
- a) nitriti e nitrati;
 - b) i livelli di proteine carbonilate;
 - c) i livelli di proteine nitrosilate;
 - d) i livelli di nitrotirosine proteiche;
 - e) i livelli dei tioli intracellulari come precedentemente indicato al punto 7.
- 12) In aggiunta a questo pannello di analisi, se le quantità del campione lo permetteranno, saranno dosati (Tor Vergata):
- a) il numero di leucociti totali per ml;
 - b) i livelli degli enzimi che sintetizzano l'NO (NO sintasi, NOS), in particolare la forma inducibile (iNOS) ed endoteliale (eNOS), mediante tecniche immuno-elettroforetiche (Western blot) con anticorpi specifici. Verranno inoltre dosati i livelli di RNA messaggero mediante e real time PCR (o PCR quantitativa);
 - c) i livelli di enzimi antiossidanti superossido dismutasi (SOD), catalasi e glutatione perossidasi (GPx) mediante tecniche immuno-elettroforetiche (Western blot) con anticorpi specifici e analisi dell'attività enzimatica in spettrofotometria. Verranno inoltre dosati i livelli di RNA messaggero mediante e real time PCR (o PCR quantitativa);
 - d) i livelli relativi di specie reattive dell'ossigeno (ROS) mediante tecniche citofluorimetriche previa incubazione con diclorofluoresceina (utilizzata per misurare il perossido di idrogeno) e la diidroetidina (utilizzata per misurare lo ione superossido);
 - e) i livelli di NO libero mediante tecniche citofluorimetriche previa incubazione con diamino fluoresceina;
 - f) i livelli di S-nitrosoglutatione reduttasi (GSNOR) mediante tecniche immuno-elettroforetiche (Western blot) con anticorpi specifici, e analisi dell'attività enzimatica in spettrofotometria. Verranno inoltre dosati i livelli di RNA messaggero mediante e real time PCR (o PCR quantitativa);

- g) i livelli di danno alla doppia elica del DNA mediante tecniche immunoelettroforetiche (Western blot) e/o di immunofluorescenza e successiva visualizzazione in microscopia previa fissazione dei leucociti con paraformaldeide e incubazione con anticorpo che riconosce la forma fosforilata (attiva) dell'istone H2A.X;
 - h) i livelli di morte cellulare per apoptosi mediante tecniche citofluorimetriche, o necrosi mediante colorazione previa esclusione da Trypan blue.
- 13) Sulla frazione eritrocitaria saranno dosati (Tor Vergata):
- a) i livelli totali di glutatione tramite HPLC;
 - b) i livelli di emoglobina nitrosilata mediante il metodo spettrofotometrico al reattivo di Griess accoppiato a riduzione con cloruro di mercurio (HgCl₂);
 - c) il rapporto emoglobina/metaemoglobina con analisi spettrofotometriche.

Analisi statistica

I risultati ottenuti saranno inseriti in un *data-base* di un programma statistico di gestione e analisi dati quali SPSS (*Statistical Package for Social Science*). Sarà messo a punto un modello statistico che, partendo dall'inserimento dei dati, sia in grado di valutare e rilevare le significatività dei diversi parametri biochimici e fisiologici messi a confronto, attraverso l'utilizzo di *test* e analisi idonei. I software impiegati per tale elaborazione saranno: R, PSPP, Excel®.

L'elaborazione dei dati sarà presentata in forma descrittiva, numerica e grafica. Quanto di rilievo ai fini della valutazione dei rischi verrà inserito nel Portale Agenti Fisici (PAF).

5 - STATO DI ATTUAZIONE

Il progetto ha richiesto un tempo notevole per essere approvato e per diventare operativo. Infatti il Piano d'Attività della Ricerca (PAR) triennale INAIL è stato approvato ad agosto del 2014. Questo ha consentito di effettuare gli ordini, che stanno arrivando a consegna.

Le convenzioni con i laboratori esterni sono diventate operative con la consegna dei materiali di consumo di laboratorio. Quindi si è proceduto alla ricerca delle componenti sperimentali che parteciperanno in qualità di soggetti volontarie alle ricerche. Per mettere a punto la catena di misura, che si presenta complessa e molto articolata, si farà uso di volontariato interno al DiMEILA, mentre per le fasi di raccolta dati ci si avvarrà di volontari scelti tra gruppi omogenei di subacquei professionisti di settori economici ben definiti (Protezione Civile, Vigili del Fuoco, Istruttori subacquei, Guide Subacquee, etc.).

La prima parte del progetto, consistente nella somministrazione di questionari, si può svolgere a prescindere dall'attività in camera iperbarica ed in acqua ed già stata avviata. Sono in fase di somministrazione dei questionari clinico-anamnestici specifici, integrati di volta in volta con parti riguardanti i diversi aspetti da studiare nell'ambito del protocollo, diversificati per i gruppi omogenei dei subacquei e validati. È necessario, ai fini della comprensione delle caratteristiche di ciascun gruppo omogeneo, somministrare e far compilare ai sommozzatori lavoratori e

amatoriali (in ambiente secco e umido) che prenderanno parte allo studio un questionario per conoscere anamnesi, abitudini di vita, lavorative, informazioni legate alla pratica subacquea. A seguito della raccolta di questi dati si procederà alla loro elaborazione statistica e anamnestica.

La primavera inoltrata porterà ai primi test sul campo, sia in camera iperbarica che in acqua. Di seguito si metterà a punto il protocollo, organizzandolo con quanto praticamente fattibile.

6 - CONCLUSIONI

Il progetto è avviato alla sua fase esecutiva, anche se mancano alcune messe a punto che verranno eseguite in itinere. Questo non vuol dire che sia vincolante. Anzi è, e sarà, sempre possibile aggiungere ulteriori misure. Pertanto chiunque voglia collaborare è invitato a avanzare le sue proposte allo scrivente.

Tutto quanto messo a punto nel corso del presente progetto, ed i relativi risultati sperimentali, che avranno una qualche valenza ai fini della valutazione del rischio iperbarico, saranno inseriti sul sito del PAF: www.portaleagentifisici.it

Ringraziamenti

Si ringraziano per la loro preziosa e cordiale collaborazione la Dott.ssa Giuliana Valente ed il Dott. Corrado Costanzo.

7 - BIBLIOGRAFIA

1. Allen BW, Demchenko IT, Piantadosi CA. Two faces of nitric oxide: implications for cellular mechanism of oxygen toxicity. *J. Appl. Physiol.* 2009; 106:662-667.
2. Astarita C, Gargano D, Di Martino P. Pollen trapped in a scuba tank: a potential hazard for allergic divers. *Ann Intern Med.* 2000 Jan 18;132(2):166-167.
3. Barry MK, Aloisi JD, Pickering SP, Yeo CJ. Nitric oxide modulates water and electrolyte transport in the ileum. *Ann Surg.* 1994 Apr;219(4):382-388.
4. D'Ovidio MC, Sbardella D, Bertini L, Capanna S, Corso L, Spalletta M, Martini A. Valutazione dell'ossido nitrico (FeNO) in operatori subacquei vigili del fuoco nella pre- e post-immersione: risultati preliminari. *G Ital Med Lav Erg.* 2012; 34(3) Suppl 2: 172-173.
5. Engan HK, Jones AM, Ehrenberg F, Schagatay E. Acute dietary nitrate supplementation improves dry static apnea performance. *Respir Physiol Neurobiol.* 2012 Jul 1;182(2-3):53-59.
6. Groger M, Oter S, Simkova W, Bolten M, Koch A, Warninghoff V, Georgieff M, Muth CM, Speit G, Radermacher P. DNA damage after long-term repetitive hyperbaric oxygen exposure. *J. Appl. Physiol.* 2009;106:311-315.
7. Ivkovic D, Markovic M, Todorovic BS, Balestra C, Marroni A, Zarkovic M. Effect of a single pool dive on pulmonary function in asthmatic and non-asthmatic divers. *Diving Hyperb Med.* 2012 Jun;42(2):72-77. Erratum in: *Diving Hyperb Med.* 2012 Dec;42(4):236.

8. Kaczerska D, Siermontowski P, Olszański R, Krefft K, Małgorzewicz S, Van Damme-Ostapowicz K. The influence of high-fat diets on the occurrence of decompression stress after air dives. *Undersea Hyperb Med.* 2013 Nov-Dec;40(6):487-97.
9. Lee YI, Ye BJ. Underwater and hyperbaric medicine as a branch of occupational and environmental medicine. *Ann Occup Environ Med.* 2013 Dec 19;25(1):39.
10. Marchetti MR, D'Ovidio MC, Ghiselli A, Baccolo TP. Progetto per la valutazione dei rischi correlati all'alimentazione dei lavoratori. *G Ital Med Lav Erg.* 2013; 35(4) Suppl:170.
11. Martini A, Sbardella D, Bertini L, Capanna S, Spalletta M, D'Ovidio MC. Studio dell'infiammazione delle vie aeree in vigili del fuoco operatori subacquei. *G Ital Med Lav Erg.* 2011;33(3), Suppl 2:328-329.
12. Martini A, Sbardella D, Bertini L, Capanna S, Spalletta M, D'Ovidio MC. Airway inflammation in professional divers: FeNO as a marker. *Undersea Hyperb Med.* 2012; 39(5):901-907.
13. Pollock NW, Harris MF. Effect of daily exposure to compressed air on immune response. *Undersea Hyperb Med.* 2002; 29(2): 129-130.
14. Sacco F, Corso L, D'Amico W, D'Ovidio MC, Martini A, Tirabasso A, Marchetti E. Linee di sviluppo per una valutazione integrata del rischio iperbarico. *G Ital Med Lav Erg.* 2013; 35(4):177.
15. Thom S. Oxidative stress is fundamental to hyperbaric oxygen therapy. *J. Appl. Physiol.* 2009;106:988-995.
16. Vann RD, Thalmann E D. Decompression physiology and practice, in Bennett P and Elliott D, "The physiology and medicine of diving", 1993, 4th ed., Saunders, 376-432.

VALORE DELLA RELAZIONE SANITARIA ANONIMA E COLLETTIVA NEL PROCESSO DI GESTIONE DEL RISCHIO. LE INFORMAZIONI RELATIVE AGLI AGENTI FISICI.

Paolo Paraluppi

ASL Pavia UOC PSAL

1 - INTRODUZIONE

La relazione sanitaria annuale, prevista dall'art. 25 comma 1 lettera i) del D.Lgs.81/2008, è un obbligo del medico competente e, quando la stessa risulta ben dettagliata, può rappresentare uno strumento fondamentale per conoscere lo stato di salute e di sicurezza dei lavoratori da parte di tutti i soggetti aziendali obbligati per legge.

Il documento in questione, infatti, in occasione della riunione di cui all'art.35 del medesimo decreto legislativo, rappresenta un rapporto dei risultati sanitari espressi in maniera anonima e collettiva relativi all'anno di riferimento. In particolare il medico competente deve saper descrivere brevemente, ma in maniera efficace, il profilo di rischio delle varie mansioni specifiche dell'azienda con la relativa analisi dei rischi e, per quanto possibile, dei livelli di esposizione desunti dalla valutazione dei rischi. Accanto al profilo di rischio deve essere indicato il relativo protocollo sanitario adottato dal medico in questione che deve tenere conto dei diversi effetti sulla salute e sulla sicurezza da monitorare al fine di poter eventualmente prevenire infortuni e malattie professionali.

2 – LA SORVEGLIANZA SANITARIA OBBLIGATORIA

A tale proposito vi è da sottolineare che, come del resto in altre occasioni, quali ad esempio per gli agenti cancerogeni e gli agenti biologici, il legislatore rimanda genericamente l'obbligatorietà della sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti al rischio ai risultati della valutazione dei rischi.

Tale scelta secondo parte della dottrina rappresenterebbe la migliore soluzione possibile, tant'è che addirittura nell'atto del governo sottoposto a parere parlamentare n. 79 del Senato XVI legislatura (cosiddetto schema di decreto di modifica del D.Lgs.81/2008) si proponeva l'aggiunta all'art. 41 comma 1 di una lettera b-bis che recitava "*in ogni caso ne venga individuata la necessità all'esito della valutazione dei rischi*"; tale modifica legislativa non risulta però essere stata recepita nel D.Lgs.106/09.

A parere invece di chi scrive, in considerazione di quanto dettato dalle disposizioni di cui all'art.5 della L.300/70, l'obbligatorietà della sorveglianza sanitaria dovrebbe, qualora possibile, essere sempre vincolata a livelli ben specificati di esposizione ai vari fattori di rischio e quindi instaurata senza opinabili o discutibili interpretazioni al merito.

Le condizioni invece imposte dal legislatore europeo e nazionale, relativamente alla sorveglianza sanitaria per gli agenti fisici, parrebbero essere più chiare, in considerazione del fatto che anche questa misura preventiva risulta legata, per lo più, a delle misurazioni strumentali e non a delle "semplici" valutazioni.

Per quanto riguarda invece la disposizione di cui all'art.41 comma 1 lettera b), la stessa dovrebbe essere estesa e limitata ai soggetti particolarmente sensibili, che potrebbero essere esposti ad un rischio significativo anche a valori inferiori ai limiti di legge; saranno individuate dal medico competente la periodicità dei controlli sanitari e le misure protettive specifiche da mettere in atto in relazione alla tipologia ed entità dell'esposizione ed alle condizioni di suscettibilità individuale emerse dal controllo sanitario.

3 - VALUTAZIONE DEL RISCHIO E COLLABORAZIONE DEL MEDICO COMPETENTE

Fondamentale deve ritenersi l'apporto del medico competente riguardo alla valutazione degli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori esposti ad agenti fisici di cui al Titolo VIII del D.Lgs.81/2008.

Funzione di non minore importanza viene inoltre ad assumere il medico competente nei casi in cui vi sia l'obbligo di aggiornamento/revisione della valutazione del rischio da esposizione ad agenti fisici.

Particolare riguardo al merito infatti si dovrà prestare alla disposizione di cui al comma 2 dell'art.181 del D.Lgs.81/2008 *"La valutazione dei rischi è aggiornata ..., ovvero, quando i risultati della sorveglianza sanitaria rendano necessaria la sua revisione"* in combinato disposto con quanto dettato al comma 2 dell'art.185 del medesimo decreto legislativo *"Nel caso in cui la sorveglianza sanitaria riveli in un lavoratore un'alterazione apprezzabile dello stato di salute correlata ai rischi lavorativi il medico competente ne informa ...il datore di lavoro, che provvede a ... sottoporre a revisione la valutazione dei rischi;"*.

4 - ALTRI OBBLIGHI COLLABORATIVI DEL MEDICO COMPETENTE

Vi è da dire che spesso in alcuni ambienti di lavoro, pur avendo il soggetto obbligato fatto ricorso alle necessarie misure tecniche di prevenzione collettiva o comunque a idonei procedimenti di riorganizzazione del lavoro, il superamento dei valori limite da esposizione ad agenti fisici può essere evitato soltanto con il ricorso ad idonei DPI o a indumenti protettivi; tutto ciò rafforza maggiormente l'importanza del disposto di cui all'art.18 comma 1 lettera d) del D.Lgs.81/2008 *"fornire ai lavoratori i necessari e idonei"*

dispositivi di protezione individuale, sentito il responsabile del servizio prevenzione e protezione e il medico competente ...;”.

In ambito di collaborazione alla valutazione del rischio, infatti, il medico competente deve pretendere di essere sentito in relazione alla scelta dei dispositivi di protezione individuale.

Quanto sopra risulta ancor più necessario nel caso in cui sia proprio, come spesso accade, il sanitario stesso che, nell'ambito dei suoi obblighi, dia particolari indicazioni, attraverso il giudizio alla mansione specifica, per il singolo lavoratore in relazione proprio alla necessità di appositi DPI o indumenti di protezione.

A prescindere infine dagli obblighi specificamente sanzionati di cui all'art. 25 comma 1 lettera g) del D.Lgs.81/2008 *“fornisce informazioni ai lavoratori sul significato della sorveglianza sanitaria cui sono sottoposti ...”* e lettera h) *“informa ogni lavoratore interessato dei risultati della sorveglianza sanitaria ...”*, assai importante risulta la collaborazione che il medico competente, ai sensi del comma 1 lettera a) del medesimo articolo, dovrebbe apportare alla informazione e formazione di cui all'art.184. Viene infatti da chiedersi come il datore di lavoro, o chi per esso, possa informare e formare correttamente i lavoratori esposti ad agenti fisici senza un adeguato supporto medico specialistico riguardo a contenuti quali ad esempio *“alle modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione per la salute”, “alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria e agli obiettivi della stessa”* o *“all'uso corretto di adeguati dispositivi di protezione individuali e alle relative indicazioni e controindicazioni sanitarie all'uso”*.

5 - EFFETTUAZIONE DELLA SORVEGLIANZA SANITARIA E RELATIVI RISULTATI

I risultati dei dati sanitari devono pertanto essere rappresentativi e suddivisi sulla base della classificazione dei lavoratori in gruppi omogenei per esposizioni sulla base delle mansioni/postazioni/lavorazioni. Per ogni gruppo di lavoratori dovrebbero essere analizzati: i casi di ipersuscettibilità, di patologie professionali e/o di malattie comunque correlabili con l'attività lavorativa, gli eventuali giudizi espressi di non idoneità specifiche alla mansione, temporanee o permanenti, con limitazioni o con prescrizioni, la eventuale presenza di alterazioni o “anomalie” nei risultati di accertamenti specialistici strumentali o di laboratorio.

E' utile quindi, nella “lettura” della relazione sanitaria, prestare particolare attenzione ai seguenti elementi:

- la definizione e la classificazione dei lavoratori sulla base dei rischi specifici devono essere il più possibile aderenti alla organizzazione/postazioni/lavorazioni specifiche e inoltre devono essere ben descritte e corrispondere il più possibile alla realtà lavorativa specifica; ciò potrebbe anche facilitare la individuazione di eventuali mansioni alternative nel caso di non idoneità o inidoneità parziali;

- deve essere rappresentato chiaramente il numero dei casi di patologie correlate o correlabili con l'attività lavorativa specifica nelle diverse mansioni/postazioni/lavorazioni;
- devono essere riportate tutte le anomalie rilevate negli esami di monitoraggio, strumentali o di laboratorio, sia numericamente che per tipologia;
- occorre che siano state tenute in considerazione nell'analizzare i dati sanitari le differenze di genere ed inoltre devono essere esplicitate le eventuali proposte migliorative di modifica delle postazioni di lavoro prima di proporre eventualmente l'allontanamento dei lavoratori dalle postazioni più a rischio.

In sostanza la relazione sanitaria deve rappresentare lo stato di salute e gli eventuali disturbi collegati all'organizzazione del lavoro, ma anche prevedere e descrivere le eventuali azioni sia di miglioramento nell'ambiente di lavoro, sia di proposte di modifica degli stili di vita attraverso azioni di promozione della salute.

6 – BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- 1) Decreto Legislativo 81/2008, Titolo VIII, Capo I, II, III e IV sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro. Indicazioni Operative. Documento 1 - Rev. 03 approvate il 13/02/2014 – estraibili all'indirizzo:
http://www.ausl.mo.it/dsp/ct_interregionale
- 2) Corte di Cassazione - Cass. Pen. – Sentenza n. 1856 del 15 gennaio 2013 - Condanna di un medico competente per omessa collaborazione alla valutazione dei rischi.



Aspetti giuridici



LA TUTELA DELLA SALUTE NELLA GIURISPRUDENZA. CASI ESEMPLARI

Rolando Dubini

Avvocato del Foro di Milano

Si riportano a seguito quattro casi esemplari di sentenze relative alle tematiche di igiene del lavoro e tutela della salute che saranno commentate nell'intervento in sede di Convegno.

1 - CASSAZIONE PENALE, Sez. III, 06 novembre 2014, n. 45919 Dott. Scarcella Alessio Obbligo di valutazione del rumore

sentenza sul ricorso proposto da T.A., n. (OMISSIS); avverso la sentenza del tribunale di Lecce - sez. dist. Campi Salentina - in data 11/10/2007; visti gli atti, il provvedimento denunciato e il ricorso; udita la relazione svolta dal consigliere Alessio Scarcella; udite le conclusioni del Pubblico Ministero, in persona del Sostituto Procuratore Generale Dott. Spinaci Sante che ha chiesto annullarsi senza rinvio l'impugnata sentenza per estinzione del reato per prescrizione.

Fatto

1. T.A. ha proposto ricorso, a mezzo del difensore fiduciario cassazionista, avverso la sentenza del tribunale di Lecce - sez. dist. Campi Salentina -, emessa in data 11/10/2007, depositata in data 8/11/2007, con cui l'imputato veniva condannato alla pena di 4.000,00 euro di ammenda, con il concorso di attenuanti generiche, in relazione al reato di cui al D.Lgs. n. 277 del 1991, art. 40, comma 1 e art. 50, lett. a), **per non avere, quale amministratore unico della ditta 2S.IMM s.r.l., esercente produzione di manufatti in legno, provveduto alla valutazione del rumore durante il lavoro (fatto accertato in data (OMISSIS))**.
2. Con il ricorso, proposto dal difensore di fiducia cassazionista dell'imputato, vengono dedotti due motivi, di seguito enunciati nei limiti strettamente necessari per la motivazione ex art. 173 disp. att. c.p.p..
 - 2.1. Deduce, con il primo motivo, la violazione dell'art. 606 c.p.p., lett. b) ed e), in relazione al D.Lgs. n. 277 del 1991, art. 40, comma 1 e art. 50, lett. a), artt. 2 e 43 c.p.. In sintesi, **la censura investe l'impugnata sentenza in quanto il tribunale, ritenendo che il ricorrente avesse**

omesso la valutazione del rumore, pur ammettendo contestualmente il mancato superamento dei limiti legislativamente previsti, sarebbe così incorsa nelle dedotte violazioni; l'illogicità della decisione risulterebbe manifesta laddove il giudice non avrebbe tenuto conto di quanto affermato dal ct. della difesa che aveva precisato che quando non si superano gli 80 dB, non si riconosce alcun rischio rumore; secondo la stessa giurisprudenza di legittimità, il mancato superamento di detto limite fa venir meno l'obbligo di effettuare la valutazione del rischio rumore; inoltre, aggiunge il ricorrente, l'obbligo di effettuare nuove misurazioni del rumore è giustificato solo nel caso di mutamenti della lavorazioni atti ad incidere in modo sostanziale sul rumore prodotto, circostanza da escludersi nel caso in esame, in quanto i macchinari aziendali erano rimasti immutati nel corso degli ultimi 16 anni, ed, in ogni caso, venivano impiegati per meno di un'ora nella giornata lavorativa, attesa la natura prevalentemente artigianale delle lavorazioni effettuate. Deduce, poi, che, pur ammettendo che il ricorrente fosse obbligato alla misurazione, difetterebbe in ogni caso l'elemento psicologico del reato, attesa la sua assoluta buona fede, avendo agito nell'erroneo convincimento di non essere tenuto ad effettuare nuove misurazioni del rumore; egli sarebbe stato indotto nella convinzione della liceità del proprio comportamento dalla circostanza dell'immutabilità dei macchinari utilizzati e dalla natura artigianale dell'attività lavorativa esercitata.

2.2. Deduce, con il secondo motivo, la violazione dell'art. 606 c.p.p., lett. e), per mancanza e manifesta illogicità della motivazione ex art. 546 c.p.p., comma 1, lett. c) ed in relazione agli artt. 132 e 133 c.p..

In sintesi, la censura investe l'impugnata sentenza in quanto il giudice non avrebbe minimamente motivato in ordine ai criteri di determinazione della pena base, limitandosi a concedere le attenuanti generiche, senza spiegare le ragioni per le quali non era "partito" dal minimo editale; l'aver riconosciuto le attenuanti generiche, non lo esimeva dal motivare sul punto, soprattutto alla luce dell'assenza dei precedenti penali e dell'assoluta vaghezza del quadro probatorio.

Diritto

3. Il ricorso è fondato per le ragioni di seguito esposte.
4. Seguendo l'impostazione logico - sistematica imposta dalla struttura dell'impugnazione di legittimità, dev'essere esaminato il primo motivo di ricorso con cui il tribunale, ritenendo che il ricorrente avesse omesso la valutazione del rumore, pur ammettendo contestualmente il mancato superamento dei limiti legislativamente previsti, avrebbe violato la fattispecie penale.
La censura è manifestamente infondata, in quanto è pacifico che la norma violata (D.Lgs. n. 277 del 1991, art. 40 oggi abrogata e sostituita, senza modificazioni sostanziali, dal D.Lgs. n. 81 del 2008, art. 181, che peraltro si pone in rapporto di continuità normativa con la previgente disposizione: Sez. 3, n. 35946 del 02/07/2010 - dep.

07/10/2010, De Francesco, Rv. 248491), **obbliga il datore di lavoro a eseguire la valutazione del rischio rumore nell'ambiente di lavoro. Il D.Lgs. n. 277 del 1991, art. 40 infatti, affermava chiaramente al comma 1 che "il datore di lavoro procede alla valutazione del rumore durante il lavoro, al fine di identificare i lavoratori ed i luoghi di lavoro considerati dai successivi articoli e di attuare le misure preventive e protettive, ivi previste"; il D.Lgs. n. 81 del 2008, art. 181 disposizione generale contenuta nel Tit. 8[^], applicabile a tutti i rischi derivanti dall'esposizione ad "agenti fisici" (tra cui, appunto, il rischio rumore negli ambienti di lavoro), prevede espressamente che "nell'ambito della valutazione di cui all'art. 28, 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".**

Sia la previgente che la nuova disposizione, dunque, prevedono come obbligatoria per il datore di lavoro la valutazione di detto rischio, cui questi non può pertanto sottrarsi. A comprova di tale assunto, si noti, l'art. 190, comma 2 riguardante specificamente la valutazione del rischio "rumore", puntualizza che "Se, a seguito della valutazione di cui al comma 1, può fondatamente ritenersi che i valori inferiori di azione possono essere superati, il datore di lavoro misura i livelli di rumore cui i lavoratori sono esposti, i cui risultati sono riportati nel documento di valutazione", principio che era già contenuto nella previgente disciplina (D.Lgs. n. 277 del 1991, art. 40, commi 1 e 2). L'obbligo della valutazione del rischio rumore, del resto, discendeva dall'art. 40, comma 6 (applicabile all'epoca del fatto) che obbligava il datore di lavoro a redigere e tenere a disposizione dell'organo di vigilanza un rapporto nel quale fossero indicati i criteri e le modalità di effettuazione delle valutazioni ...(omissis)", obbligo che oggi è stato ulteriormente specificato dal D.Lgs. n. 81 del 2008, art. 181, comma 3 cbe, inequivocamente, chiarisce come "la valutazione dei rischi è riportata sul documento di valutazione di cui all'art. 28, essa può includere una giustificazione del datore di lavoro secondo cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata", imponendo cioè al datore di lavoro l'obbligo di eseguire comunque la valutazione del rischio (nella specie, rumore), salva la possibilità per lo stesso di giustificare una più dettagliata valutazione, il che, in altri termini, significa che una valutazione, sia pure generica di detto rischio, debba essere eseguita.

In altri termini, una cosa è la valutazione del rischio rumore, che va eseguita obbligatoriamente, altro è la misurazione (e l'adozione della misura finalizzate ad eliminare o ridurre il rischio) che può anche non seguire la valutazione ove ricorrano le condizioni di cui al D.Lgs. n. 81 del 2008, art. 190, comma 2. Alla luce di quanto sopra, non rileva la circostanza che il consulente tecnico abbia affermato che se non si superano gli 80 dB non debbano essere assunti provvedimenti, in quanto la circostanza che non si "dovessero assumere provvedimenti" non escludeva che venisse svolta, anzitutto, la

valutazione del rischio rumore, e che, quindi, eventualmente, si procedesse alla misurazione. Nel caso in esame, per come risulta dall'impugnata sentenza, il datore di lavoro (nella cui azienda venivano svolte attività di lavorazione e produzione di manufatti in legno, con presenza di impianti e macchinari rumorosi, comportanti l'obbligo di valutare l'entità del rischio) non aveva mai eseguito la valutazione di detto rischio, donde la fattispecie penale risulta assolutamente integrata nei suoi elementi oggettivi.

4.1. Quanto, infine, all'asserita buona fede, non rileva quanto dedotto dal ricorrente (ossia il convincimento soggettivo di non essere tenuto alla valutazione per la natura dell'attività e per la "stabilità" del luogo di lavoro, nel senso che i macchinari in uso erano sostanzialmente rimasti immutati nel tempo), ai fini della esclusione dell'elemento oggettivo.

Sul punto, infatti, non va dimenticato che il reato contestato al ricorrente è punibile a titolo di colpa, essendo irrilevante l'animo di violare la legge, dovendosi ricordare che quanto invocato dal medesimo altro non è che l'ignoranza della legge che, dunque, non può trovare giustificazione. Pacifico è, del resto, il principio, già in precedenza affermato da questa Corte a Sezioni Unite, secondo cui, a seguito della sentenza 23 marzo 1988 n. 364 della Corte Costituzionale, secondo la quale l'ignoranza della legge penale, se incolpevole a cagione della sua inevitabilità, scusa l'autore dell'illecito, vanno stabiliti i limiti di tale inevitabilità. Per il comune cittadino tale condizione è sussistente, ogni qualvolta egli abbia assolto, con il criterio dell'ordinaria diligenza, al cosiddetto "dovere di informazione", attraverso l'espletamento di qualsiasi utile accertamento, per conseguire la conoscenza della legislazione vigente in materia.

Tale obbligo è invece - per quanto di interesse, con riferimento alla fattispecie in esame - particolarmente rigoroso per tutti coloro che svolgono professionalmente una determinata attività, i quali rispondono dell'illecito anche in virtù di una "culpa levis" nello svolgimento dell'indagine giuridica. Per l'affermazione della scusabilità dell'ignoranza, occorre, cioè, che da un comportamento positivo degli organi amministrativi o da un complessivo pacifico orientamento giurisprudenziale, l'agente abbia tratto il convincimento della correttezza dell'interpretazione normativa e, conseguentemente, della liceità del comportamento tenuto (Sez. U, n. 8154 del 10/06/1994 - dep. 18/07/1994, P.G. in proc. Calzetta, Rv. 197885).

Orbene, nel caso di specie, il ricorrente, datore di lavoro si è difeso sostenendo di non aver eseguito la valutazione convinto della liceità del proprio comportamento, convincimento soggettivo non derivato nè dal comportamento positivo degli organi amministrativi nè da un complessivo pacifico orientamento giurisprudenziale, donde l'irrilevanza di tale convincimento ai fini di ritenere giustificata la condotta posta in essere dal medesimo.

5. Fondato, invece, è il secondo motivo di ricorso, con cui il ricorrente censura il trattamento sanzionatorio irrogato dal giudice di merito.

Ed infatti, il D.Lgs. n. 277 del 1991, art. 50, comma 1, lett. a), prevedeva, all'epoca del fatto, per la violazione dell'art. 40, commi da 1 a 5, la sanzione dell'arresto da tre a sei mesi o dell'ammenda da lire dieci milioni a lire cinquanta milioni; nel caso in esame, la pena base era stata determinata nel minimo in Euro 6.000,00 di ammenda, pena di poco superiore al minimo edittale (pari ad Euro 5164,00 di ammenda), dunque la motivazione del primo giudice, che qualifica come "equa" detta pena era di per sè sufficiente, secondo la pacifica giurisprudenza di questa Corte secondo cui nell'ipotesi in cui la determinazione della pena non si discosti eccessivamente dai minimi edittali, il giudice ottempera all'obbligo motivazionale di cui all'art. 125 c.p., comma 3, anche ove adoperi espressioni come "pena congrua", "pena equa", "congruo aumento", ovvero si richiami alla gravità del reato o alla personalità del reo (Sez. 3, n. 33773 del 29/05/2007 - dep. 03/09/2007, Ruggieri, Rv. 237402).

Deve, tuttavia, doversi tenere conto, in applicazione dell'art. 2, c.p. del "nuovo" trattamento sanzionatorio previsto dal D.Lgs. n. 81 del 2008, art. 219 indubbiamente più favorevole rispetto al previgente regime sanzionatorio, prevedendosi, per la violazione dell'art. 190 del medesimo decreto, l'irrogazione dell'ammenda da Euro 2.740,00 ad Euro 7.014,40 (importo così rivalutato, a decorrere dal 1 luglio 2013 e per le sanzioni irrogate per le violazioni commesse successivamente alla suddetta data, ai sensi dell'art. 306, comma 4-bis del presente provvedimento, come sostituito dal D.L. 28 giugno 2013, n. 76, art. 9, comma 2, convertito, con modificazioni, dalla L. 9 agosto 2013, n. 99). E', dunque, evidente che la sanzione pecuniaria assunta come pena base dal giudice di merito (Euro 6.000,00 di ammenda), alla stregua dell'attuale trattamento sanzionatorio, si attesta in misura prossima al massimo edittale oggi previsto per la violazione contestata (pari, come detto, ad Euro 7.014,40). Ne discende, dunque, come precisato da questa Corte, che l'irrogazione della pena in una misura prossima al massimo edittale rende necessaria una specifica e dettagliata motivazione in ordine alla quantità di pena irrogata, non essendo sufficienti a dare conto dell'impiego dei criteri di cui all'art. 133 c.p. le espressioni del tipo: "pena congrua", "pena equa" o "congruo aumento", come pure il richiamo alla gravità del reato o alla capacità a delinquere (Sez. 4, n. 27959 del 18/06/2013 - dep. 26/06/2013, Pasquali, Rv. 258356).

6. L'impugnata sentenza dovrebbe, quindi, essere annullata con rinvio al giudice di merito per il censurato vizio di motivazione in ordine all'adeguatezza della pena irrogata, alla luce dello ius superveniens costituito dal D.Lgs. n. 81 del 2008. Il reato, tuttavia, si è estinto per prescrizione, in assenza di sospensioni di termine massimo quinquennale, alla data del 13 novembre 2009.

L'intervenuta estinzione del reato, pertanto, preclude l'annullamento con rinvio dell'impugnata sentenza, atteso che -come affermato dalle Sezioni Unite di questa Corte- in presenza di una causa di estinzione

del reato, non sono rilevabili in sede di legittimità vizi di motivazione della sentenza impugnata in quanto il giudice del rinvio avrebbe comunque l'obbligo di procedere immediatamente alla declaratoria della causa estintiva (Sez. U, n. 35490 del 28/05/2009 - dep. 15/09/2009, Tettamanti, R.v. 244275).

7. Deve, conclusivamente, pronunciarsi l'annullamento senza rinvio dell'impugnata sentenza, per essere il reato estinto per prescrizione.

P.Q.M.

Annulla senza rinvio la impugnata sentenza perchè il reato è estinto per prescrizione.

Così deciso in Roma, il 30 settembre 2014.

Depositato in Cancelleria il 6 novembre 2014

2 - CORTE DI CASSAZIONE,

Sez. IV PENALE, 29 gennaio 2013, n.4489

Pres. Brusco – est. Dovere

Con questa sentenza la Suprema Corte si occupa di omicidio colposo per inosservanza delle misure antinfortunistiche imposte dalla legge in presenza di polvere di carbone, silice e silicati di calcio, soffermandosi, in particolare, sul tema dell'accertamento del nesso eziologico nel caso di malattie multifattoriali.

Già in passato la stessa sezione si era pronunciata sulla relazione tra adenocarcinoma di un lavoratore esposto all'inalazione di fibre di amianto e il tabagismo del medesimo, precisando che nel caso di patologie multifattoriali, cioè riconducibili ad una pluralità di possibili fattori causali, "il giudice non può ricercare il legame eziologico, necessario per la tipicità del fatto, sulla base di una nozione di concausalità meramente medica; infatti, in tal caso, le conoscenze scientifiche vanno ricondotte nell'alveo di categorie giuridiche ed in particolare di una causa condizionalistica necessaria". **Ciò implica che, per poter affermare la causalità della condotta omissiva ascritta all'imputato, rispetto alla patologia sofferta dal lavoratore, è necessario dimostrare che questa non ha avuto un'esclusiva origine nel diverso fattore astrattamente idoneo e che l'esposizione al fattore di rischio di matrice lavorativa è stata una condizione necessaria per l'insorgere o per una significativa accelerazione della patologia.**

Infatti il rapporto causale va riferito non solo al verificarsi dell'evento prodottosi, ma anche e soprattutto alla natura e ai tempi dell'offesa, sì che dovrà riconoscersi il rapporto eziologico non solo nei casi in cui sia provato che la condotta omessa avrebbe evitato il prodursi dell'evento verificatosi, ma anche nei casi in cui sia provato che l'evento si sarebbe verificato in tempi significativamente più lontani ovvero quando, alla condotta colposa omissiva o commissiva, sia ricollegabile un'accelerazione dei tempi di latenza di una malattia provocata da altra causa.

Ora, se in generale l'affermazione di una relazione causale tra esposizione al fattore di rischio e la malattia manifestasi richiede che

quella possa essere affermata con "un alto o elevato grado di credibilità razionale", secondo la nota formulazione della sentenza Franzese, nel caso di malattia multifattoriale quell'elevato grado non potrà mai dirsi raggiunto prima di e a prescindere da un'approfondita analisi di un quadro fattuale il più nutrito possibile di dati relativi all'entità dell'esposizione al rischio professionale, tanto in rapporto all'entità degli agenti fisici dispersi nell'area che in rapporto al tempo di esposizione, tenuto altresì conto dell'uso di eventuali dispositivi personali di protezione; dati che devono poi essere necessariamente correlati alle conoscenze scientifiche disponibili.

Sulla scorta di tale premessa, i giudici di legittimità ritengono che la sentenza impugnata sia affetta da vizio motivazionale perché da un verso carente e dall'altro intrinsecamente contraddittoria.

Carente, laddove al corretto richiamo dei principi giuridici che sovrintendono al thema decidendum non fa seguire l'analisi dei dati fattuali che consentirebbero di escludere che il forte tabagismo della vittima abbia avuto un'incidenza esclusiva anche solo nella riduzione dei tempi di latenza della malattia. Sicché il relativo giudizio negatorio risulta meramente assertivo.

La sentenza di primo grado, su tale specifico punto, dopo aver preso in esame il passo della perizia (idoneità del tabagismo a produrre anche da solo la malattia), aveva affermato che la letteratura scientifica è nel senso che tra fumo ed altra causa si determina un effetto sinergico che può aumentare anche di sessanta volte il rischio malattia. Ma anche in tal caso l'affermazione è rimasta astratta, priva di agganci a dati fattuali relativi allo specifico caso, in grado di sostenere un giudizio di elevata probabilità logica (e non di mera possibilità) dell'assunto rapporto sinergico.

La motivazione impugnata è altresì contraddittoria perché, pur asserendo che manca la prova circa l'incidenza specifica del tabagismo, assegna a quest'ultimo una efficienza concausale del 50% rispetto al carcinoma polmonare e all'evento morte. Risulta evidente che una simile valutazione è spoglia di qualsiasi riferimento ai dati fattuali e alle conoscenze scientifiche processualmente disponibili e tradisce la natura puramente congetturale del giudizio espresso dalla Corte territoriale.

Per tali motivi, la quarta sezione penale annulla con rinvio la sentenza impugnata alla Corte di Appello di Lecce.

MASSIMA

1. Il rapporto causale va riferito non solo al verificarsi dell'evento prodottosi, ma anche e soprattutto alla natura e ai tempi dell'offesa, sì che dovrà riconoscersi il rapporto eziologico non solo nei casi in cui sia provato che la condotta omessa avrebbe evitato il prodursi dell'evento verificatosi, ma anche nei casi in cui sia provato che l'evento si sarebbe verificato in tempi significativamente più lontani ovvero quando, alla condotta colposa omissiva o commissiva, sia ricollegabile un'accelerazione dei tempi di latenza di una malattia provocata da altra causa.
2. Nel caso di patologie multifattoriali, cioè riconducibili ad una pluralità di possibili fattori causali, il giudice non può ricercare il legame eziologico, necessario per la tipicità del fatto, sulla base di una nozione di

concausalità meramente medica; infatti, in tal caso, le conoscenze scientifiche vanno ricondotte nell'alveo di categorie giuridiche ed in particolare di una causa condizionalistica necessaria. Ciò implica che, per poter affermare la causalità della condotta omissiva ascritta all'imputato, rispetto alla patologia sofferta dal lavoratore, è necessario dimostrare che questa non ha avuto un'esclusiva origine nel diverso fattore astrattamente idoneo e che l'esposizione al fattore di rischio di matrice lavorativa è stata una condizione necessaria per l'insorgere o per una significativa accelerazione della patologia.

TESTO DELLA SENTENZA

Ritenuto in fatto

1. **M.N. veniva tratto a giudizio dinanzi al Tribunale di Taranto per rispondere del delitto di omicidio colposo commesso nella qualità di presidente della cooperativa T. e di legale rappresentante della cooperativa R. in danno del dipendente P.V. .**

All'imputato veniva ascritto di non aver sufficientemente informato il lavoratore sui rischi da esposizione a polveri contaminate da silice cristallina e inalazione di idrocarburi policiclici aromatici, derivanti dalle mansioni di addetto alle pulizie industriali prevalentemente nell'ambito dello stabilimento della I. di (...), sulla possibilità di contrarre malattie e sulle precauzioni da adottare per prevenirle; nonché di aver omesso di fornire al lavoratore idonei dispositivi di protezione individuale per eseguire il lavoro in presenza delle sostanze sopra indicate ed in particolare maschere respiratorie.

2. Il Tribunale di Taranto giudicava l'imputato colpevole del reato ascrittogli e, concesse le circostanze attenuanti generiche equivalenti alla contestata aggravante, lo condannava alla pena di anni uno di reclusione oltre al pagamento delle spese processuali. Condannava altresì il M. al risarcimento del danno in favore delle costituite parti civili, danno da liquidarsi in separata sede, nonché alla rifusione alle stesse delle spese di costituzione in giudizio, con previsione di una provvisoria.
3. La Corte di Appello di Lecce, sezione distaccata di Taranto, con sentenza del 31 gennaio 2011 riformava tale decisione unicamente nella parte relativa alla entità delle somme liquidate a titolo di provvisoria in favore delle costituite parti civili, confermandola nel resto.

3.1. Il giudice di seconde cure disattendeva il rilievo difensivo secondo il quale durante la gestione dell'azienda da parte dell'imputato il lavoratore era stato addetto in via esclusiva al settore della targhettatura sulle navi. La Corte distrettuale riteneva che dalla relazione del Servizio di prevenzione e sicurezza degli ambienti di lavoro dell'ASL TA/X risultava un'analisi dettagliata del curriculum lavorativo del lavoratore, dal quale emergeva che, sin dal 1967 e sino al 25 marzo 1999, egli era stato addetto nel settore delle pulizie industriali.

Ciò posto la Corte territoriale riteneva che la patologia sofferta dal P.

(carcinoma non a piccole cellule del polmone con metastasi surrenali) fosse stata certamente causata dal lungo periodo lavorativo svolto presso la cooperativa T., pari ad anni quindici e mesi tre, e presso la Cooperativa R., pari ad anni sei e mesi uno; anni durante i quali non erano state adottate le misure antinfortunistiche imposte dalla legge, nonostante si fosse in presenza di lavorazioni comportanti la formazione di polveri, come le pulizie industriali, in un ambiente fortemente inquinato da i.p.a., polvere di carbone, silice e silicati di calcio all'interno dello stabilimento I. di (...). Peraltro anche le lavorazioni cosiddette di targeatura delle navi, svolte presso il porto di Taranto ed in altri cantieri navali, avevano esposto il lavoratore al rischio specifico per quanto riguarda la patologia tumorale di cui era portatore il P. , perché si trattava tra l'altro di provvedere alla coibentazione delle navi con lana di vetro. La lana di vetro utilizzata per la coibentazione è stata classificata dalla d.m. 1/9/1998 del Ministero della salute come dannosa per la salute di coloro che entrano in contatto diretto e ripetuto con la medesima, quando contenga fibre di diametro inferiore a tre millesimi di millimetro. Gli studi scientifici hanno dimostrato una correlazione tra l'esposizione alla lana di vetro ed i tumori al polmone. Proprio la lunga esposizione a fattori di rischio specifici per il tumore polmonare, ad avviso della Corte di Appello, differenziava la posizione del P. rispetto agli altri abitanti della città di Taranto, soggetti al rischio cosiddetto ambientale, avendo egli una percentuale molto più elevata di possibilità di sviluppare un carcinoma polmonare.

La Corte distrettuale prendeva poi in considerazione quanto riferito dal teste R. , evidenziando però che lo stesso non svolgeva le medesime lavorazioni cui era addetto il P. ; ed altresì che le cosiddette mascherine bianche erano date ai dipendenti accompagnate solo da generiche raccomandazioni circa la necessità e le modalità del loro uso.

Il giudice del merito rilevava ancora che dall'accertamento processuale era emerso che il M. forniva, quali dotazioni di sicurezza per l'attività lavorativa svolta presso il porto mercantile, soltanto casco e guanti e non anche le mascherine antipolvere per la respirazione, nonostante i lavoratori fossero esposti al rischio di inalazione di agenti patogeni appunto in relazione all'attività di coibentazione ed altresì di sabbatura, parimenti bisognose di dispositivi di protezione individuale come l'autorespiratore con presa d'aria all'esterno, per il cui uso è peraltro necessaria la certificazione dell'attività di formazione ed addestramento prevista dal decreto legislativo 626/1994.

Conclusivamente, la Corte di Appello riteneva che da un canto fosse ravvisabile una posizione di garanzia in capo all'imputato; che questi fosse in colpa specifica per aver trasgredito le prescrizioni che imponevano la dotazione del lavoratore di dispositivi di protezione individuale e segnatamente le maschere con autorespiratore accompagnate da adeguata informazione ed addestramento (a tal riguardo la Corte di Appello faceva riferimento alla carenza di informazioni sui rischi lavorativi solo quale aggiuntiva trasgressione); infine riteneva la sussistenza del nesso causale tra le trasgressioni e

l'evento morte nonostante il tabagismo del lavoratore, ricordando che in applicazione dell'articolo 41 cod. pen. il nesso eziologico è interrotto soltanto dalla sopravvenienza di un fattore da solo sufficiente a produrre l'evento mentre esso persiste quando la condotta dell'imputato avrebbe anche solo cagionato un evento di intensità lesiva inferiore oppure in tempi significativamente più lontani ovvero la malattia, da altra causa provocata, non avrebbe avuto un'accelerazione dei tempi di latenza.

Pertanto il tabagismo non valeva ad escludere il nesso causale, per quanto dovesse ritenersi "una sicura concausa della patologia, che in assenza di prova circa l'incidenza specifica deve considerarsi concorrente al 50% nella causazione del carcinoma polmonare".

4. Propone ricorso per cassazione il M., a mezzo del difensore di fiducia avv. Eligio Curci.

4.1. Con un primo motivo si lamenta che la Corte di Appello non ha effettuato una verifica effettiva delle mansioni in concreto svolte dal lavoratore alla luce della dettagliata ricostruzione storica delle stesse operata attraverso deposizioni testimoniali. Si aggiunge che non è stata data risposta ai motivi di appello, laddove si dava dimostrazione dell'uso da parte del lavoratore dei guanti e delle mascherine dati in dotazione dall'imputato.

Si censura altresì il fatto che sia stata affermata la violazione dell'obbligo di informazione dei lavoratori sui rischi lavorativi, senza dire come essa abbia inciso nella produzione dell'evento.

4.2. Con un secondo motivo si lamenta che, a fronte dell'emersione di più possibili cause della patologia polmonare e quindi del decesso del P. , ovvero l'attività di lavoro, il tabagismo e l'esposizione all'inquinamento ambientale, e richiamando le dichiarazioni del perito d'ufficio dr. C. , secondo le quali non era possibile individuare la percentuale di rischio intrinseca ad ogni singola sostanza, nonché il grado di sinergismo con il quale tali sostanze ed il fumo di sigaretta hanno interagito, la Corte di Appello non ha motivato il proprio diverso giudizio e peraltro contraddittoriamente ha concluso che "in assenza di prova circa l'incidenza specifica deve considerarsi concorrente al 50% nella causazione del carcinoma polmonare", mentre il perito aveva attribuito al tabagismo una rilevanza causale autonoma. Del tutto omessa, poi, la motivazione sull'incidenza del fattore ambientale.

Considerato in diritto

5. Il ricorso è fondato, nei termini di seguito precisati.

- 5.1. Il rilievo per il quale il giudice di seconde cure non avrebbe effettuato una verifica effettiva delle mansioni in concreto svolte dal lavoratore, limitandosi a fare riferimento a quanto emergente dalla relazione del servizio di prevenzione e sicurezza degli ambienti di lavoro della ASL TA/X e non prendendo in esame la "dettagliata ricostruzione storica delle

stesse operata attraverso deposizioni testimoniali", è aspecifico, atteso che il ricorrente si limita a proporre una generica censura alla decisione impugnata, laddove essa prende in esame e motivatamente supera uno specifico motivo di appello. Il ricorso fa riferimento alla deposizione del teste Pastore, per il quale nel periodo in cui il lavoro era consistito nella targhettatura delle navi non vi era rischio di inalazione di polveri.

La Corte di Appello ha ricordato tale dichiarazione (cfr. pg. 4) ed ha ritenuto che essa ed il connesso motivo di gravame non fossero fondati, perché gli accertamenti condotti dall'organo tecnico hanno fatto emergere che il P. era stato addetto al settore delle pulizie industriali durante l'intero arco di tempo nel quale era stato alle dipendenze di M.N. , con esposizione dapprima alle polveri nocive presenti negli ambienti dell'I., quindi con esposizione alla lana di vetro e ad altre polveri, verificatesi anche nel periodo in cui le lavorazioni erano state svolte presso cantieri navali, perché esse consistevano nella coibentazione delle navi (cfr. pg. 5 e 6) e nella sabbiatura (cfr. pg. 7, con richiamo della testimonianza Galeadro).

Alla stessa stregua, risulta manifestamente infondata la critica mossa alla decisione impugnata per aver omesso di considerare le censure avanzate con i motivi di appello circa l'affermata omessa dotazione di dispositivi individuali di protezione, ovvero le mascherine antipolvere. Il rilievo, infatti, è stato puntualmente preso in esame dal giudice di secondo grado, il quale con motivazione non manifestamente illogica e congrua ai dati processuali (sul punto non vi è rilievo difensivo) ha ritenuto che il M. non avesse dotato il P. delle mascherine antipolvere obbligatorie per le lavorazioni cui era addetto e neppure fornito le informazioni necessarie ad un loro corretto utilizzo (cfr. pg. 7 ed 8). La Corte distrettuale ha affermato, citando il teste Pastore, che il M. forniva i propri dipendenti soltanto di guanti e di casco per l'attività svolta presso il porto mercantile, nonostante si attendesse alla coibentazione e all'attività di sabbiatura, attività quest'ultima per la quale è prescritta la fornitura di autorespiratore con presa d'aria all'esterno ed occorre certificare la formazione e l'addestramento dei lavoratori addetti, secondo le previsioni del d.lgs. n. 626/1994.

5.2. Il ricorso è tuttavia fondato laddove contesta il giudizio della Corte di Appello in merito alla non incidenza causale di concorrenti fattori di rischio e segnatamente il tabagismo (l'ipotesi di un'incidenza dell'inquinamento ambientale risulta invero meramente enunciata dal ricorrente; ciò non di meno la Corte distrettuale ha sviluppato una sintetica ma non censurabile motivazione sul punto).

Il rilievo introduce al tema dell'accertamento del nesso eziologico nel caso di malattie multifattoriali. L'argomento è stato affrontato da questa sezione in tempi recenti, allorché si è posto il dubbio in ordine alla relazione tra adenocarcinoma di un lavoratore esposto all'inalazione di fibre di amianto e il tabagismo del medesimo.

Si è quindi affermato che nel caso di patologie multifattoriali, cioè riconducibili ad una pluralità di possibili fattori causali, "il giudice non può ricercare il legame eziologico, necessario per la tipicità del fatto, sulla

base di una nozione di concausalità meramente medica; infatti, in tal caso, le conoscenze scientifiche vanno ricondotte nell'alveo di categorie giuridiche ed in particolare di una causa condizionalistica necessaria". Ciò implica che, per poter affermare la causalità della condotta omissiva ascritta all'imputato, rispetto alla patologia sofferta dal lavoratore, è necessario dimostrare che questa non ha avuto un'esclusiva origine nel diverso fattore astrattamente idoneo e che l'esposizione al fattore di rischio di matrice lavorativa è stata una condizione necessaria per l'insorgere o per una significativa accelerazione della patologia.

Infatti il rapporto causale va riferito non solo al verificarsi dell'evento prodottosi, ma anche e soprattutto alla natura e ai tempi dell'offesa, sì che dovrà riconoscersi il rapporto eziologico non solo nei casi in cui sia provato che la condotta omissiva avrebbe evitato il prodursi dell'evento verificatosi, ma anche nei casi in cui sia provato che l'evento si sarebbe verificato in tempi significativamente più lontani ovvero quando, alla condotta colposa omissiva o commissiva, sia ricollegabile un'accelerazione dei tempi di latenza di una malattia provocata da altra causa (Cass. Sez. 4, sent. n. 11197 del 21/12/2011, Chino e altri, Rv. 252153; Cass. Sez. 4, sent. n. 40924 del 02/10/2008, Catalano, Rv. 241335).

Ora, se in generale l'affermazione di una relazione causale tra esposizione al fattore di rischio e la malattia manifestasi richiede che quella possa essere affermata con "un alto o elevato grado di credibilità razionale", secondo la nota formulazione della sentenza Franzese, nel caso di malattia multifattoriale quell'elevato grado non potrà mai dirsi raggiunto prima di e a prescindere da un'approfondita analisi di un quadro fattuale il più nutrito possibile di dati relativi all'entità dell'esposizione al rischio professionale, tanto in rapporto all'entità degli agenti fisici dispersi nell'area che in rapporto al tempo di esposizione, tenuto altresì conto dell'uso di eventuali dispositivi personali di protezione; dati che devono poi essere necessariamente correlati alle conoscenze scientifiche disponibili.

Per tale profilo la decisione impugnata incorre effettivamente in un duplice vizio motivazionale, risultando da un verso carente e dall'altro intrinsecamente contraddittoria. Carente, laddove al corretto richiamo dei principi giuridici che sovrintendono al thema decidendum non fa seguire l'analisi dei dati fattuali che consentirebbero di escludere che il forte tabagismo del P. abbia avuto un'incidenza esclusiva anche solo nella riduzione dei tempi di latenza della malattia. Sicché il relativo giudizio negatorio risulta meramente assertivo.

La sentenza di primo grado, su tale specifico punto, dopo aver preso in esame il passo della perizia enfatizzato anche dal ricorrente (idoneità del tabagismo a produrre anche da solo la malattia), aveva affermato che la letteratura scientifica è nel senso che tra fumo ed altra causa si determina un effetto sinergico che può aumentare anche di sessanta volte il rischio malattia. Ma anche in tal caso l'affermazione è rimasta astratta, priva di agganci a dati fattuali relativi allo specifico caso, in grado di sostenere un giudizio di elevata probabilità logica (e non di mera possibilità) dell'assunto rapporto sinergico.

La motivazione impugnata è altresì contraddittoria perché, pur asserendo che manca la prova circa l'incidenza specifica del tabagismo, assegna a quest'ultimo una efficienza concausale del 50% rispetto al carcinoma polmonare e all'evento morte. Risulta evidente che una simile valutazione è spoglia di qualsiasi riferimento ai dati fattuali e alle conoscenze scientifiche processualmente disponibili e tradisce la natura puramente congetturale del giudizio espresso dalla Corte territoriale.

6. La sentenza impugnata va quindi annullata, con rinvio alla Corte di Appello di Lecce, alla quale va demandato anche il regolamento tra le parti delle spese del presente giudizio.

P.Q.M.

Annulla la sentenza impugnata con rinvio alla Corte di Appello di Lecce cui demanda anche il regolamento delle spese tra le parti del presente giudizio.

3 - CASSAZIONE PENALE,

Sez. IV, 17 gennaio 2008, n. 10811

Inalazione di gas tossici in ospedale

Infortunio all'interno di un presidio ospedaliero di un'infermiera per inalazione di gas tossici sviluppati da una macchina di radiologia - Assolti in primo grado il responsabile dell'ufficio tecnico della ASL e il dirigente amministrativo dell'ospedale e prosciolti in appello per prescrizione di reato, entrambi ricorrono in Cassazione.

La Corte afferma la validità della delega di funzioni ai due imputati.

Sentenza sul ricorso proposto da: P.G.; D.C.V.;
avverso Sentenza n. 458/2004 emessa in data 04.06.2004 (depositata in data 09.06.2004) dalla Corte di Appello dell'Aquila che, in riforma della sentenza del Tribunale di Vasto del 19.04.2002, appellata dal Procuratore della Repubblica, dichiarava non doversi procedere nei confronti degli imputati P.G. e D.C.V. in ordine al reato loro ascritto (ex art. 590 c.p., commi 1, 2 e u.c.) perché estinto per intervenuta prescrizione;

Visti gli atti, la sentenza impugnata e il ricorso.

Udita in pubblica udienza la relazione fatta dal Consigliere Dott. Koverech Oscar;

Udito il Pubblico Ministero in persona del Sostituto Procuratore Generale Dott. Fraticelli Mario, che ha concluso per il rigetto del ricorso.

FattoDiritto

Il Tribunale di Vasto, con sentenza del 14.03.2002 mandava assolti P.G. e D.C.V. dalla imputazione loro ascritta di avere, per colpa - nelle rispettive qualità, il primo di responsabile dell'Ufficio tecnico della direzione amministrativa della ULSS di (OMISSIS) ed il secondo, di dirigente del presidio ospedaliero stesso - causato lesioni personali alla dipendente L.R. per effetto di inalazione di gas tossici sviluppatisi nel reparto di radiologia

ove era collocata una macchina sviluppatrice (in (OMISSIS), in data (OMISSIS)).

Appellava il Procuratore della Repubblica, rilevando che, contrariamente a quanto ritenuto in sentenza, il direttore generale della ULSS (OMISSIS) aveva stabilito che ogni presidio ospedaliero dovesse avere autonomia economica finanziaria e libertà gestionale nei limiti di spesa assegnati, mentre la responsabilità veniva affidata ad un dirigente amministrativo per l'esercizio delle funzioni di coordinamento amministrativo;

Con altra delibera coeva, aveva posto a capo del servizio tecnico aziendale l'architetto P.G. ed al vertice del servizio amministrativo del presidio di Gissi, ove l'infortunio si è verificato, D.C.V..

Tali deleghe, al contrario di quanto ritenuto in sentenza, non erano formali perchè comprendenti anche il servizio di spesa, tanto è vero che il P. aveva richiesto, con lettera del 24.10.1995, la copia degli inventari e delle apparecchiature in carico presso i presidi ospedalieri e le strutture sanitarie di competenza.

A tale richiesta proprio il C. aveva risposto in senso negativo, sul presupposto che la manutenzione ordinaria e straordinaria, stante il disposto della richiamata delibera, sarebbe dovuta rientrare nell'ambito dell'ampia attività gestionale del presidio ospedaliero.

Aggiungeva ancora l'appellante che, con decorrenza 05.02.1996, era stata acquisita altra delibera del direttore generale, con la quale i compiti relativi agli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria delle apparecchiature elettromedicali e diagnostiche erano trasferiti lì alla competenza del dirigente amministrativo del presidio ospedaliero di appartenenza e, cioè, nello specifico, al Dott. C. relativamente agli ospedali di (OMISSIS) e (OMISSIS). Quest'ultimo aveva, infatti, richiesto al direttore generale l'emissione di un atto di stanziamento di somme per costituire una copertura finanziaria di tutti i successivi provvedimenti da adottarsi; richiesta accolta positivamente con delibera dirigenziale del 22.06.1996 n. 481 di stanziamento di lire 100 milioni a copertura finanziaria per le spese di competenza del dirigente amministrativo.

La Corte di Appello dell'Aquila, con sentenza emessa in data 04.06.2004, in riforma della sentenza di primo grado, dichiarava non doversi procedere nei confronti degli imputati per che il reato loro ascritto era estinto per prescrizione (maturata in data 09.05.2004).

Avverso la citata pronuncia ricorrevano per cassazione entrambi gli imputati. P.G. eccepiva, in buona sostanza, la manifesta illogicità e contraddittorietà della motivazione della Corte territoriale nel ritenere concretizzata la sua responsabilità nella causazione dell'evento, in quanto non rivestiva la qualità di "datore di lavoro" e come titolare del servizio tecnico, giusta Delib. 18 ottobre 1995, n. 2265, aveva l'incarico della manutenzione ordinaria e straordinaria delle apparecchiature elettromedicali, senza alcuna delega in materia di prevenzione infortuni, di esclusiva competenza del direttore generale.

Peraltro il suo incarico era rimasto puramente formale e provvisorio sino alla delibera dirigenziale in data 05.02.1996 con la quale i compiti relativi agli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria delle apparecchiature

elettromedicali e diagnostiche venivano trasferiti alla competenza del dirigente amministrativo del presidio ospedaliero di appartenenza.

Inoltre, una sia pure responsabilità per colpa generica non poteva essere attribuita al ricorrente, in presenza della figura del "datore di lavoro" nominato per i presidi in argomento dal direttore generale con delibera in data 04.07.1996 (n. 1712) nella persona del direttore sanitario Dott. P.E., figura di riferimento voluta dalla legge per la concreta attuazione delle disposizioni in materia di prevenzione infortuni.

Concludeva, pertanto, per l'annullamento della pronuncia e per l'assoluzione per non aver commesso il fatto.

D.C.V., a sostegno del proprio ricorso, denunciava, con il primo motivo, violazione ed erronea applicazione dell'art. 590 c.p., in relazione all'art. 40 c.p.p., e alla L. n. 626 del 1994, al D.P.R. n. 547 del 1955 e al D.P.R. n. 303 del 1956.

Ne consegue che, contrariamente a quanto affermato dalla Corte territoriale, il ricorrente non aveva attribuzioni in materia, nè poteva qualificarsi, ai sensi del D.Lgs. 19 settembre 1994, n. 626, quale datore di lavoro.

Quest'ultima qualifica, infatti, spettava al direttore sanitario all'uopo nominato con Delib. 04 luglio 1996, n. 1712.

Poichè il capo di imputazione fa espresso riferimento alla violazione di leggi antinfortunistiche e individua il soggetto attivo del reato come il datore di lavoro, non è al ricorrente che bisogna fare riferimento, poichè alla data del fatto, al datore di lavoro dell'ASL (OMISSIS) era il direttore sanitario.

Con il secondo motivo di doglianza il ricorrente lamenta la violazione dell'art. 606 c.p.p., per manifesta illogicità della motivazione.

Sostiene che erroneamente l'impugnata sentenza attribuisce all'imputato anche una condotta colposa generica per non avere segnalato al direttore generale gli inconvenienti relativi alla macchina sviluppatrice.

Il ricorrente svolgeva esclusivamente attività amministrativa di gestione del personale e certamente non dirigeva l'ufficio tecnico del presidio, diretto da un pari grado e non aveva, tra le sue competenze, quelle di ispezionare le condizioni delle apparecchiature mediche dell'ospedale.

Conclusivamente, non potendo ravvisarsi neppure una colpa generica nella mancata comunicazione alla direzione generale degli inconvenienti delle macchine sviluppatrici (vedi in atti la lettera firma del ricorrente con la quale si sollecitava la competente direzione all'acquisto di una macchina sviluppatrice di giorno da sostituire con quella non funzionante) il ricorrente richiedeva, in riforma dell'impugnata sentenza, l'assoluzione per non aver commesso il fatto.

Entrambi i ricorsi - che vanno trattati congiuntamente per la connessione logica degli argomenti, sia pure nel campo delle rispettive competenze amministrative e tecniche vanno rigettati perchè infondati, risolvendosi le doglianze stesse in censure sulla valutazione probatoria, offerta dal giudice del merito, delle risultanze processuali.

Come è pacifico nella giurisprudenza di questa Corte in tema di sindacato del vizio della motivazione, il compito del giudice di legittimità non è quello di sovrapporre la propria valutazione a quella compiuta dai giudici del merito in ordine all'affidabilità delle fonti di prova, bensì di stabilire se questi ultimi abbiano esaminato tutti gli elementi a loro

disposizione, se abbiano fornito una corretta interpretazione di essi, dando esaustiva e convincente risposta alle deduzioni delle parti e se abbiano esattamente applicato le regole della logica nello sviluppo delle argomentazioni che hanno giustificato la scelta di determinate conclusioni a preferenza di altre (Cass. SS.UU. 13.12.1995, Clartia; SS.UU. 30.04.1997 Dessimone; Cass. 06.05.2003 Cuscillo; 05.12.2002, Schiavone).

Nessun vizio di carenza di motivazione, ovvero di illogicità e contraddittorietà della stessa, è lecito riscontrare nell'impugnata sentenza nella quale la Corte di merito ha dato adeguatamente conto, attraverso l'iter argomentativo seguito, delle ragioni che la hanno condotta ad emettere il provvedimento.

Orbene, dalla documentazione acquisita appare chiaro ed immune da vizi logici che gli imputati fossero destinatari di una delega che li nominava: il dottor D.C., nella qualità di dirigente amministrativo, responsabile della manutenzione ordinaria e straordinaria delle apparecchiature elettromedicali e diagnostiche del presidio ospedaliero di competenza; il dottor P., responsabile del servizio tecnico di tutta l'azienda.

Inoltre vengono specificate le ragioni della responsabilità omissiva attribuita al dottor D.C., così come quella facente carico al P. che avrebbe dovuto provvedere di sua iniziativa ad effettuare una ricognizione generale di tutti i macchinari al fine di verificarne la funzionalità ed efficienza.

Avrebbe così scoperto, autonomamente, che una delle sviluppatrici andava sotto sforzo per l'eccessivo uso determinato dalla rottura della seconda e si sarebbe reso conto, nella sua specifica qualità tecnica, che i locali in cui le macchine erano posizionate apparivano inadeguati allo scopo.

Nè può valere l'espedito difensivo che la delega attribuita dal direttore generale fosse soltanto formale, come correttamente rilevato dal giudice del merito.

Vanno, conclusivamente, rigettati i proposti ricorsi con ogni conseguenziale pronuncia in ordine alle spese del grado.

P.Q.M.

Rigetta i ricorsi e condanna i ricorrenti in solido al pagamento delle spese processuali.

Così deciso in Roma, il 17 gennaio 2008.

Depositato in Cancelleria il 11 marzo 2008

4 - CASSAZIONE CIVILE,

12 ottobre 2012, n. 17438 –

Usò di telefoni nel corso dell'attività lavorativa e patologia tumorale

Fatto

Con sentenza del 10 - 22.12.2009 la Corte d'appello di Brescia, in riforma della pronuncia di prime cure, condannò l'Inail a corrispondere a M. I. la

rendita per malattia professionale prevista per l'invalidità all'80%.

Il M. aveva agito in giudizio deducendo che, in conseguenza dell'uso lavorativo protratto, per dodici anni e per 5-6 ore al giorno, di telefoni cordless e cellulari all'orecchio sinistro aveva contratto una grave patologia tumorale; le prove acquisite e le indagini medico legali avevano permesso di accertare, nel corso del giudizio, la sussistenza dei presupposti fattuali dedotti, in ordine sia all'uso nei termini indicati dei telefoni nel corso dell'attività lavorativa, sia all'effettiva insorgenza di un "neurinoma del Ganglio di Gasser" (tumore che colpisce i nervi cranici, in particolare il nervo acustico e, più raramente, come nel caso di specie, il nervo cranico trigemino), con esiti assolutamente severi nonostante le terapie, anche di natura chirurgica, praticate; sulla ricorrenza di tali elementi fattuali, come evidenziato nella sentenza impugnata, non erano state svolte contestazioni in sede di appello, incentrandosi la questione devoluta al Giudice del gravame sul nesso causale tra l'uso dei telefoni e l'insorgenza della patologia.

La Corte territoriale, rinnovata la consulenza medico legale, ritenne di dover seguire le conclusioni a cui era pervenuto il CTU nominato in grado d'appello, osservando in particolare quanto segue:

- i telefoni mobili (cordless) e i telefoni cellulari funzionano attraverso onde elettromagnetiche e, secondo il CTU, "In letteratura gli studi sui tumori cerebrali per quanto riguarda il neurinoma considerano il tumore con localizzazione al nervo acustico che è il più frequente. Trattandosi del medesimo istotipo è del tutto logico assimilare i dati al neurinoma del trigemino"; in particolare era stato osservato che i due neurinomi appartengono al medesimo distretto corporeo, in quanto entrambi i nervi interessati si trovano nell'angolo ponto-cerebellare, che è una porzione ben definita e ristretta dello spazio endocranico, certamente compresa nel campo magnetico che si genera dall'utilizzo dei telefoni cellulari e cordless;
- nella CTU erano stati riassunti con una tabella alcuni studi effettuati dal 2005 al 2009 ed in tre, effettuati dall'Hardell group, era stato evidenziato un aumento significativo del rischio relativo di neurinoma (intendendosi per rischio relativo la misura di associazione fra l'esposizione ad un particolare fattore di rischio e l'insorgenza di una definita malattia, calcolata come il rapporto fra i tassi di incidenza negli esposti [numeratore] e nei non esposti [denominatore]);
- un lavoro del 2009 del medesimo gruppo aveva considerato anche altri elementi quali età dell'esposizione, l'ipsilateralità e il tempo di esposizione, indicando, per quanto riguarda il neurinoma dell'acustico, un Odd ratio per l'uso dei cordless di 1,5 e per il telefono cellulare di 1,7; considerando l'uso maggiore di 10 anni, gli Odd ratio erano rispettivamente di 1,3 e di 1,9, intendendosi per Odd ratio il rapporto tra la frequenza con la quale un evento si verifica in un gruppo di pazienti e la frequenza con la quale lo stesso evento si verifica in un gruppo di pazienti di controllo, onde se il valore dell'Odd ratio è superiore a 1 significa che la probabilità che si verifichi l'evento considerato (per esempio una malattia) in un gruppo (per esempio tra gli esposti) è superiore rispetto a quella di un altro gruppo (per esempio tra i non esposti), mentre significato opposto ha un valore inferiore a 1;

- una recente review della The International Commission on Non- Ionizing Radiation Protection aveva evidenziato i limiti degli studi epidemiologici fino ad allora attuati, concludendo che, allo stato attuale, non vi era una convincente evidenza del ruolo delle radiofrequenze nella genesi dei tumori, ma aggiungendo che gli studi non ne avevano escluso l'associazione;
- **un'ulteriore autorevole review (Kundi nel 2009) aveva confermato i dubbi che gli studi epidemiologici inducono per quanto riguarda il tempo di esposizione e concluso per un rischio individuale basso, ma presente; l'esposizione poteva incidere sulla storia naturale della neoplasia in vari modi: interagendo nella fase iniziale di induzione, intervenendo sul tempo di sviluppo dei tumori a lenta crescita, come i neurinomi, accelerandola ed evitando la possibile naturale involuzione;**
- **l'analisi della letteratura non portava quindi ad un giudizio esaustivo, ma, con tutti i limiti insiti nella tipologia degli studi, un rischio aggiuntivo per i tumori cerebrali, ed in particolare per il neurinoma, era documentato dopo un'esposizione per più di 10 anni a radiofrequenze emesse da telefoni portatili e cellulari;**
- tale tempo di esposizione era un elemento valutativo molto rilevante, poiché, nello studio del 2006, l'esposizione per più di 10 anni comportava un rischio relativo calcolato di 2,9 sicuramente significativo;
- si trattava quindi di una situazione "individuale" che gli esperti riconducevano al "modello probabilistico-induttivo" ed alla "causalità debole", avente comunque valenza in sede previdenziale;
- doveva dunque riconoscersi, secondo il CTU, un ruolo almeno concausale delle radiofrequenze nella genesi della neoplasia subita dall'assicurato, configurante probabilità qualificata:
- **la censura dell'Inail relativa agli studi utilizzati dal CTU non coglieva nel segno, poiché lo studio del 2000 dell'OMS, che aveva escluso effetti negativi per la salute, si era basato su dati ancor più risalenti, non tenendo quindi conto dell'uso più recente, ben più massiccio e diffuso, di tali apparecchi e del fatto che si tratta di tumori a lenta insorgenza, risultando quindi più attendibili gli studi svolti nel 2009;**
- inoltre, come osservato dal CT di parte M., gli studi del 2009 non erano stati condotti su un basso numero di casi, ma, al contrario, sul numero totale dei casi (679) che si erano verificati in un anno in Italia; inoltre, a differenza dello studio della IARC, co-finanziato dalla ditte produttrici di telefoni cellulari, gli studi citati dal CTU erano indipendenti;
- ancora, secondo quanto osservato dal CT di parte M., confrontando il dato di rischio individuale calcolato dal CTU (2,9) con quello rilevato per il fattore di rischio, universalmente riconosciuto, dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti, doveva considerarsi come per i sopravvissuti alle esplosioni atomiche giapponesi di Hiroshima e Nagasaki fosse stato accertato un rischio relativo di tipo oncologico di 1,39 per "tutti i tumori" con un minimo di 1,22 per i tumori di "utero e cervice" ed un massimo di 4,92 per la "leucemia", il che stava a significare che il rischio oncogeno medio delle radiazioni ionizzanti era inferiore a quello che si aveva per l'esposizione alle radio frequenze in riferimento ai neurinomi endocranici, ciò che rendeva ancora più evidente la reale portata di quanto affermato dal

CTU;

- secondo l'insegnamento della giurisprudenza di legittimità, nel caso di malattia professionale non tabellata, come anche in quello di malattia ad eziologia multifattoriale, la prova della causa di lavoro, che grava sul lavoratore, deve essere valutata in termini di ragionevole certezza, nel senso che, esclusa la rilevanza della mera possibilità dell'origine professionale, questa può essere invece ravvisata in presenza di un rilevante grado di probabilità; e, a tale riguardo, il giudice deve non solo consentire all'assicurato di esperire i mezzi di prova ammissibili e ritualmente dedotti, ma deve altresì valutare le conclusioni probabilistiche del consulente tecnico in tema di nesso causale, considerando che la natura professionale della malattia può essere desunta con elevato grado di probabilità dalla tipologia delle lavorazioni svolte, dalla natura dei macchinari presenti nell'ambiente di lavoro, dalla durata della prestazione lavorativa e dall'assenza di altri fattori extralavorativi, alternativi o concorrenti che possano costituire causa della malattia;
- doveva quindi ritenersi la sussistenza del requisito di elevata probabilità che integra il nesso causale richiesto dalla normativa. Avverso la suddetta sentenza della Corte territoriale rinati ha proposto ricorso fondato su due motivi e illustrato con memoria L'intimato M. I. ha resistito con controricorso, illustrato con memoria.

Diritto

1. Con il primo motivo l'Istituto ricorrente denuncia violazione dell'art. 3 dpr n. 1124/65, rilevando che, secondo i principi di diritto elaborati in materia dalla giurisprudenza di legittimità, la corretta applicazione della norma suddetta richiede, in particolare, l'accertamento sulla base di dati epidemiologici e di letteratura ritenuti affidabili dalla comunità scientifica, che l'agente dedotto in giudizio sia dotato di efficienza patogenetica, quanto meno probabile, per la specifica malattia allegata e diagnosticata; la suddetta relazione causale non poteva dunque essere suffragata "dalla personale valutazione dell'ausiliario del giudice, fondata sulla preferenza per taluni dati epidemiologici rispetto ad altri, ma deve essere supportata da un giudizio di affidabilità dei dati stessi espresso dalla comunità scientifica"; nel caso di specie il CTU si era soffermato esclusivamente sui risultati del gruppo Hardell, in contrasto con quelli della comunità scientifica; inoltre il CTU aveva del tutto arbitrariamente utilizzato la contabilità tra esposizioni a radiofrequenze e neurinoma del nervo acustico, ipotizzata dal gruppo Hardeil, per affermare la relazione causale, addirittura con giudizio di probabilità qualificata, tra tali radiofrequenze e il neurinoma del trigemino; doveva al riguardo rilevarsi che la Commissione scientifica per l'elaborazione e la revisione periodica delle malattie di cui è obbligatoria la segnalazione ai sensi dell'art. 139 dpr n. 1124/65, in occasione dell'aggiornamento dell'elenco approvato con decreto ministeriale 11.12.2009, non aveva ritenuto di dover includere i tumori dei nervi cranici, indotti da esposizione alle radiofrequenze, tra le malattie di possibile origine professionale.

1.2 Secondo giurisprudenza Coarnee, da sdoimalaattia professio ntaalbee ll a b am a n c h i e n q u e l k b i m a l a t t i c h e z i o n g u i l a t i f a t t l o p r i a m e , l l a a u d i l a v o c l o g r a v m i l a v o r a d t o e e s , s e r e v i a l e u r t a d a i n a g i o n e o n t e n z e z l a , s e n s o e s l e d , h a r a i l e v a n d l a n e r p o s s i b i l i t a t i l l ' t o a r i g i n e p r o f e s s i q u a n a p t u n d e s s d i m e v e r c a e v v i s i p r a e s e d i z a u n r i l e v g n a d d i p r o b a b i l i t a t i a t r a i ; g u a d i g i a d i c e d e v e n o n s o l o c o n s e n t i l e a s s d i e a p a i n e z i q u i r o v a m m i s s i b i l i e r i t u a l m e e n d o e t n i a , d e v a l t r e v a l l u t h e c c o n c l u s i o n i p r o b a b i l d e l i o h e u l t e n t n i e t o e m a l i n e s c o u s a l e , f a c e r d i o c o n d o g n i i n i z i a t i v a o f f i d e a d a c q u i s i r e u l t e r i o r i i n t r e m a z i a d l i c e n t i t a l l ' e s p o s i z i o n e d e l l a v o r a a t f o r t e t d i r i s c h d a n c k o n s i d e r h e n d a t u r a p r o f e s s d o h a l m a p u e t i s e i e s u n t a l e v g a t o d d i p r o b a b d l i t t p o l o g i a l d e b e r a z v o h i t a e l , i a n d a e t i u r a m a c c h i n a r i n e r d e s ' e a m f i l i b a v e r d o , l l a u r a d a l l a p r e s t a z i o n e k a l v o d d i t i v i a e l n t f i a t t o r t i r a l a v o r a t i v i , a l t e r n o a c t i v n i c o r c h p t o , s a n o t i t a a u d a l l a m a l a t t i a (c f e x p l u r i f i a s , s n n . , 6 4 3 4 / 1 9 9 4 ; 5 3 5 2 / 2 0 0 2 ; 1 1 1 2 8 / 2 0 0 4 ; 1 5 0 8 0 / 2 0 0 9) .

La sentenmpugnatafat applicadiobnaeli principi, ravvisamblasaelconsideraiaffiamie ntsponetlo stordidotes, ussisteezquidiellevptababeheta inteigreasousale.

Nonèquimrdhivi siadbeinluen viazidooi ola zidmegghes feda n f a s t u t i n p r e t e s m o n e a h u t a (z i d a e p a r C T e U d e l e d e l l ' C o r t t e e r r i t o r d e a l l e a) a f f i d e b i l i d i p a t e s i n c o n s i d e r a k i f o m e d i s u f f r a g a t a r e e q u i e j p e o r t a n t o , s o s t a o z i a m e a v i m i d i m o t i v a z i o n e f f e t t e d o t t o a l s e c o m o d i v d i r i c o) r . s o

Il motivo all'esame va pertanto disatteso.

2. Con il secondo motivo l'Istituto ricorrente denuncia appunto vizio di motivazione, assumendo che:
 - il CTU di secondo grado, dopo avere evidenziato che la review della The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection aveva concluso che, allo stato attuale, non vi era una convincente evidenza del ruolo delle radiofrequenze nella genesi dei tumori, pur non escludendosene l'associazione, senza consequenzialità logica e senza motivazione aveva tratto la conclusione della probabilità qualificata di un ruolo almeno concausale delle radiofrequenze nella genesi della neoplasia per cui è causa;
 - doveva ritenersi priva di qualsivoglia fondamento scientifico la ritenuta assimilabilità, sul piano eziopatogenetico, del neurinoma del nervo acustico e di quello del trigemino, essendo "nozione comune" della scienza medica che tumori dello stesso istotipo, ma con localizzazione diversa, anche se nell'ambito dello stesso distretto anatomico, riconoscono cause diverse e che qualsiasi potenziale agente cancerogeno che venga in contatto con il corpo umano modifica la sua

- azione a seconda dei tessuti che attraversa o con cui viene in contatto; e, in effetti, il nervo acustico e il nervo trigemino, in particolare il ganglio di Gasser, hanno una diversa collocazione nella teca cranica e diverse sono le strutture anatomiche che li separano dall'esterno e fra loro;
- la Corte territoriale non aveva risposto alle osservazioni svolte dall'Istituto, anche con riferimento alla circostanza che era "in corso" uno studio epidemiologico internazionale "interphone", coordinato dalla IARC e che l'OMS, in base al principio di precauzione, aveva suggerito "una politica di gestione del rischio che viene applicata in una situazione di "incertezza scientifica";
 - doveva ritenersi inconferente sul piano scientifico l'affermazione della Corte territoriale circa l'attendibilità, perché indipendente, dello studio del gruppo Hardell, a fronte del cofinanziamento della ricerca "interphone" da parte dei produttori di telefoni cellulari, trascurando che tale ricerca è finanziata dalla Unione Europea e diretta e coordinata dalla IARC (Agenzia internazionale ricerca sul cancro dell'OMS);
 - neppure la Corte territoriale aveva ritenuto di chiamare il CTU a chiarimenti a fronte delle ricordate osservazioni critiche.

2.1 La giurisprudenza di legittimità ha reiteratamente affermato che nei giudizi in cui sia stata esperita CTU di tipo medico-legale, nei caso in cui il giudice del merito si basi sulle conclusioni dell'ausiliario giudiziario, affinché i lamentati errori e lacune della consulenza tecnica determinino un vizio di motivazione della sentenza denunciabile in cassazione, è necessario che i relativi vizi logico - formali si concretino in una palese devianza dalle nozioni della scienza medica o si sostanzino in affermazioni illogiche o scientificamente errate, con il relativo onere, a carico della parte interessata, di indicare le relative fonti, senza potersi la stessa limitare a mere considerazioni sulle prospettazioni operate dalla controparte, che si traducono in una inammissibile critica del convincimento del giudice di merito che si sia fondato, per l'appunto, sulla consulenza tecnica (cfr, ex plurimis, Cass., nn. 16392/2004; 17324/2005; 7049/2007; 18906/2007).

Nel caso all'esame l'Istituto ricorrente, nel contestare la ritenuta assimilabilità, sul piano eziopatogenetico, del neurinoma del nervo acustico e di quello del trigemino, non specifica - rifugiandosi nel concetto di "nozione comune" - le fonti scientifiche, ritualmente dedotte ed acquisite al giudizio, in base alle quali avrebbero dovuto ritenersi scientificamente errate le affermazioni rese al riguardo dal CTU e seguite dalla sentenza impugnata, finendo per richiedere al riguardo a questa Corte una valutazione di merito inammissibile in sede di legittimità.

Neppure è dato rilevare il preteso e denunciato vizio di mancanza di consequenzialità logica e di motivazione in ordine alle conclusioni della probabilità qualificata di un ruolo almeno concausale delle radiofrequenze nella genesi della neoplasia per cui è causa, posto che tale giudizio, come diffusamente esposto nello storico di lite, non discende dalla mera indicazione delle conclusioni (evidentemente

difformi) a cui era pervenuta la ricordata review della The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ma, piuttosto, dai riscontri di altri studi a carattere epidemiologico svolti al riguardo.

Inoltre, e significativamente, la sentenza impugnata, seguendo le osservazioni del CTU, ha ritenuto di dover ritenere di particolare rilievo quegli studi che avevano preso in considerazione anche altri elementi, quali l'età dell'esposizione, l'ipsilateralità e il tempo di esposizione, atteso che, nella specie, doveva valutarsi la sussistenza del nesso causale in relazione ad una situazione fattuale del tutto particolare, caratterizzata da un'esposizione alle radiofrequenze per un lasso temporale continuativo molto lungo (circa 12 anni), per una media giornaliera di 5 - 6 ore e concentrata principalmente sull'orecchio sinistro dell'assicurato (che, com'è di piana evidenza, concretizza una situazione affatto diversa da un normale uso non professionale del telefono cellulare).

L'ulteriore rilievo circa la maggiore attendibilità proprio di tali studi, stante la loro posizione di indipendenza, ossia per non essere stati cofinanziati, a differenza di altri, anche dalle stesse ditte produttrici di cellulari, costituisce ulteriore e non illogico fondamento delle conclusioni accolte.

Né è stato dedotto - e tanto meno, dimostrato - che le indagini epidemiologiche le cui conclusioni sono state prese in particolare considerazione provengano da gruppi di lavoro privi di serietà ed autorevolezza e, come tali, sostanzialmente estranei alla comunità scientifica.

L'asserita prevalenza che, secondo il ricorrente, dovrebbe essere attribuita alle conclusioni di altri gruppi di ricerca (le cui indagini, peraltro, secondo quanto dedotto, almeno all'epoca del giudizio di merito erano ancora "in corso"), si risolvono anch'essi nella richiesta di un riesame del merito, non consentito in sede di legittimità. Avendo inoltre la Corte territoriale riscontrato nelle considerazioni già svolte dal CTU e dal CT di parte M. elementi ritenuti sufficienti a confutare le osservazioni critiche dell'Istituto, non sussisteva la necessità di investire ulteriormente il CTU di una richiesta a chiarimenti.

Anche il secondo motivo di ricorso va quindi disatteso.

3. In definitiva il ricorso va rigettato.

L'esito fra loro difforme dei giudizi di merito e la novità, sotto il profilo della peculiarità fattuale, della vicenda dedotta in causa, consigliano la compensazione delle spese.

P.Q.M.

Rigetta il ricorso; spese compensate.



Riassumendo...



I FATTORI DI RISCHIO FISICI NEI LUOGHI DI LAVORO

**Omar Nicolini⁽¹⁾, Laura Argenti⁽²⁾, Rosaria Falsaperla⁽³⁾, Pietro Nataletti⁽³⁾,
Alessandro Polichetti⁽⁴⁾, Paolo Zanichelli⁽⁵⁾**

¹: Azienda USL di Modena

²: INAIL – Bologna

³: INAIL – Monte Porzio Catone (Roma)

⁴: Istituto Superiore di Sanità (Roma)

⁵: ARPA – Emilia Romagna (Reggio Emilia)

1 - GENERALITÀ

Per rischio s'intende in generale la combinazione della probabilità di accadimento di un effetto indesiderato con la gravità di quest'ultimo. In ambito igienistico, l'effetto indesiderato consiste in un danno alla salute che può essere dovuto a uno o più fattori potenzialmente nocivi.

Tra i diversi fattori di rischio negli ambienti di lavoro, tra i quali si annoverano anche gli agenti chimici e biologici nonché i rischi infortunistici, quelli fisici hanno una particolare rilevanza (vedi **Tabella 1**).

La definizione più consolidata dei rischi fisici è quella che si sofferma sull'interazione con gli organismi, che avviene prevalentemente per ingresso di energia più che di materia.

Tabella 1: lavoratori italiani soggetti alla sorveglianza sanitaria per gli Agenti Fisici nel 2013 secondo i dati trasmessi dai medici competenti nel 2014 con l'Allegato III-B del DLgs.81/2008. Dati ancora soggetti ai limiti di una procedura avviata da poco tempo e ancora in fase di perfezionamento.

Agente Fisico	n. lavoratori soggetti alla sorveglianza sanitaria
Rumore	2.047.909
Vibrazioni mano-braccio (HAV)	779.090
Vibrazioni corpo intero (WBV)	667.260
Microclima ambienti severi	665.165
Radiazioni ottiche artificiali (ROA)	119.561
Radiazioni UV naturali	142.193
Ultrasuoni	6.748
Infrasuoni	4.044
Atmosfere iperbariche	2.892

2 – DEFINIZIONI

Tradizionalmente i rischi fisici vengono suddivisi in rischi da onde meccaniche e rischi da radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, ai quali si aggiungono il microclima e le atmosfere iperbariche.

Una ricognizione più analitica permette di distinguere all'interno delle onde meccaniche (onde elastiche generate da un movimento oscillatorio di un corpo rispetto alla sua posizione di equilibrio):

- le **vibrazioni**, che comportano l'ingresso nel corpo umano di energia meccanica mediante una superficie di continuità (frequenze da 0,1 a 400 Hz per le esposizioni al corpo intero e da 6,3 a 1.250 Hz per le esposizioni al sistema mano-braccio);
- i **rumori**, che sono onde acustiche, cioè oscillazioni trasmesse in un mezzo (normalmente in aria), a frequenze tali da eccitare l'apparato uditivo (da 20 Hz a 20 kHz), e pertanto classificabili come suoni: il termine "rumore" è generalmente associato ai suoni non desiderati, spesso sgradevoli o fastidiosi;
- gli **ultrasuoni**, onde acustiche a frequenze maggiori di 20 kHz, e pertanto non udibili;
- gli **infrasuoni**, onde acustiche anch'esse non udibili, ma con frequenze minori di 20 Hz.

Le radiazioni si suddividono in:

- **radiazioni ionizzanti**, cioè capaci di produrre, nell'interazione con la materia, il fenomeno della ionizzazione. Queste possono essere di natura corpuscolare (particelle alfa, beta, neutroni, ecc.) o elettromagnetica (raggi gamma e raggi X, i cui fotoni, di lunghezza d'onda (λ) inferiore a 100 nm, hanno energia superiore a 12 eV);
- **radiazioni ottiche**, di natura elettromagnetica, che si suddividono in radiazioni **ultraviolette** quando la lunghezza d'onda è compresa tra 100 e 400 nm¹; **visibili** (o luce), capaci di stimolare il nostro organo della visione (λ tra 380 e 780 nm) e **infrarosse** per λ comprese tra 780 nm e 1 mm. Le radiazioni ottiche possono essere di tipo "**non coerente**" o "**coerenti**": queste ultime sono anche e meglio conosciute con l'acronimo di sorgenti **laser** (amplificazione di luce per emissione stimolata di radiazione);
- "**campi elettromagnetici**", da indicare più esattamente come campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici di frequenza (f) non superiore a 300 GHz², che si possono schematicamente classificare come microonde (MW, frequenze: 300 GHz - 300 MHz), campi elettromagnetici a radiofrequenza (RF, frequenze: 100 kHz - 300 MHz), campi elettrici e magnetici a basse frequenze (LF) e frequenze estremamente basse (ELF), con $f \leq 100$ kHz, e campi elettrici e magnetici statici.

¹ Le lunghezze d'onda della banda UV-A comprese tra 380 e 400 nm sono in grado di indurre stimolazione retinica, pertanto appartengono anche alla banda del visibile.

² Si noti che si può parlare di campi elettromagnetici in senso proprio solo per frequenze elevate, indicativamente superiori a 100 kHz; alle frequenze inferiori i campi elettrico e magnetico sono disaccoppiati tra loro e devono essere considerati come agenti fisici indipendenti.

Infine si richiamano il microclima e le atmosfere iperbariche.

Il **microclima** quell'insieme di parametri ambientali (temperatura, umidità, velocità dell'aria, temperatura radiante) e soggettivi (metabolismo, isolamento del vestiario) che caratterizzano l'interazione tra l'ambiente termico e il corpo umano, mentre le **atmosfere iperbariche** si possono identificarsi come quelle condizioni che espongono i soggetti a una pressione parziale del gas inerte nella miscela respirata superiore a quella atmosferica.

3 - APPLICAZIONI

Quasi tutti questi fattori di rischio sono normalmente presenti negli ambienti di vita e di lavoro, ma diventano pericolosi se si eccedono determinati livelli. Resta il fatto che esistono fattori di rischio connessi all'esecuzione di certi tipi di attività ed altri ancora (ad esempio il rumore o le radiazioni ottiche connesse ai processi di saldatura) che possono essere considerati sottoprodotti delle attività umane o, come nel caso della radiazione solare e del microclima degli ambienti esterni, condizioni di riferimento nelle quali esercitare il proprio lavoro.

Esempi di campi specifici di applicazione sono la vibratura, la vagliatura e la distaffatura per le vibrazioni; le saldature di plastiche, le puliture di pezzi metallici o le omogeneizzazioni per gli ultrasuoni; la metrologia, l'olografia, il taglio e la saldatura per i laser (fasci di radiazioni ottiche con peculiari caratteristiche di monocromaticità, coerenza, unidirezionalità e brillantezza); le radiografie per scopi sanitari, industriali, nella ricerca scientifica, ecc. per le radiazioni ionizzanti. L'illuminazione artificiale è una vera e propria tecnologia, le radiazioni infrarosse sono utilizzate per essiccamenti e catalisi, le MW per riscaldamento industriale e civile (riscaldatori a perdite dielettriche e a induzione magnetica), le RF per radio-telecomunicazioni, ecc.

Esposizioni a microclimi freddi si riscontano frequentemente nell'industria alimentare ("ciclo del freddo"), mentre gli ambienti severi caldi sono in prossimità di processi di cottura o fusione (ceramica, metallurgia ...).

Poiché la medicina (diagnostica e terapia) utilizza pressoché tutti i campi di radiazioni elettromagnetiche e delle onde meccaniche, è sempre presente un'esposizione per gli operatori e i pazienti.

4 - ORGANI BERSAGLIO

L'interazione tra gli agenti fisici e la materia vivente è fondamentalmente un assorbimento di energia cui seguono processi di rilassamento che si concludono sempre (anche se non sempre in via diretta) con una conversione dell'energia assorbita in energia termica.

In corrispondenza delle percezioni sensoriali (funzione uditiva e visiva), poiché l'energia in ingresso viene indirizzata in strutture specializzate, gli organi-bersaglio (in situazioni estreme) sono proprio la coclea e la retina, vale a dire quelle strutture

deputate a trasformare l'energia incidente in impulsi fisiologici.

Gli assorbimenti non selettivi agiscono, invece, prevalentemente attraverso il sovrariscaldamento dei tessuti con una localizzazione del rischio che è funzione della capacità di penetrazione dell'energia. In questi casi si potrà verificare una compromissione dell'organo se si eccedono i limiti del sistema omeotermico.

Per quanto riguarda le radiazioni ionizzanti, la capacità di ionizzare, e quindi di rompere i legami molecolari, genera danni alle strutture cellulari in via diretta o indirettamente tramite la formazione di specie chimiche particolarmente reattive (radicali liberi). Il bersaglio più sensibile è rappresentato dagli acidi nucleici che contengono l'informazione genetica con danni per la salute dell'uomo che possono manifestarsi nell'individuo irradiato (danni somatici) o nella progenie (danni genetici).

Gli organi bersaglio delle radiazioni ottiche, il cui assorbimento nel corpo umano è superficiale, sono le strutture oculari (retina, cornea, cristallino) e la cute.

Le aree interessate all'assorbimento delle RF e MW si estendono e possono giungere in profondità per la capacità di penetrazione delle radiazioni, tenendo a ogni modo conto che con l'aumentare della frequenza la capacità di penetrazione tende a diminuire, e al di sopra di pochi GHz l'interazione è limitata al solo strato superficiale della cute.

A frequenze superiori ai 100 kHz, l'assorbimento di energia che viene convertita in calore può causare ustioni e il colpo di calore, ma anche la possibile insorgenza di cataratta o di sterilità maschile temporanea. Al diminuire della frequenza (sotto i 10 MHz), iniziano a subentrare effetti non termici a carico del sistema cardiovascolare (aritmie, fibrillazione, asistolia, ecc.) e nervoso (contrazione neuromuscolare, induzione di lampi luminosi nel campo visivo noti come magnetofosfeni, o altri).

Anche nel caso dei campi magnetici statici gli organi bersaglio sono il sistema nervoso centrale e periferico e quello cardiovascolare, tenendo conto che effetti avversi possono essere indotti anche dal movimento del soggetto esposto all'interno del campo.

Per le vibrazioni, almeno a livello di effetti acuti, esiste una correlazione tra l'organo bersaglio e la frequenza dell'onda. Infatti, dal punto di vista biodinamico, i diversi distretti e organi del corpo umano si possono rappresentare matematicamente (in prima approssimazione) come sistemi meccanici a più gradi di libertà composti da masse mobili, molle elastiche e smorzatori viscosi. Se viene trasmessa al corpo umano energia meccanica vibratoria avente componenti in frequenza in corrispondenza delle frequenze naturali di risonanza di tali sistemi meccanici, si possono verificare lesioni ai corrispondenti organi.

5 - METROLOGIA E DOSIMETRIA DEI RISCHI FISICI

In generale, per definire le quantità fisiche che descrivono l'interazione di un fattore di rischio fisico con una matrice biologica, vanno considerati:

- la tipologia del fattore di rischio
- la frequenza (o meglio lo spettro di frequenze)
- l'effettivo flusso di energia nella zona di interesse

- il rateo temporale di cessione dell'energia

Accanto a queste grandezze, per le necessarie correlazioni rischio/danno, andranno poi considerati i tempi di esposizione, le modalità (es.: asse d'ingresso delle vibrazioni, intermittenza d'esposizione), la presenza di esposizioni multiple (es. RM: campi magnetici statici, gradiente di campo, RF), le eventuali esposizioni pregresse, lo stato di salute generale dell'individuo.

La disponibilità di procedure standardizzate (normate) per la quantificazione dei fattori di rischio è andata progressivamente estendendosi tanto da interessare oramai la maggior parte degli agenti fisici. Parimenti, sulla base delle incrementate conoscenze scientifiche e metrologiche, si sono consolidati i cosiddetti "valori limite".

In linea di massima la metrologia restituisce dati di "esposizione" con parametri che caratterizzano fisicamente il campo di energia, eventualmente correggendoli con curve di pesatura che tengano conto della differente efficacia biologica delle varie frequenze, mentre la dosimetria può restituire dati di "dose", cioè di quantità di energia assorbita dall'organismo o dal distretto irradiato, o comunque dati relativi alle grandezze fisiche interne al corpo esposto direttamente connesse all'effetto biologico potenziale causa di danno.

Nel caso delle vibrazioni il descrittore del rischio è l'A(8) che si ottiene per le esposizioni a tutto il corpo secondo la UNI ISO 2631-1:2014 utilizzando un indicatore basato sulla massima delle tre accelerazioni pesate monoassiali e sul tempo giornaliero di esposizione; per il sistema mano-braccio, si segue la UNI EN ISO 5349-1:2004 e l'indicatore è basato sull'accelerazione triassiale e sul tempo giornaliero di esposizione. Per il rumore il descrittore del rischio è il L_{EX} espresso in dB(A) e misurato secondo le indicazioni della UNI EN ISO 9612:2011 e della UNI 9432:2011; la previsione epidemiologica degli effetti sulla salute dell'esposizione prolungata a determinati livelli equivalenti sonori è invece l'oggetto della norma ISO 1999:2013.

Sono parametri di dose la dose efficace (E) che si incontra in radioprotezione e, nel campo delle radiazioni ottiche, i valori efficaci (ottenuti dalle apposite curve di ponderazione $S(\lambda)$, $R(\lambda)$ e $B(\lambda)$) dell'esposizione radiante ($H_{e,RF}$) e della radianza (L_{eff}) integrata nel tempo (quest'ultima relativa agli effetti sulla retina).

Nel campo delle RF e MW (a partire da 100 kHz) e in relazione agli effetti termici sono accreditati limiti dosimetrici fondati sul concetto di SAR (Specific Absorption Rate) espresso in W/kg. Nel campo delle basse frequenze (fino a 10 MHz) tali limiti sono espressi in termini di densità di corrente indotta nei tessuti elettricamente stimolabili, espressa in A/m², o, in alternativa, di campo elettrico *in situ* all'interno dei tessuti, espresso in V/m.

Talvolta la descrizione del fenomeno fisico permette di cogliere aspetti particolari connessi all'irradiazione: è questo il caso dei cosiddetti hot-spot, assorbimenti fortemente localizzati di energia elettromagnetica a frequenze tra circa 400 MHz e 3 GHz, dovuti alla complessità dell'interazione con la radiazione ed in particolare alla risonanza del campo elettromagnetico con le dimensioni fisiche di particolari distretti corporei. Anche in campo acustico la presenza di rumori impulsivi e/o a componenti tonali si valuta sulla base della descrizione fisica del fenomeno.

Nel caso del microclima, infine, gli indici di rischio generali e localizzati discendono

da previsioni di bilancio termico dell'organismo o da algoritmi che cercano di interpretare la valutazione soggettiva di più persone.

6 - LEGISLAZIONE E NORMATIVE TECNICHE

In Italia si va assistendo al progressivo superamento dell'assenza di limiti numerici di accettabilità per le esposizioni ai rischi fisici negli ambienti di lavoro; assenza che aveva fatto molto discutere anche perché la possibilità di fissarli era già prevista dall'art. 4 della legge 833/1978.

Dal punto di vista legislativo occorre sempre rifarsi in primo luogo alla Costituzione della Repubblica Italiana e, per quanto riguarda i soggetti professionalmente esposti, all'art.2087 del c.c. il quale afferma che l'imprenditore è tenuto ad adottare tutte le misure consigliate dall'esperienza e dalla tecnica per tutelare l'integrità dei lavoratori. La legislazione specifica di riferimento è ora il DLgs.81/2008 (con le successive modifiche e integrazioni) ed in particolare al suo Titolo VIII dedicato interamente agli agenti fisici ad eccezione delle radiazioni ionizzanti per le quali la legge di riferimento è il DLgs.230/95 e successive modifiche e integrazioni. Oltre che per le radiazioni ionizzanti, con l'emanazione del DLgs.81/2008 e s.m. sono ora presenti limiti numerici per il rumore, le vibrazioni, le radiazioni ottiche e (anche se non in vigore) i campi elettromagnetici³.

È da rilevare che il DLgs.81/2008 e s.m. mentre fissa veri e propri valori limite numerici da non superarsi, quando definisce i cosiddetti valori di azione non indica valori al di sotto dei quali non sono dovute azioni di prevenzione quanto, piuttosto, valori di riferimento superati i quali scattano progressivamente protocolli di prevenzione amministrativi e/o tecnici più vincolanti.

Sugli agenti fisici affrontati dal Titolo VIII del DLgs.81/2008 nel 2014 è stato pubblicato l'aggiornamento delle "Indicazioni operative" da parte del Coordinamento Tecnico Interregionale per la Prevenzione nei Luoghi di Lavoro⁴.

Come si diceva poco sopra, le radiazioni ionizzanti sono propriamente un caso a parte: la legge di riferimento è il DLgs.230/95 così come modificato dal

³ Per i campi elettromagnetici, i limiti riportati negli allegati all'attuale Capo IV del Titolo VIII non sono in vigore e si prevede verranno modificati in seguito al recepimento della direttiva 2013/35/UE. Nelle more del recepimento e permanendo la necessità di indicazioni operative per la corretta valutazione del rischio, è possibile riferirsi ai principi e concetti dell'attuale Capo IV, che sono coerenti con i principi della nuova Direttiva 2013/35/UE, anche tenuto conto del richiamo alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi di cui all'art.181.

⁴ Il testo è disponibile:

- unitamente a tutti gli altri materiali promossi o realizzati con la collaborazione del Coordinamento Tecnico delle Regioni e delle Province autonome, all'indirizzo: http://www.ausl.mo.it/dsp/ct_interregionale
- sul sito dell'INAIL – Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, all'indirizzo: <http://www.ispesl.it/documentazione/fattore.asp>
- sul sito dell'ISS – Istituto Superiore di Sanità, all'indirizzo: <http://www.iss.it/elet/index.php?lang=1&id=116&tipo=9>
- sul Portale Nazionale Agenti Fisici (PAF), all'indirizzo: http://www.portaleagentifisici.it/fo_normative_e_documentazione.php?lg=IT

DLgs.241/00 e dal DLgs.257/01 ed integrato, per le esposizioni mediche dal DLgs.187/00. Inoltre, per l'esposizione a radioattività naturale (principalmente: Radon) i riferimenti sono al Capo III bis del DLgs.230/95 come modificato dal DLgs.241/00 e dal DLgs.257/01. Su quest'ultimo argomento, nel 2003, sono state pubblicate delle "Linee Guida per le misure di concentrazione di Radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei" da parte della Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome.

La pubblicazione della Direttiva 2013/59/EURATOM del Consiglio europeo, cui gli Stati membri dovranno conformarsi entro il 6 febbraio 2018, modificherà il quadro legislativo di riferimento. La nuova Direttiva distingue tra situazioni di esposizione esistenti, pianificate e di emergenza, e contempla l'esposizione professionale, della popolazione e le esposizioni mediche.

7 - PRINCIPI DI PREVENZIONE DEI RISCHI

In estrema sintesi, la bonifica dai fattori di rischio fisici si basa su una sequenza logica (sancita giuridicamente) che parte da valutazioni sull'indispensabilità o insostituibilità (eliminazione, modifiche, restrizioni all'uso) della sorgente o della attività-sorgente (interventi attivi), prende in considerazione gli interventi sulla propagazione e sulla diffusione per giungere infine alla protezione degli esposti (riduzione dei tempi di esposizione, allontanamento dalla sorgente, mezzi di protezione personale).

Accanto alla prevenzione con misure tecniche sono poi adottabili misure organizzative e procedurali, il programma di sorveglianza sanitaria e iniziative di informazione e formazione del personale.

8 – UN PO' PIÙ NEL DETTAGLIO

Accantonando il tipo di ricognizione generale⁵ sinora adottato, si porrà ora l'attenzione sui singoli fattori di rischio fisici.

8.1 – VIBRAZIONI

L'esposizione dell'uomo alle vibrazioni è aumentata progressivamente con lo sviluppo della meccanizzazione industriale e agricola, con l'aumento della potenza delle macchine, con la diffusione degli utensili vibranti e con l'impiego crescente dei mezzi di trasporto.

⁵ Sul sito www.portaleagentifisici.it è disponibile per la consultazione web il Portale Agenti Fisici (PAF), la cui realizzazione e responsabilità tecnico-scientifica sono a cura della ASL 7 di Siena, Laboratorio di Sanità Pubblica – Agenti Fisici. In esso sono trattati i "settori" Rumore, Vibrazioni, Radiazioni Ottiche e Campi Elettromagnetici, ritenuti prioritari in considerazione del numero di soggetti esposti, entità delle esposizioni e competenze specialistiche richieste per l'effettuazione delle misure di esposizione e delle valutazioni del rischio.

Le vibrazioni meccaniche sono prodotte dal movimento oscillatorio di un corpo intorno ad una posizione di equilibrio; dal punto di vista igienistico esse sono caratterizzate dalla frequenza (Hz), dall'asse di ingresso (x , y , z), dal tempo di esposizione e dall'accelerazione (ms^{-2}) ponderata con filtri che riproducono le diverse sensibilità alle varie frequenze dello spettro ed in relazione a diversi effetti.

Il descrittore di rischio è l'esposizione giornaliera normalizzata a un periodo di riferimento di 8 ore, $A(8)$, e rappresenta l'accelerazione equivalente proporzionale all'energia con cui entra in contatto il corpo umano nel turno di lavoro e rapportata ad una esposizione convenzionale di 8 ore.

Nelle diverse attività lavorative l'uomo può andare incontro a due tipi fondamentali di vibrazioni: quelle che coinvolgono tutto il corpo e quelle che interessano soltanto settori di esso.

Le prime, definite anche scuotimenti, sono più tipicamente caratterizzate da movimenti oscillatori di bassa frequenza (0,1-400 Hz) e grande ampiezza. L'organismo si oppone agli scuotimenti mediante la propria forza d'inerzia, con la contrazione muscolare e con l'irrigidimento del sistema locomotore, stimolati in maniera riflessa dal senso dell'equilibrio.

Gli attuali modelli meccanici del corpo umano ne analizzano il comportamento in funzione della frequenza di vibrazione: a bassissime frequenze (sotto ai 2 Hz) prevale la sollecitazione all'intero corpo e si verifica il cosiddetto mal dei trasporti per stimolazione della funzione vestibolare (nausea, vomito, sudorazione ...); principalmente tra 2 e 80 Hz si verificano invece risonanze nei diversi organi, mentre a frequenze superiori il moto vibratorio si smorza sempre più facilmente e finisce con l'interessare solo piccole aree in prossimità del punto di applicazione. I valori di riferimento legislativi si preoccupano di prevenire rischi per la salute e la sicurezza ed in particolare lombalgie e traumi al rachide.

Per la misurazione del rischio in ambiente di lavoro si fa essenzialmente riferimento alla UNI ISO 2631-1:2014 la quale richiama per la valutazione dei rischi per il rachide lombare dovute esposizioni a vibrazioni contenenti urti ripetuti la ISO 2631-5:2004. Esposizioni a vibrazioni trasmesse a tutto il corpo da superfici vibranti all'interno di edifici (sia in ambito lavorativo che civile) sono invece oggetto della norma ISO 2631-2:2003.

Per quanto riguarda le sollecitazioni a particolari settori del corpo, particolare evidenza ha assunto la fenomenologia connessa all'ingresso di vibrazioni dalla mano per l'enorme diffusione degli utensili vibranti (martelli pneumatici, smerigliatrici, motoseghe, vibrocompattatori ...).

Per valutare i danni da vibrazione nel sistema mano-braccio, vanno idealmente considerate le caratteristiche fisiche delle vibrazioni, le frequenze naturali del sistema stesso, la distribuzione della pressione all'interfaccia uomo – utensile, le tensioni muscolari nella mano nel braccio e nell'avambraccio, la posizione dell'operatore e le condizioni ambientali in cui il lavoro si svolge. Bisogna tenere presente, inoltre, che le caratteristiche delle vibrazioni variano costantemente durante il lavoro.

Schematicamente si può affermare che le vibrazioni di bassa frequenza (30-50 Hz) determinano più spesso l'insorgenza di lesioni osteoarticolari, mentre i disturbi della regolazione nervosa delle pareti dei vasi sanguigni (Sindrome di Raynaud o del dito

bianco) sono state messe prevalentemente in relazione con vibrazioni di frequenza più elevata (40-200 Hz con un massimo a 100 Hz). La caratterizzazione delle vibrazioni mano-braccio viene condotta nell'intervallo $6,3 \div 1250$ Hz, in accordo con la ISO 5349-1:2004.

Dal punto di vista legislativo, in recepimento della Direttiva 2002/44/CE, si applica il DLgs.81/2008, ed in particolare il Capo III del Titolo VIII, che stabilisce, sia per le vibrazioni al sistema mano-braccio che per le vibrazioni al corpo intero, due livelli di vibrazione che fanno scattare una serie di obblighi: i valori di azione e i valori limite di esposizione. I valori giornalieri di esposizione alle vibrazioni che fanno scattare l'azione normalizzati al periodo di riferimento di 8 ore stabiliti sono pari a $2,5 \text{ m/s}^2$ e $0,5 \text{ m/s}^2$, rispettivamente per il sistema mano-braccio e per il corpo intero, mentre i valori limite di esposizione sono rispettivamente pari a 5 m/s^2 e 1 m/s^2 . La legislazione prevede poi due ulteriori valori limite, cosiddetti su "periodi brevi", che valgono rispettivamente 20 m/s^2 e $1,5 \text{ m/s}^2$.

Operativamente, per la valutazione delle vibrazioni è consentito fare riferimento a valori misurati da altri (stima) purché inseriti in banche dati delle Regioni o di Ispesl (oggi: INAIL) ovvero forniti dai produttori, in quest'ultimo caso avendo attenzione ad utilizzare gli opportuni fattori correttivi in quanto le normative per l'indicazione delle emissioni di vibrazioni (quelle utilizzate dai produttori) non forniscono necessariamente valori indicativi dei livelli di esposizione presenti sul campo. Quando mancano i riferimenti per la stima o, comunque, se si desidera la ricostruzione dei livelli di esposizione in modo il più accurato possibile, occorrerà rivolgersi alla misurazione da condurre secondo gli standard UNI EN ISO 5349-1:2004 e UNI ISO 2631-1:2014.

Altre normative di particolare interesse sono le:

- UNI EN ISO 5349-2:2004 Vibrazioni meccaniche – Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano. Parte 2: Guida pratica per la misurazione al posto di lavoro
- UNI CEN/TR 11232:2007 Vibrazioni mano-braccio - Linee guida per la riduzione del rischio da vibrazioni
 - Parte 1: Metodi tecnici progettuali per la progettazione delle macchine
 - Parte 2: Misure di prevenzione sul posto di lavoro
- UNI CEN/TR 15172:2008 Vibrazioni al corpo intero - Linee guida per la riduzione del rischio da vibrazione
 - Parte 1: Metodo tecnico progettuale per la progettazione delle macchine
 - Parte 2: Misure di prevenzione sul posto di lavoro

8.2 – RUMORE

Il rumore è costituito da onde di pressione sonora che si propagano in un mezzo (generalmente l'aria) e che quando raggiungono l'apparato uditivo dell'uomo generano una sensazione uditiva. Si tratta di microvariazioni di pressione rispetto alla pressione statica di riferimento originate da oscillazioni delle molecole del mezzo attorno alla loro posizione di equilibrio in maniera tale che l'energia si propaga senza che vi sia trasporto di materia.

Affinché le onde sonore siano percepibili dall'apparato uditivo umano la loro

frequenza deve ricadere nell'intervallo 16-20 Hz ÷ 16-20 kHz.

Si parla di rumore (invece che di suono) quando l'onda sonora genera una sensazione uditiva non piacevole o tale da influenzare negativamente il benessere fisico e psichico degli individui.

Il rumore, è senza dubbio uno dei fattori di nocività più diffusi nell'ambiente in cui si vive e si lavora.

In termini igienistici, il fenomeno sonoro viene essenzialmente stimato con un descrittore denominato livello equivalente sonoro espresso in decibel (dB), successivamente ponderato con un filtro (A) che riproduce le diverse sensibilità dell'udito umano alle varie frequenze dello spettro.

Le attuali conoscenze dell'incidenza del rumore sulla salute hanno permesso di evidenziare come il rumore, già a livelli modesti, possa contribuire, come causa di stress, a disturbi psicologici e somatici attraverso una mediazione soggettiva che tende a sfuggire ad ogni classificazione.

Questi effetti del rumore, cosiddetti effetti extra-uditivi, non determinano normalmente un danno irreversibile su organi, sistemi o tessuti; determinano tuttavia un'azione di disturbo che può essere limitata all'ambito strettamente soggettivo o riflettersi su relazioni interpersonali e sui rapporti tra l'uomo e la collettività.

L'esposizione a rumori di elevata intensità (la letteratura internazionale concorda che il rischio di danno uditivo inizia già a livelli inferiori a 80 dB(A)) è causa sia di disturbi psicofisici (i cosiddetti effetti extra-uditivi, già citati) e dell'abbassamento, inizialmente reversibile, della soglia uditiva. Nel tempo questa diminuzione di acuità uditiva diviene irreversibile per la degenerazione delle cellule nervose della coclea deputate alla ricezione del segnale sonoro, soprattutto nell'area dei 3-4 kHz. Prolungando ulteriormente l'esposizione a rumore, i fenomeni degenerativi si estendono andando a compromettere la sensazione sonora anche per quanto riguarda la normale vita di relazione (difficoltà all'ascolto del parlato, della musica, ecc.).

È ormai ampiamente dimostrato che esiste una stretta correlazione tra il livello di esposizione a rumore, il tempo per il quale si è esposti a tale livello e la perdita della capacità uditiva. Nella ISO 1999:2013 vengono anche forniti degli algoritmi di calcolo del rischio di ipoacusia professionale sulla base del livello di esposizione sonora e degli anni di esposizione.

Per evitare danni immediati all'apparato uditivo, la legislazione prevede poi una speciale attenzione ai rumori impulsivi.

Per quanto concerne i valori di azione ed i valori limite di esposizione a rumore in ambiente industriale, il DLgs.81/2008 e s.m., che ha recepito in Italia la Direttiva 2003/10/CE, definisce le tre coppie di valori di 80 dB(A) di $L_{EX,8h}$ e 135 dB(C) di $L_{picco,C}$, di 85 dB(A) e 137 dB(C) e di 90 dB(A) 140 dB(C). Occorre sottolineare che mentre la legislazione fissa limiti numerici da non superarsi (valori limite di esposizione) non definisce valori al di sotto dei quali non sono dovute azioni di prevenzione quanto, piuttosto, valori di riferimento (valori inferiori e superiori di azione) superati i quali scattano progressivamente protocolli di prevenzione più pregnanti.

La misurazione dei livelli di esposizione a rumore va condotta secondo gli standard UNI EN ISO 9612:2011 e UNI 9432:2011.

Altre norme di particolare interesse sono:

- UNI EN ISO 11690 Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario
Parte 1: Strategie per il controllo del rumore (1998)
Parte 2: Provvedimenti per il controllo del rumore (1999)
Parte 3: Propagazione del suono e previsione del rumore in ambienti di lavoro (2000)
- UNI/TR 11450:2012 Acustica– Valutazione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro per lavoratori che utilizzano sorgenti sonore situate in prossimità dell'orecchio
- UNI 11347:2015 Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro

8.3– ULTRASUONI

Nello spettro delle onde acustiche vengono definiti ultrasuoni quelle onde con frequenza superiore ai 20 kHz (limite superiore della percezione uditiva umana). La frazione di fascio assorbita provoca nel mezzo assorbitore eventi che variano a seconda della frequenza.

Fino a frequenze inferiori a 100 kHz l'effetto principale è di tipo acustico, cioè con organo bersaglio la coclea.

A frequenze superiori, alle quali gli ultrasuoni non si propagano più in aria, si verificano altri fenomeni di danno quando gli ultrasuoni sono immessi direttamente nel corpo umano tramite un contatto diretto con la sorgente ultrasonora.

Fino a 1 MHz, il fenomeno prevalente è la cavitazione che produce prima una rapida espansione e dopo una repentina compressione delle bolle di gas disciolto in un liquido provocando la loro "implosione" con la generazione di livelli molto elevati di energia meccanica. A seconda dell'intensità della radiazione si creano flussi di liquido ad alta velocità che possono danneggiare e perfino frantumare biomolecole e cellule. A potenze elevate la cavitazione si manifesta anche a frequenze basse (< 40 kHz).

Con ultrasuoni di frequenza ancora più elevata, l'energia meccanica è prevalentemente trasferita alle strutture con dissipazione finale in calore (effetto termico).

Effetti non termici e non cavitazionali sono possibili, ma non dimostrati.

Nonostante che siano abbastanza ben conosciuti i meccanismi elementari d'interazione con la materia vivente, i risultati sperimentali ed epidemiologici non hanno sinora permesso l'individuazione di un quadro di danno caratteristico (organi bersaglio) e sicuramente attribuibile agli ultrasuoni. La sorveglianza sanitaria degli esposti può essere condotta mediante la raccolta di dati anamnestici, particolarmente attenta ai disturbi soggettivi e al grado di inquinamento acustico dell'ambiente, ad un esame clinico generale ed a un esame audiometrico e della funzione vestibolare, anche per la sorveglianza degli effetti delle sub-armoniche udibili. Anche i TLV proposti dall'ACGIH per esposizioni in aria (in dB per terzi d'ottave) servono per prevenire possibili perdite uditive dovute alle sub-armoniche.

Qualora invece i tessuti siano a contatto diretto con le sorgenti o con i trasduttori, ovvero siano a contatto tramite sostanze liquide o solide interposte (es. ecografia) si

può fare riferimento alla curva intensità/tempo d'esposizione proposta dall'AIUM (American Institute for Ultrasounds in Medicine).

8.4 - CAMPI ELETTROMAGNETICI

La dizione unitaria di “campi elettromagnetici” che la legislazione assegna alle radiazioni non ionizzanti con frequenza inferiore ai 300 GHz è in realtà, almeno parzialmente, arbitraria sia per le utilizzazioni, sia per i meccanismi di interazione con la materia vivente. Ecco perché analizzeremo di seguito le zone di spettro di principale interesse igienistico che, per valori di frequenza crescenti, sono i campi elettrici e magnetici statici, le ELF/LF, le radiofrequenze e le microonde.

I campi elettrici statici sono ritenuti di scarso interesse protezionistico in quanto i dati a disposizione non suggeriscono l'insorgenza di effetti negativi per la salute dei soggetti esposti. A livelli di esposizione estremamente intensi sono possibili effetti di percezione a carico della cute (movimento dei peli e altri effetti sensoriali) e la possibilità di scariche elettriche in seguito al contatto con oggetti conduttori caricati dal campo.

I campi magnetici statici possono dar luogo a effetti osservabili solamente a intensità di campo molto elevate. Al di sopra di 2 T si possono osservare fenomeni minori connessi al movimento (della testa o del corpo) del soggetto all'interno del campo quali stimoli visivi (magnetofosfeni), vertigini e senso di nausea, sapore metallico in bocca. Oltre alle problematiche prima descritte (effetti diretti) si possono però avere effetti indiretti per i portatori di dispositivi medici impiantabili attivi e di protesi metalliche.

Per quanto riguarda le cosiddette Extremely Low Frequencies, quali quelle che si ritrovano in prossimità delle linee elettriche aeree, si deve ricordare che il soggetto esposto viene a trovarsi immerso in un campo elettrico ed in un campo magnetico disomogenei e variabili nel tempo che sono in grado di mettere in movimento le cariche libere all'interno dell'organismo (ad esempio ioni nel sangue e soprattutto nel sistema nervoso centrale e periferico) creando delle correnti elettriche che vanno a sovrapporsi (ed eventualmente a perturbare) a quelle endogene fisiologicamente presenti nell'organismo, preposte a diverse funzioni, quali la conduzione dell'impulso cardiaco, la propagazione degli stimoli nervosi, ecc. Sul sistema nervoso centrale, nella testa, si manifestano effetti sensoriali “minori” quali i magnetofosfeni, mentre sui tessuti del sistema nervoso centrale e periferico in tutto il corpo compaiono effetti sanitari quali stimolazione dolorosa, contrazione muscolare involontaria, induzione di aritmie. Anche in questo caso possono risultare rilevanti gli effetti indiretti su dispositivi medici attivi, impiantati o indossati dal soggetto esposto.

Il principale effetto sui tessuti biologici delle radiofrequenze e delle microonde è legato alla conversione dell'energia elettromagnetica in calore. Il cristallino e i testicoli sono gli organi a maggior rischio termico, il primo perché manca di vascolarizzazione, risultando così assente il fondamentale meccanismo di dissipazione del calore connesso al flusso sanguigno, i secondi perché particolarmente sensibili agli aumenti di temperatura. Si noti che danni come la cataratta o la sterilità maschile, essendo la conseguenza di un processo cumulativo,

possono manifestarsi a distanza di tempo.

Va inoltre considerato che, per le caratteristiche della materia vivente e per il manifestarsi di fenomeni di risonanza (disomogeneità dei mezzi, superfici di separazione, geometrie complesse, etc.), l'assorbimento all'interno del corpo può essere fortemente disomogeneo e si possono creare punti di accumulazione (hot spot) anche in altri distretti.

In tutto lo spettro tra 0 Hz e 300 GHz, i limiti di esposizione vengono individuati a partire da determinati livelli al di sopra dei quali si iniziano ad osservare alcuni effetti biologici che, per loro natura o entità, potrebbero avere una rilevanza sanitaria. In pratica, i limiti si deducono da questi livelli dividendoli per opportuni fattori di sicurezza, introdotti per tenere conto, tra l'altro, della variabilità nella risposta tra i diversi individui e dell'incertezza nella valutazione dell'esposizione.

Acquisendo i risultati di una sofisticata modellistica, teorica e sperimentale, l'ICNIRP (l'organizzazione cui si è ispirata l'Unione Europea nella redazione delle proprie direttive, la 2004/40/CE prima e la 2013/35/UE più recentemente) ha definito un sistema di protezione⁶ per la prevenzione degli effetti noti dei campi elettromagnetici basato su restrizioni di base (SAR nel caso degli effetti termici e densità di corrente indotta o del campo elettrico in situ nel caso degli effetti di stimolazione elettrica), che costituiscono i veri e propri limiti di esposizione, e su livelli di riferimento che permettono, ove possibile, una valutazione semplificata del rispetto delle restrizioni di base (campo elettrico, magnetico, elettromagnetico).

I valori limite di esposizione ed i valori di azione previsti dal Capo IV del Titolo VIII del DLgs.81/2008, basati rispettivamente sulle restrizioni di base e sui livelli di riferimento delle linee guida ICNIRP, sono specificamente mirati alla protezione dagli effetti certi che hanno una ricaduta in termini sanitari di cui esiste ed è stata definita una soglia di insorgenza. La norma non riguarda invece la protezione da eventuali effetti a lungo termine, per i quali mancano dati scientifici conclusivi che comprovino un nesso di causalità, né i rischi conseguenti al contatto con i conduttori in tensione, questi ultimi già coperti dalle norme per la sicurezza elettrica.

La normativa è volta anche alla protezione da effetti indiretti, quali quelli connessi alle correnti di contatto che possono indurre percezioni dolorose, contrazioni muscolari, ustioni; l'interferenza elettromagnetica con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati); l'effetto propulsivo di oggetti ferromagnetici all'interno di intensi campi magnetici statici; l'innescò di elettrodetonatori ed il rischio incendio per scintille provocate dalla presenza dei CEM nell'ambiente.

Con l'emanazione della Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio 2013/35/UE del 26/06/2013, da recepirsi dagli Stati membri entro il 1° luglio 2016, il Capo IV del Titolo VIII del DLgs.81/2008 risulta di fatto automaticamente abrogato. I rispettivi allegati, in cui sono definiti i valori limite di esposizione ed i livelli di azione, andranno pertanto modificati in conseguenza del recepimento. Infatti, la Direttiva aggiorna, sulla base delle nuove evidenze acquisite ed in

⁶ In questo quadro fanno eccezione i campi elettrici statici per i quali, stante la mancanza di dati, l'ICNIRP non ha ritenuto di stabilire limiti di esposizione.

particolare sulla scorta della emanazione delle nuove linee guida ICNIRP (Static magnetic fields Guidelines – ICNIRP 2009 e LF Guidelines 1 Hz – 100 kHz – ICNIRP 2010), i valori limite di esposizione ed i livelli di azione, confermando sostanzialmente le precedenti indicazioni per la parte a radiofrequenza e microonde, e introducendo modifiche sostanziali per i campi elettrici e magnetici variabili nel tempo e per i campi magnetici statici.

Infine, a complicare ulteriormente il quadro, viene introdotto un sistema di deroghe (ex art.10) che occorrerà verificare nel testo del recepimento.

8.5 - RADIAZIONI OTTICHE NON COERENTI

Con il termine di radiazioni ottiche si intende quella zona dello spettro elettromagnetico che comprende la radiazione infrarossa (IR), ulteriormente e convenzionalmente suddivisa nelle tre bande contigue del IR-C (10^6 – 3000 nm), IR-B (3000-1400 nm) e IR-A (1400 - 780 nm), la radiazione visibile (780-380 nm) e la radiazione ultravioletta (UV), a sua volta suddivisa nelle UV-A (400^7 -315 nm), UV-B (315-280 nm) e UV-C (280-100 nm).

Le lunghezze d'onda degli estremi del range delle radiazioni ottiche sono, quindi, di 1 mm per l'estremo nell'IR-C e di 100 nm per l'estremo nell'UV-C: a queste lunghezze d'onda, i fotoni non hanno energia sufficiente per ionizzare atomi e molecole e l'effetto del loro assorbimento si concretizza sui tessuti con meccanismi di tipo termico (principalmente nell'IR e nel visibile) o di tipo fotochimico (principalmente nell'UV e nella parte più energetica dello spettro visibile).

La profondità di penetrazione delle radiazioni ottiche è assai limitata, il che restringe la qualifica di organi critici all'occhio ed alla cute.

Per gli UV gli effetti acuti più evidenti sono l'eritema per la pelle e la fotocheratite e fotocongiuntivite (stati infiammatori della cornea e della congiuntiva) per le strutture oculari. Per quanto riguarda gli effetti a lungo termine, oltre al ruolo nell'insorgenza della cataratta (prevalentemente degli UV-A) e nell'invecchiamento precoce della pelle (fotoelastosi), è stata accertata la relazione causale tra esposizione agli UV (sia di origine solare che di origine artificiale) e la formazione di tumori cutanei (in ordine di gravità crescente: basalioma, spinalioma, melanoma cutaneo maligno): per questo motivo la IARC (International Agency for Research on Cancer) nel 2009 ha classificato la radiazione UV come "cancerogena per l'uomo" (Gruppo 1 IARC).

Gli effetti termici delle radiazioni visibili e degli IR sono principalmente legati alla possibile insorgenza di cataratte ed a bruciature a carico della cornea o della retina, ovvero, ovviamente a valori energetici maggiori, della cute.

Danni alla retina possono essere indotti anche per via fotochimica dalle componenti più energetiche dello spettro visibile, cioè le lunghezze d'onda minori, corrispondenti ai colori violetto e blu ("danno da luce blu" o fotoretinite).

Effetti dannosi nella cute possono aversi anche a causa di reazioni di fotosensibilizzazione.

⁷ le lunghezze d'onda della banda UV-A comprese tra 380 e 400 nm sono in grado di indurre stimolazione retinica, pertanto vanno anche considerate come radiazione visibile

Esistono poi ulteriori rischi indiretti, quali la sovraesposizione a luce visibile (disturbi temporanei visivi come abbagliamento o accecamento temporaneo) e ulteriori rischi associati alle apparecchiature/lavorazioni che utilizzano radiazioni ottiche artificiali (ROA) quali stress termico, contatti con superfici calde, rischi di natura elettrica ecc.

Per la valutazione del rischio da esposizione a radiazioni ottiche le grandezze utilizzate sono l'irradianza E, l'esposizione radiante H e la radianza L.

Un complesso sistema di limiti, specifico per le varie bande di lunghezza d'onda comprese tra 180nm e 3000nm, basati sui limiti ICNIRP e IEC sono riportati nella Direttiva 2006/25/CE e ripresi dall'Allegato XXXVII-Parte I del Capo V, Titolo VIII, DLgs.81/2008 il quale tuttavia non si applica alle radiazioni ottiche di origine naturale, tra le quali la principale è il Sole⁸.

Per effettuare la valutazione del rischio di esposizione alle radiazioni ottiche lo schema di flusso consigliato è il seguente:

- **Conoscenza delle sorgenti:** è necessario preliminarmente censire le sorgenti di radiazioni ottiche non coerenti ed acquisire i dati forniti dai fabbricanti o, in loro assenza, da documenti tecnici o lavori presenti in Letteratura che trattano sorgenti analoghe. Utilizzare, ove disponibile, la classificazione delle sorgenti secondo le norme tecniche specifiche o la conformità a standard tecnici, può consentire la "giustificazione" che permette di non effettuare una valutazione approfondita del rischio in quanto trascurabile, ovvero di stabilire direttamente (senza effettuare misurazioni) il superamento o meno dei valori limite.
- **Conoscenza delle modalità espositive.** In particolare devono essere individuate le tipologie di sorgenti, le modalità di impiego ed i luoghi in cui sono operanti, acquisendo, se possibile, i "layout" o le planimetrie dove sono installate le sorgenti. Per potere valutare i lavoratori a rischio e la loro effettiva esposizione è importante acquisire anche i tempi, le distanze e le modalità di esposizione.
- **Esecuzione di misure:** nel caso non siano disponibili i dati del fabbricante o non vi siano riferimenti a standard tecnici specifici, è necessario effettuare delle misure strumentali secondo le indicazioni fornite dalle norme tecniche specifiche. Le misure devono essere eseguite con strumentazione adeguatamente tarata, dotata di caratteristiche idonee ai parametri da rilevare.
- **Esecuzione di calcoli:** partendo dai dati forniti dal fabbricante, dai dati di letteratura o dai valori misurati, mediante appositi calcoli si ottengono le grandezze necessarie al confronto con i valori limite (es.: dall'irradianza spettrale fornita dal costruttore o misurata, si stima l'irradianza efficace).
- **Confronto con i valori limite (non per la radiazione solare):** i risultati acquisiti dalle fasi precedenti devono essere confrontati con i valori limite previsti nell'Allegato XXXVII del DLgs.81/2008 per stabilire il possibile superamento o meno di tali valori.

⁸ Nella definizione di "agenti fisici" riportata nell'art.180 del DLgs.81/2008 le radiazioni ottiche sono esclusivamente quelle artificiali. Tuttavia l'art.28 dello stesso decreto legislativo impone la valutazione di tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, il che si deve applicare anche nei confronti dei rischi connessi alle esposizioni alla radiazione solare, pur se senza limiti di esposizione di cui verificare il rispetto, anche perché tali rischi sono noti da tempo.

Utili riferimenti per la conduzione della valutazione del rischio da radiazione ottica non coerente sono presenti:

- nell'allegato A delle norme UNI EN 14255-1 e UNI EN 14255-2;
- nella norma UNI EN 14255-3:2008, in riferimento al rischio da radiazioni ottiche naturali (luce solare);
- nella norma CEI EN 62471;
- nella norma CEI 76-10;
- nella norma UNI EN 12198-1
- nella "Guida non vincolante alla buona prassi nell'attuazione della direttiva 2006/25/CE «radiazioni ottiche artificiali»"

Oltre alla problematica, fin qui discussa, relativa a radiazioni ottiche che possono rappresentare un rischio per la salute e sicurezza, vi è tutta la problematica relativa all'ergonomia della funzione visiva, problematica fortemente amplificata dalla diffusione dell'uso dei videotermini.

Per la valutazione del comfort luminoso si ricorre alla valutazione, oltre che del fattore medio di luce diurna per quanto riguarda la necessaria illuminazione naturale dei luoghi di lavoro, del livello medio di illuminamento (lux) sul piano del compito visivo, dell'equilibrio nella distribuzione della luminanza (cd/m^2) entro il campo visivo professionale per quanto riguarda la altrettanto necessaria illuminazione artificiale. Un altro parametro rilevante dal punto di vista illuminotecnico è l'uniformità di illuminamento e, considerato che una carente illuminazione può indurre anche rischi di natura infortunistica, tale parametro deve essere misurato anche in relazione ad ambienti contigui a quello in cui si svolge il compito visivo e a zone di passaggio. Infine, non bisogna dimenticare che la visione è un fenomeno fondamentalmente soggettivo e che, in determinate situazioni, acquistano particolare importanza aspetti quali il gradimento per l'illuminazione naturale, il contrasto dei colori, il colore della luce ed altri ancora.

Indicazioni sugli standard illuminotecnici artificiali ottimali sono deducibili dalle norme:

- UNI 12464 Luce e illuminazione – Illuminazione dei posti di lavoro
Parte 1: Posti di lavoro interni (2004)
Parte 2: Posti di lavoro in esterno (2008)
- UNI EN ISO 9241-6:2001 Requisiti ergonomici per il lavoro di ufficio con videotermini (VDT)

8.6– LASER

La radiazione emessa dai laser (acronimo che significa amplificazione di luce mediante emissione stimolata di radiazione) cade nelle regioni dell'UV, del visibile e dell'IR.

I fasci laser sono radiazioni ottiche con peculiari caratteristiche di monocromaticità, coerenza, unidirezionalità e brillantezza (radianza).

Per questo tipo di radiazioni vanno illustrate con maggior dettaglio gli effetti sull'occhio che ne è il tipico organo bersaglio. Infatti, le lesioni cutanee, sia di tipo acuto (eritema, ustione) che a lungo termine (invecchiamento, tumori) acquistano

generalmente rilevanza in funzione dell'estensione dell'area irraggiata che nella luce laser è normalmente molto piccola.

La radiazione dei laser che emettono nell'UV è in grado di provocare una lesione termica della congiuntiva e della cornea; solo nel caso di radiazione UV-A, invece, la radiazione laser ultravioletta può provocare danni al cristallino inducendo processi di catarattogenesi. Infatti, fino a 300 nm l'assorbitore quasi esclusivo è la cornea, mentre, tra 300 e 400 nm, assorbono la radiazione anche l'umor acqueo ed il cristallino. Per quanto riguarda la radiazione laser visibile e la radiazione appartenente all'IR-A (infrarosso vicino: 780 – 1400 nm), la retina è l'organo critico per eccellenza. Tali radiazioni vengono, infatti, focalizzate sulla retina producendo densità di potenza nel punto di fuoco enormemente più elevate di quelle incidenti a livello della cornea. Dal punto di vista del danno retinico, le proprietà di focalizzazione da parte dell'occhio della radiazione appartenente al range IR-A, rendono quest'ultima particolarmente pericolosa poiché, non dando luogo a percezione visiva, non producono da parte dell'occhio meccanismi naturali di difesa quali quelli prodotti da sorgenti ad elevata brillantezza nel visibile.

Il lontano IR si arresta invece sulla cornea.

Per la valutazione del rischio da esposizione a radiazioni laser le grandezze utilizzate sono l'irradianza E o densità di potenza e l'esposizione radiante H.

Un complesso sistema di limiti, specifico per le varie bande di lunghezza d'onda comprese tra 180nm e 3000nm, basati sui limiti ICNIRP e IEC sono riportati nella Direttiva 2006/25/CE e ripresi dall'Allegato XXXVII-Parte II del Capo V, Titolo VIII, DLgs.81/2008. I valori limite di esposizione per una lesione retinica sono fortemente influenzati sia dalla durata dell'impulso che dalla grandezza dell'immagine sulla retina. Per tempi di esposizione molto brevi la soglia è indipendente dalle dimensioni dell'immagine retinica, in altre parole, la sorgente è considerata puntiforme. Per tempi più lunghi, a parità di flusso di energia incidente sulla cornea, una sorgente estesa è meno pericolosa di una sorgente puntiforme poiché produce densità superficiali di flusso di energia minori sul tessuto retinico.

La pelle può essere danneggiata da luce laser di qualunque lunghezza d'onda.

Anche per le radiazioni laser oltre ai rischi per la salute dovuti all'esposizione diretta esistono ulteriori rischi indiretti, quali:

- disturbi temporanei visivi, quali abbagliamento, accecamento temporaneo;
- rischi di incendio e di esplosione innescati dalle sorgenti stesse e/o dal fascio di radiazione;

e ulteriori rischi associati alle apparecchiature/lavorazioni quali stress termico, contatti con superfici calde, rischi di natura elettrica, ecc

Un utile approccio per la conduzione della valutazione del rischio da radiazioni laser può essere ripreso dalle norme che indirizzano alla valutazione del rischio per le radiazioni ottiche non coerenti.

Ulteriori utili riferimenti per la conduzione della valutazione del rischio da radiazione Laser sono presenti:

- nella norma CEI EN 60825-1. Questa norma contempla un sistema di classificazione delle sorgenti laser da intrinsecamente sicure (Classe 1), ossia incapaci di produrre livelli di emissione accessibile superiori ai valori limite di esposizione, a estremamente pericolose (Classe 4), non solo per gli occhi e la

pelle, ma anche per la capacità della radiazione appartenente a tale classe di innescare incendi. Tra questi due estremi si inseriscono le classi intermedie e relative varianti (1M, 2, 2M, 3R, 3B);

- nelle relative guide per l'utilizzatore: CEI 76-6, CEI 76-11, CEI 76 fascicoli 3849R e 3850R;
- nelle norme tecniche relative alle prescrizioni particolari attinenti alla sicurezza dei prodotti: CEI 62-42, CEI 76-4, CEI 76-7;
- nella norma UNI EN 12198-1.

8.7 - RADIAZIONI IONIZZANTI

La porzione di spettro elettromagnetico che va dai 10 nm (10^{-9} m) ai 100 fm (10^{-15} m) ed oltre viene definita radiazione ionizzante per la sua capacità di ionizzare la materia (strappare uno o più elettroni agli atomi o alle molecole). Oltre alla radiazione di questo tipo vi è anche una radiazione corpuscolare (alfa, beta, neutroni, etc.) che ha lo stesso effetto ionizzante, ma non appartiene allo spettro elettromagnetico. Queste radiazioni possono essere naturali, comprendendo tra queste la radiazione cosmica (che proviene dallo spazio ed è prodotta dal sole, dalle stelle e dagli altri oggetti cosmici), oppure prodotte artificialmente dall'uomo (acceleratori e reattori nucleari).

I nuclei atomici stabili presenti in natura hanno ben definiti valori del rapporto neutroni/protoni. I nuclei di quegli isotopi che non ricadono in tali condizioni di stabilità tendono a raggiungerle con processi detti decadimenti radioattivi (decadimenti beta meno, beta più e alfa; cattura elettronica; fissione spontanea); gli isotopi instabili sono quindi detti radioattivi.

Il decadimento temporale di tutte le sostanze radioattive è governato da una legge di tipo esponenziale. Il rateo di decadimento di una sorgente radioattiva viene detto "attività", grandezza che ha come unità di misura il bequerel (Bq; vale 1 disintegrazione al secondo). Frequentemente, i decadimenti lasciano poi il nucleo in uno stato eccitato e questa energia in eccesso o determina nuovi decadimenti ovvero, in tempi più o meno brevi, viene emessa come radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda molto piccola (emissione gamma) oppure ceduta ad un elettrone orbitale (conversione interna).

Le particelle "alfa" e "beta", i neutroni e le radiazioni elettromagnetiche (dette X se provengono da elettroni orbitali, dette "gamma" se generate nel nucleo), hanno normalmente energie in grado di produrre ionizzazione.

La proprietà di ionizzare atomi e molecole è sempre stato considerato il più importante aspetto del carattere nocivo di queste radiazioni. La ionizzazione può causare nel corpo umano fenomeni quali la rottura di catene molecolari, con formazione di radicali liberi che portano a lesioni osservabili sia a livello cellulare sia a livello dell'organismo, con conseguenti alterazioni funzionali e morfologiche. Queste alterazioni strutturali possono anche provocare, per scomparsa di certe funzioni essenziali, la morte immediata o ritardata della cellula.

In generale, il danno biologico prodotto dipende dal tipo e dalla energia della radiazione, dalla durata e dal rateo dell'esposizione, dall'organo del corpo irraggiato, dall'età e dalle condizioni di salute della persona esposta.

Sommariamente, si rileva che le particelle “alfa” producono una forte ionizzazione primaria, pertanto si fermano negli strati superficiali della cute e sono pericolose solo per ingestione, inalazione o penetrazione transcutanea (contaminazione interna); i raggi “gamma”, invece, possono penetrare nel corpo ed ivi depositare la loro energia o parte di essa; quelli emessi entro il corpo (dovuti all’introduzione di elementi radioattivi che emettono radiazione gamma) perderanno nell’attraversarlo solo una parte della loro energia. Le particelle “beta”, in una condizione intermedia, rappresentano un pericolo sia nella contaminazione interna sia nell’irraggiamento esterno specialmente per quegli organi che si trovano in posizione superficiale (ad es. l’occhio).

L’esposizione a neutroni termici (di bassa energia) è estremamente dannosa poiché essi possono provocare reazioni che rendono radioattivi i componenti chimici dei tessuti che attraversano, mentre i neutroni veloci (di alta energia) sono dannosi perché per urto con nuclei di idrogeno producono protoni di rinculo che hanno forti proprietà ionizzanti.

L’uomo è da sempre esposto a campi di radiazioni ionizzanti: la Terra è infatti costantemente investita da fasci di particelle di tutti i tipi (radiazione cosmica) cui va a sommarsi l’irraggiamento continuo e non trascurabile dovuto alla presenza nella materia di percentuali di elementi radioattivi, determinando la cosiddetta radiazione di fondo.

In tempi recenti, il progresso della ricerca e dell’industria ha introdotto nuove fonti di irraggiamento, definite artificiali poiché prodotte dall’uomo attraverso l’uso di macchine. Attualmente, l’esposizione a radiazioni ionizzanti per motivi professionali e, molto più sensibilmente, per scopi sanitari (diagnostica e terapia) costituisce una fonte di irraggiamento della popolazione confrontabile con la radiazione di fondo.

Le radiazioni ionizzanti possono colpire un organismo vivente per irradiazione esterna o per contaminazione interna (inalazione, ingestione, assorbimento cutaneo, introduzione parenterale). Il danno biologico può riguardare l’organismo stesso dell’individuo (danno somatico), o modificare i caratteri genetici dell’organismo o della sua discendenza (danno genetico).

In radioprotezione si utilizzano anche i termini di “danni deterministici” e “danni stocastici o probabilistici”.

I danni deterministici sono effetti conseguenti a esposizioni a dosi elevate, si presentano in genere come una sindrome a soglia di pronta insorgenza (ore o settimane) la cui frequenza e gravità variano in relazione alla dose assorbita, e per essi è individuabile una dose soglia, ossia un livello di dose al di sotto del quale l’effetto non si manifesta (fino a tale livello sono sufficienti le capacità di riparazione del danno da parte dell’organismo).

Per gli effetti stocastici (probabilistici), che possono essere tanto di tipo somatico che genetico, si assume invece una probabilità non nulla di comparsa anche per dosi molto piccole e prossime allo zero. In questo tipo di patologie soltanto la probabilità d’accadimento, e non la gravità, è funzione della dose. Danni di questo tipo si possono manifestare dopo anni, talora decenni, dall’irradiazione.

Il problema dell’azione mutagena delle radiazioni è complesso, ma può essere sintetizzato dicendo che:

- ◆ il numero delle mutazioni indotte è proporzionale alla dose di radiazione assorbita;
- ◆ radiazioni diverse hanno effetti comparabili tramite fattori di peso della radiazione;
- ◆ gli effetti di piccole dosi di radiazioni si sommano;
- ◆ l'esistenza di una dose-soglia non è stata dimostrata ed è cautelativamente supposta pari a zero (relazione dose-effetto lineare senza soglia).

Le radiazioni ionizzanti sono agenti cancerogeni riconosciuti.

La radioprotezione riguarda tutte le attività che espongono in qualsiasi modo a radiazioni ionizzanti e si divide in due aspetti: quella inerente alle pratiche (le attività che possono innalzare la dose assorbita dall'individuo rispetto al fondo naturale in assenza di situazione di emergenza) e quella inerente agli interventi (dove l'azione è volta a ridurre la dose agli individui derivante da una situazione di emergenza). Per fare questo la radioprotezione si basa su tre principi fondamentali: il principio di giustificazione, il principio di ottimizzazione ed il principio di limitazione delle dosi. Il primo di questi principi sancisce l'obbligo, per chi intende iniziare a lavorare con le radiazioni ionizzanti a qualsiasi fine, di valutare i vantaggi ed i rischi connessi con tale attività e di iniziarla solo se i vantaggi superano i rischi. Il principio di ottimizzazione afferma che le dosi devono essere le minime compatibili con l'ottenimento dell'effetto desiderato, mentre il terzo principio pone dei limiti alle dosi individuali. Tali limiti sono stati studiati in modo da escludere il danno deterministico e di ridurre il rischio di danno stocastico.

In definitiva, mentre i limiti fissati dalle varie normative si possono considerare sufficientemente sicuri per quel che riguarda la protezione dagli effetti deterministici, non proteggono totalmente dal verificarsi di effetti stocastici, in quanto privi di soglia e tuttavia, se correttamente mantenuti, ne limitano fortemente l'insorgenza.

Le difficoltà di valutare il rischio derivante dalle patologie probabilistiche e quelle di discriminare le esposizioni professionali da quelle naturali sono state affrontate nel 2013 con la pubblicazione INAIL "Considerazioni tecniche sugli aspetti assicurativi e sul riconoscimento dei tumori professionali".

Le grandezze fisiche usate in radioprotezione per implementare i tre principi sopra descritti sono essenzialmente l'*esposizione*, che stima la quantità di ionizzazione (ossia di carica elettrica libera) prodotta in aria dai raggi x e "gamma" (si esprime in C/kg) e la *dose assorbita*, con unità il Gray (Gy), che misura la quantità di energia depositata per unità di massa nel materiale assorbente. Vi sono, inoltre, delle grandezze radioprotezionistiche che servono a descrivere il danno biologico che consegue all'assorbimento di determinate dosi. Poiché l'effetto biologico della radiazione dipende anche dal tipo di radiazione e dalle condizioni di irradiazione, è stato introdotto il concetto di *dose equivalente*, espresso in Sievert (Sv), definito come il prodotto della dose assorbita per un fattore correttivo che tiene conto della radiazione, detto fattore di ponderazione w_R (per la radiazione elettromagnetica, così come per gli elettroni, tale fattore è pari ad 1, pertanto l'equivalente di dose coincide numericamente con la dose assorbita). Per tenere conto anche della differente

radiosensibilità dei vari organi o tessuti si è introdotto il concetto di *dose efficace* [Sievert; (Sv)], descrittore ottenuto sommando i contributi di tutti i tessuti ed organi irradiati a loro volta ricavati moltiplicando la dose equivalente ricevuta dall'organo per un fattore di ponderazione proprio dell'organo stesso.

La “dose equivalente” e la “dose efficace” non possono essere misurate direttamente nei tessuti del corpo; il sistema di protezione comprende perciò anche delle “grandezze operative⁹” che possono essere misurate e che forniscono una stima ragionevolmente conservativa delle grandezze radioprotezionistiche.

Anche per questo fattore di rischio si rileva pertanto la coesistenza di due grandezze di tipo diverso: grandezze fisiche di misura della radiazione ionizzante e grandezze radioprotezionistiche di valutazione e previsione del rischio radiologico.

L'esposizione a radiazioni ionizzanti (professionale e non) è regolamentata da un complesso di dispositivi legislativi attualmente riconducibile in primo luogo al DLgs.230/95 come modificato ed integrato dai decreti legislativi 241/00, 187/00 e 257/01. I nuovi limiti di dose, cioè i valori limite stabiliti dalla legge e dalle raccomandazioni internazionali per assicurare una protezione adeguata degli individui esposti alle radiazioni, fanno riferimento alla dose equivalente ed alla dose efficace e si misurano in Sievert (Sv).

La protezione dalle radiazioni naturali, prevista nel DLgs.241/00, percorre due strade: la protezione del personale di volo e la protezione del lavoro in sotterraneo o con materiali contenenti un valore di radioattività maggiore del normale. Questo per garantire un'adeguata difesa sia dalla radiazione cosmica che da quella della crosta terrestre (radon e radionuclidi primordiali) che si sviluppa soprattutto negli ambienti sotterranei e confinati.

8.8 - CLIMA E MICROCLIMA

Il clima è la risultante di quei fattori meteorologici (temperatura, ventilazione, umidità, pressione barometrica, radiazioni solari ecc.) che concorrono a determinare uno degli aspetti più importanti dell'ambiente in cui viviamo. Il clima ha infatti una influenza decisiva su tutte le forme di vita della terra ed in particolare incide sull'uomo condizionandone le abitudini, i costumi, l'alimentazione, il lavoro, lo stato di benessere e di salute, la morbilità e cioè l'epidemiologia delle malattie.

Si definisce “microclima” il complesso dei parametri fisici ambientali che caratterizzano l'ambiente locale (ma non necessariamente confinato) e che, assieme a parametri individuali quali l'attività metabolica e l'abbigliamento, determinano gli scambi termici fra l'ambiente stesso e gli individui che vi operano

Con il termine microclima ci si riferisce quindi alle caratteristiche fisiche di zone spaziali circoscritte, sia al chiuso che all'aperto, adibite a luoghi di vita o di lavoro. Nelle prime sarà più facile incidere sulle condizioni ambientali utilizzando mezzi tecnici disponibili, nelle seconde si opererà più tipicamente modificando la protezione (l'isolamento) dell'individuo o regolando i tempi di esposizione.

⁹ Per la sorveglianza individuale dell'esposizione esterna si utilizza l'Equivalente di dose personale, $H_p(d)$; per la sorveglianza dell'esposizione esterna nelle aree di lavoro e nell'ambiente si usano l'Equivalente di dose ambientale, $H^*(d)$ e l'Equivalente di dose direzionale, $H'(d,\Omega)$

Il problema del microclima si pone con particolare inclemenza in alcuni settori dell'industria, ove le caratteristiche del lay-out impongono ai lavoratori condizioni tali da impegnare i meccanismi di adattamento e di accomodazione ai limiti delle possibilità fisiologiche, ma spesso riguarda anche situazioni che derivano da cattiva progettazione, incuria, inesistente o maldestra concezione del risparmio energetico a danno del comfort e della salute dei lavoratori.

Gli ambienti termici nei quali specifiche ed ineludibili esigenze produttive (contiguità a forni ceramici o fusori, accesso a celle frigo o in ambienti legati al ciclo alimentare del freddo, ...) o condizioni climatiche esterne in lavorazioni effettuate all'aperto (in agricoltura, in edilizia, nei cantieri di cava, nelle opere di realizzazione e manutenzione delle strade ...) richiedono/determinano la presenza di parametri termoigrometrici stressanti vanno definiti "vincolati" e per essi valgono le norme degli ambienti "severi".

Negli altri casi, nei quali è comunque sempre perseguibile l'ottenimento del confort termoigrometrico, si parla di ambienti "moderabili" e per essi valgono le norme degli ambienti "moderati".

L'uomo è un animale omeotermo nel quale, cioè, la temperatura corporea rimane relativamente costante, in condizioni fisiologiche, malgrado le ampie variazioni climatiche. Quando si parla di temperatura corporea è tuttavia necessario fare una distinzione tra la temperatura interna (o del nucleo) e la temperatura cutanea: solo la prima può ritenersi relativamente costante, mentre la seconda varia sensibilmente da un distretto cutaneo all'altro e muta anche nello stesso distretto in rapporto alle condizioni ambientali ed alle esigenze fisiologiche.

La temperatura interna del corpo può essere mantenuta costante solo se esiste un equilibrio tra il calore generato internamente e quello ceduto/assorbito nei confronti dell'ambiente circostante. Nell'uomo equilibrio termico è garantito dall'ipotalamo, a partire da informazioni relative alla temperatura corporea ricevute dai ricettori sensibili sia al caldo che al freddo. In presenza di un discostamento dalle condizioni di confort termico vengono attivate una sequenza di procedure per lo smaltimento del calore in eccesso (aumento della circolazione sanguigna, sudorazione), o per la produzione di ulteriore calore (brividi, aumento del tono muscolare, attività).

Un eccessivo discostamento dei valori della temperatura del nucleo dalla condizione di neutralità può indurre o colpo di calore o fenomeni di assideramento, ed all'estremo la morte. Oltre alle condizioni ambientali, sul bilancio termico hanno influenza la resistenza termica dei vestiti indossati, l'acclimatazione, l'alimentazione, l'attività fisica.

Per la valutazione del rischio si ricorre ad indici distinti per ambienti severi caldi o freddi: al primo tipo di ambienti fanno riferimento il WBGT (UNI EN 27243:1996) e la procedura PHS (procedura più dettagliata, analitica e recente, introdotta dalla UNI EN ISO 7933:2005, che consente il calcolo del D_{lim} , il tempo massimo di esposizione); per il secondo tipo di ambienti si ricorre (come da UNI-EN-ISO 11079:2008) alla determinazione dell'indice IREQ (isolamento dell'abbigliamento richiesto) per confronto con I_{cl} come indice del raffreddamento globale e alla determinazione del t_{WC} come indice del raffreddamento localizzato

Dal punto di vista igienistico, il confort termico viene valutato sulla base di 6 parametri denominati temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità

dell'aria, umidità relativa, metabolismo energetico e resistenza termica del vestiario. Il tema è abbastanza complesso ed anche i criteri normati (indici di Fanger: PMV e PPD come indici di discomfort generale e PD per correnti d'aria, differenza verticale di temperatura, temperatura del pavimento e asimmetria radiante come indici di discomfort localizzato; vedi UNI EN ISO 7730:2006) ammettono una variabilità individuale che fa sì che in un gruppo di esposti a stesse condizioni climatiche non si possa in assoluto identificare una situazione ideale, valida per tutti. Non è comunque possibile individuare criteri migliori dato che, la sensazione di benessere termico è estremamente soggettiva e variabile, in relazione alle condizioni psicofisiche del soggetto esposto. Il malessere provocato da cattive condizioni microclimatiche può essere, inoltre, causa di una riduzione della percezione di altri fattori di rischio, anche diversi da quelli legati ad agenti fisici, e ciò può favorire varie tipologie di incidenti.

Ringraziamenti

In qualità di promotore di questa relazione ringrazio tutti coloro che in questo o negli anni precedenti, in una o più occasioni, mi hanno aiutato a tener vivo, arricchire e aggiornare il testo di base a partire dal 1998, vale a dire:

- Laura Argenti, INAIL-Bologna
- Massimo Borra, INAIL-Monte Porzio Catone (Roma)
- Stefano Casciardi, INAIL-Monte Porzio Catone (Roma)
- Rosaria Falsaperla, INAIL-Monte Porzio Catone (Roma)
- Michele del Gaudio, INAIL-Avellino
- Riccardo Di Liberto, Policlinico San Matteo di Pavia
- Paolo Lenzuni, INAIL-Firenze
- Enrico Marchetti, INAIL-Monte Porzio Catone (Roma)
- Nicola Marisi, ASL Lanciano-Vasto-Chieti
- Pietro Nataletti, INAIL-Monte Porzio Catone (Roma)
- Alessandro Polichetti, Istituto Superiore di Sanità (Roma)
- Paolo Rossi, INAIL-Monte Porzio Catone (Roma)
- Sandro Sandri, ENEA ION-IRP – Frascati (Roma)
- Renata Sisto, INAIL-Monte Porzio Catone (Roma)
- Rosabianca Trevisi, INAIL-Monte Porzio Catone (Roma)
- Paolo Zanichelli, ARPA Emilia Romagna

Omar Nicolini, Azienda USL di Modena



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>

dBAinfo@ausl.mo.it

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

- Epidemiologia del danno uditivo,
- Effetti uditivi ed extrauditivi, aspetti medico-legali
- Metrologia e normative tecniche, teoria ed esempi di bonifiche
- Legislazione

- **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

- Vibrazioni trasmesse al corpo e al sistema mano-braccio
- Mappe di rumore, Metrologia, Bonifiche
- Effetti biologici e aspetti medico-legali
- Normativa e legislazione

- **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

- Aggiornamento scientifico e tecnico
- Valutazione, Vigilanza e controllo, Riduzione del rischio
- Macchine, ambienti, previsione del rumore
- Aspetti giuridici ed assicurativi; D.Lgs.277/91 e testi interpretativi

- **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

- Rumore e ultrasuoni, Vibrazioni e microclima, Radiazioni ionizzanti, ottiche e laser, Radiofrequenze, microonde, ELF
- Aspetti giuridici ed assicurativi

- **dB A_{incontri} '99 Rumore e vibrazioni negli ambienti di lavoro - Dalla valutazione alla bonifica**

Atti del Seminario di Modena del 23 settembre 1999

- Valutazione
- Bonifica

- **dB A_{incontri} 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

- Descrittori del rischio, Rapporto dose/effetti
- Linee Guida per la Valutazione
- Linee Guida per l'applicazione della legislazione

- **dba'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

- Legislazione e normativa, Effetti sulla salute, Valutazione e metrologia
- Prevenzione dei rischi, Dispositivi individuali di protezione
- Sorveglianza sanitaria, Informazione e formazione
- Protocolli di prevenzione

- **dba_{incontri}2003 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

- Dalla valutazione alla riduzione del rischio, Criteri di progettazione, Requisiti acustici dei luoghi di lavoro, Criteri da utilizzare in fase d'acquisto, Tecniche e soluzioni di bonifica, Norme di collaudo
- Schede di approfondimento
- Banche-dati di norme, materiali, realizzazioni

- **dba_{incontri}2004 - 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

- Valutazione con misurazioni e con banche dati
- Riduzione del rischio nelle nuove attrezzature, DPI
- Sorveglianza sanitaria, La valutazione del danno
- Recepimento della Direttiva 2002/44/CE

- **dba_{incontri}2004 - Microclima - Valutazione, prevenzione e protezione dai rischi e comfort nei luoghi di lavoro**

Atti del Convegno di Modena del 14 ottobre 2004

- Comfort e stress termico, Ambienti moderati, severi caldi e freddi
- Valutazione e misurazione del rischio e del comfort
- Edifici e contenimento energetico
- Requisiti e standard termo-igrometrici
- Prevenzione e protezione dei lavoratori, Sorveglianza sanitaria
- I compiti di datore di lavoro, progettista, consulente, medico del lavoro

- **dba_{incontri}2005 – Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro - Verso un Manuale di buona pratica**

Atti del Convegno di Bologna del 14 settembre 2005

- Ambienti termici moderati e severi
- Qualità dell'aria indoor, aerazione e ventilazione
- Illuminazione naturale, artificiale e d'emergenza
- Requisiti e standard progettuali nei NIP, Valutazione del rischio, DPI, sorveglianza sanitaria, L'impiantistica, la manutenzione
- Aggiornamento normativo e contributi

- **dba'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

- Aggiornamento normativo
 - Esperienze e approfondimenti
 - Protocolli di prevenzione e di vigilanza
-
- **dba_{incontri}2008 – 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
- DLgs.81/2008: aggiornamento normativo
 - approfondimenti
 - contributi
 - indicazioni applicative
 - protocolli di misura
-
- **dba_{incontri}2009 – Interventi per la riduzione del rischio rumore. Legislazione, normativa, tecnologie, esperienze**
- Atti del Convegno di Modena del 24 settembre 2009
- DLgs.81/2008 e giurisprudenza
 - Il PARE
 - Esempi di interventi in diversi settori produttivi
 - Soluzioni a basso costo
 - Il punto sul controllo attivo
 - I DPI uditivi: efficienza, efficacia, uso corretto
 - Manuale di buona pratica
-
- **dba'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
- Rischi Fisici e DLgs.81/2008
 - Rumore e Ultrasuoni
 - Vibrazioni, Microclima, Atmosfere iperbariche
 - CEM, Radiazioni Ottiche e Ionizzanti
 - Le Indicazioni Operative delle Regioni
 - Responsabilità individuali e aziendali

- **dba_{incontri}2011 – Laser e Radiazioni Ottiche Artificiali non coerenti. Valutazione, prevenzione, protezione, esperienze**

Atti del Convegno di Modena del 21 settembre 2011

- DLgs.81/2008, ROA non coerenti e Laser
- Effetti sulla salute
- Legislazione, normativa, tecnologia, soluzioni, DPI
- Il Portale Agenti Fisici e le procedure standardizzate
- Documenti

- **dba_{incontri}2012 – Aggiornamenti sul rischio rumore. Valutazione, prevenzione e protezione nei luoghi di lavoro**

Atti del Convegno di Modena del 11 ottobre 2012

- Modalità di valutazione del rischio
- Misurazione del rumore
- Soluzioni ed esperienze di insonorizzazione
- Ruolo del Medico competente
- Tipicità dei settori della musica, call center, edilizia
- Documenti

- **dba_{incontri}2014 – Agenti Fisici nei luoghi di lavoro: aggiornamenti, approfondimenti, esperienze**

Atti del Convegno di Modena del 17 settembre 2014

- Aggiornamenti legislativi e normativi
- Valutazione, Prevenzione e Protezione
- Contenimento e controllo dei rischi
- Esperienze, approfondimenti, ricerche
- Indicazioni Operative delle Regioni sugli agenti fisici rev.2014

- **dba'15 Trent'anni di Prevenzione e Protezione dagli Agenti Fisici**

Atti del Convegno di Modena del 27 maggio 2015

- Rumore e Vibrazioni
- Microclima, CEM e ROA
- Radiazioni ionizzanti
- Esperienze, Approfondimenti, Ricerche
- Aspetti giuridici
- Riassumendo...

Altre Pubblicazioni

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-Il rischio chimico negli ambienti di lavoro: identificazione, misurazione, valutazione, prevenzione e protezione

Collana SICUREZZA

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

VARIE

REACH 2014 - I Regolamenti europei REACH e CLP: l'interazione fra le normative sociali e di prodotto, il confronto e l'assistenza alle imprese, l'armonizzazione europea dei controlli (2014)

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 - Il 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)



30th 3A 2015
1985-2015

The logo features a stylized American flag with horizontal stripes above the number '30'. The text '30th 3A 2015' is rendered in a bold, sans-serif font, with the 'th' as a superscript. Below this, the years '1985-2015' are written in a smaller, plain font.



Trent'anni di Prevenzione e Protezione dagli Agenti Fisici

- Rumore e Vibrazione
- Microclima, CEM e ROA
- Radiazioni ionizzati
- Esperienze, Approfondimenti e Ricerche
- Aspetti giuridici
- Riassumendo ...

In collaborazione con



COORDINAMENTO
TECNICO
INTERREGIONALE
DELLA PREVENZIONE
NEI LUOGHI DI LAVORO



Associazione Italiana
di Acustica



AMBIENTE LAVORO